



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL VACUNO
EN LA FINCA “SAN JOSÉ”, RECINTO FLORIDA DEL TOACHI,
PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: STEFANY GISELA RAMÍREZ FEIJÓO

LESLIE NICOLE SUQUILLO HERAS

DIRECTORA: DRA. LOURDES CUMANDÁ CARRERA BELTRÁN, MGS

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Stefany Gisela Ramírez Feijóo & Leslie Nicole Suquillo Heras**

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.

Nosotros, Stefany Gisela Ramírez Feijóo y Leslie Nicole Suquillo Heras, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 12 de julio de 2023.



Stefany Gisela Ramírez Feijóo

070494340-6



Leslie Nicole Suquillo Heras

160049904-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL VACUNO EN LA FINCA “SAN JOSÉ” RECINTO FLORIDA DEL TOACHI, PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**, realizado por las señoritas: **STEFANY GISELA RAMÍREZ FEJÓO Y LESLIE NICOLE SUQUILLO HERAS**, 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. Johanna Elizabeth Ayala Izurieta, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-07-12
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-07-12
Ing. Juan Carlos González García. ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-07-12

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por darme guía, sabiduría, conocimiento y salud para alcanzar todas mis metas y planes de vida. A mis padres, Edith Feijóo y Oswaldo Ramírez que, con su esfuerzo, dedicación y amor incondicional, me han impulsado a cumplir todos mis sueños, gracias a su comprensión y valores, soy la mujer que hoy en día me he convertido, su apoyo ha sido fundamental para este logro académico. A mi hermano Alex Ramírez, con su amor, apoyo y compañía; por ser incondicional y siempre estar a mi lado, alentándome a dar lo mejor de mí y brillar en cada etapa de mi vida.

Stefany

Dedico este trabajo principalmente a Dios que me ha cuidado y me ha bendecido con amor, paciencia y virtudes durante esta etapa de mi vida, las mismas que me han ayudado a seguir adelante y no rendirme. A mis padres Víctor Suquillo y Silvia Heras por siempre ser mi apoyo, mi guía e inculcarme valores que me han llevado a ser la mujer que soy ahora y sobre todo por el amor incondicional que me han brindado en todo momento. A mi hermana por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas. A mis tíos y primos que fueron un gran apoyo por los consejos y ánimos que me proporcionaron para siempre seguir adelante. A mis amigos y compañeros por compartir los buenos y malos momentos.

Leslie

AGRADECIMIENTO

Agradezco nuevamente a Dios, por permitirme estar en esta vida, llena de amor y felicidad.

A mi pareja, Henry Gómez que con su amor, amistad, confianza, compañía y apoyo incondicional me alienta a jamás rendirme, gracias por motivarme y soñar en grande.

A mis amigos quienes formaron un papel fundamental en esta etapa de mi vida, con los que compartí momentos maravillosos que quedaran plasmados en nuestros recuerdos.

A mi mascota Manny, quien ha sido mi fiel compañero en los días de soledad, por enseñarme el significado del amor incondicional, respeto, lealtad y empatía.

Me siento muy agradecida con los docentes que integraron mi formación académica, especialmente a la Dra. Lourdes Carrera y al Ing. Juan Carlos Gonzales por sus aportes y guía para culminar con éxito este trabajo de titulación.

Stefany

Agradezco a Dios por darme la vida, bendecirme, cuidarme y permitirme alcanzar esta etapa de mi vida junto a la compañía de mis padres, familia y amigos.

Agradezco a mi padre, a mi madre y a mi familia por haberme amado, apoyado y tolerado en cada dificultad que se ha presentado durante el transcurso de mi vida hasta esta etapa.

A los miembros del Tribunal en especial a la Dra. Lourdes Carrera Directora del Trabajo de Titulación, al Ing. Juan Carlos Gonzales Miembro del Tribunal que me instruyeron y ayudaron permitiéndome culminar el presente trabajo. Así también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que fue mi segundo hogar y me formó como profesional.

Al propietario de la finca “San José”, el Sr. Wilmar Andrade y su esposa, por su apertura y apoyo para realizar el trabajo de titulación.

Leslie

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Estiércol.....	3
1.1.1. <i>Composición del estiércol</i>	3
1.1.2. <i>Contaminación provocada por el estiércol</i>	4
1.1.3. <i>Ventajas y desventajas del estiércol</i>	4
1.1.3.1. <i>Ventajas</i>	4
1.1.3.2. <i>Desventajas</i>	5
1.1.4. <i>Acción del estiércol en el suelo</i>	5
1.1.5. <i>Aplicación del estiércol como fertilizante</i>	6
1.2. Estiércol bovino.....	6
1.2.1. <i>Nutrientes presentes en el estiércol bovino</i>	6
1.2.2. <i>Microorganismos y productos farmacéuticos en el estiércol bovino</i>	7
1.3. Biodigestor.....	7
1.3.1. <i>Objetivo del biodigestor</i>	7
1.3.2. <i>Proceso dentro del biodigestor</i>	8
1.3.3. <i>Ventajas de los biodigestores</i>	8
1.3.4. <i>Desventajas de los biodigestores</i>	8
1.3.5. <i>Criterios que se deben considerar en el diseño de un biodigestor</i>	9
1.4. Clasificación de biodigestores.....	9
1.4.1. <i>Reactor anaeróbico de alta velocidad</i>	9
1.4.2. <i>Reactor anaeróbico de baja velocidad</i>	9
1.4.3. <i>Reactores según su tipo de operación</i>	10
1.4.3.1. <i>Discontinuo o Bacth</i>	10
1.4.3.3. <i>Continuo</i>	10
1.5. Características del Biodigestor.....	11

1.6.	Tipos de Biodigestores o modelo de biodigestores	11
1.6.1.	<i>Biodigestor de Campana Flotante (Hindú)</i>	11
1.6.2.	<i>Biodigestor de domo fijo (Chino)</i>	12
1.6.3.	<i>Pozos sépticos</i>	13
1.6.4.	<i>Biodigestores horizontales o taiwanes</i>	13
1.7.	Componentes de un biodigestor	14
1.7.1.	<i>Sistema de carga</i>	14
1.7.2.	<i>Cámara de fermentación o digestión</i>	14
1.7.3.	<i>Tanque digestor</i>	14
1.7.4.	<i>Sistema de descarga</i>	15
1.7.5.	<i>Cámara de almacenamiento del biogás</i>	15
1.7.6.	<i>Sistema de control de temperatura</i>	15
1.7.7.	<i>Sistema de agitación</i>	16
1.7.8.	<i>Tubería de gas</i>	16
1.7.9.	<i>Válvula de seguridad</i>	16
1.7.10.	<i>Purificador de gas</i>	16
1.7.11.	<i>Extracción de lodos</i>	17
1.8.	Ventajas de la utilización de digestores de bajo costo en zonas rurales	17
1.8.1.	<i>Ventajas ambientales</i>	17
1.8.2.	<i>Ventajas sociales</i>	18
1.8.3.	<i>Ventajas económicas</i>	18
1.9.	Biogás	19
1.9.1.	<i>Componentes del biogás</i>	19
1.9.2.	<i>Características</i>	19
1.9.3.	<i>Materias primas que sirven para la producción de biogás</i>	20
1.9.4.	<i>Utilización del biogás</i>	21
1.9.5.	<i>Factores que afectan la producción de biogás</i>	22
1.10.	Biol	22
1.10.1.	<i>Ventajas del biol</i>	22
1.10.2.	<i>Verificación de la calidad del biol</i>	23
1.10.3.	<i>Frecuencia y dosis recomendada</i>	23
1.11.	Digestión anaerobia	24
1.11.1.	<i>Fases de la digestión anaerobia</i>	24
1.11.1.1.	<i>Hidrólisis</i>	24
1.11.1.2.	<i>Acidogénesis</i>	25
1.11.1.3.	<i>Acetogénesis</i>	25
1.11.1.4.	<i>Metanogénesis</i>	25

1.11.2. Factores que influyen en la degradación anaerobia	25
1.11.2.1. <i>Material de carga para la fermentación metanogénica.</i>	25
1.11.2.2. <i>pH</i>	27
1.11.2.3. <i>Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)</i>	28
1.11.2.4. <i>Tiempo de retención de la biomasa</i>	29
1.11.2.5. <i>Contenido de sólidos totales y sólidos volátiles</i>	30
1.11.2.6. <i>Tóxicos e inhibidores de la metalogénesis</i>	31
1.11.2.7. <i>Ácidos grasos volátiles</i>	31
1.11.2.8. <i>Hidrógeno</i>	31
1.11.2.9. <i>Nitrógeno amoniacal</i>	31
1.11.2.10. <i>Sulfatos y Sulfuros</i>	32
1.11.2.11. <i>Cationes y metales pesados</i>	32
1.11.2.12. <i>Otros inhibidores</i>	32
1.11.2.13. <i>Nutrientes (niveles de sales)</i>	33
1.12. Residuos orgánicos	33
1.13. Maní forrajero	33
1.14. Marco legal	34

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	36
2.1. Área de estudio	36
2.1.1. <i>Ubicación geográfica</i>	36
2.1.2. <i>Macro localización</i>	36
2.1.3. <i>Micro localización</i>	37
2.2. Metodología	37
2.2.1. <i>Levantamiento de la línea base</i>	37
2.2.1.1. <i>Características del entorno físico</i>	38
2.2.1.2. <i>Características del entorno biótico</i>	38
2.2.2. <i>Muestreo y caracterización del estiércol del ganado vacuno</i>	39
2.2.2.1. <i>Metodología para el muestreo de estiércol</i>	39
2.2.3. <i>Caracterización del estiércol</i>	39
2.2.3.1. <i>Determinación de parámetros in-situ</i>	39
2.2.3.2. <i>Determinación exsitu</i>	40
2.2.4. <i>Cuantificación de la carga diaria de materia prima</i>	42
2.2.4.1. <i>Cuantificación de la carga diaria de estiércol</i>	42
2.2.4.2. <i>Cuantificación de la carga diaria de residuos producidos en la cocina</i>	43

2.2.5.	<i>Localización del área de estudio</i>	44
2.2.6.	<i>Selección del modelo del biodigestor</i>	44
2.2.6.1.	<i>Definición de los parámetros considerados en la matriz de preselección del biodigestor.</i>	44
2.2.6.2.	<i>Porcentaje de los parámetros establecidos para la selección del biodigestor.</i>	45
2.2.6.3.	<i>Matrices para la selección del modelo del biodigestor.</i>	45
2.2.7.	<i>Dimensionamiento del biodigestor</i>	46
2.2.8.	<i>Elaboración de planos en AutoCAD</i>	48
2.2.9.	<i>Evaluación del impacto ambiental</i>	48
2.2.9.1.	<i>Cuantificación de los impactos mediante matriz de Leopold modificado</i>	48
2.2.9.2.	<i>Actividades durante la construcción y operación del proyecto</i>	49
2.3.	Construcción e instalación del biodigestor	49
2.3.1.	<i>Construcción de la caja de alimentación</i>	53
2.3.2.	<i>Construcción de la caja de salida de biol</i>	53
2.3.3.	<i>Construcción e instalación de la caja de limpieza</i>	54
2.3.4.	<i>Construcción de la válvula de escape de gas.</i>	54
2.3.5.	<i>Construcción del filtro para ácido sulfhídrico</i>	55
2.3.6.	<i>Instalación de tubería que conducirá el biogás.</i>	55
2.3.7.	<i>Mantenimiento del biodigestor</i>	56
2.4.	Carga de la mezcla homogénea al biodigestor	56
2.4.1.	<i>Primera fase: Limpieza externa e interna del biodigestor.</i>	56
2.4.2.	<i>Segunda fase: Recolección y almacenamiento de la materia prima (estiércol).</i>	57
2.4.3.	<i>Tercera fase: Recolección de la materia orgánica y maní forrajero</i>	58
2.4.4.	<i>Cuarta fase: Carga del biodigestor con materia prima de la finca</i>	59
2.5.	Funcionamiento del biodigestor.	59
2.5.1.	<i>Medición del pH</i>	60
2.5.2.	<i>Medición de la temperatura.</i>	60
2.5.3.	<i>Volumen de biogás</i>	61
2.5.4.	<i>Prueba de la flama</i>	61
2.5.5.	<i>Extracción del biol para análisis de post- tratamiento</i>	62

CAPÍTULO III

3.	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR	63
3.1.	Determinación de la cantidad de sustrato.	63
3.1.1.	<i>Relación C/N de las materias primas.</i>	64
3.2.	Cálculos del diseño del biodigestor	65

3.2.1.	<i>Determinación de la materia prima disponible (kg/día)</i>	65
3.2.1.1.	<i>Determinación por medio de la ecuación</i>	67
3.2.2.	<i>Muestreo de la materia orgánica disponible</i>	68
3.2.3.	<i>Cálculo del tiempo de retención</i>	68
3.2.4.	<i>Cálculo del porcentaje de sólidos totales</i>	69
3.2.5.	<i>Cálculo de la carga diaria del biodigestor</i>	70
3.2.6.	<i>Determinación de biogás en m³/día</i>	71
3.2.7.	<i>Cámara de entrada y salida</i>	72
3.2.8.	<i>Tuberías de entrada y salida</i>	72
3.2.8.1.	<i>Tuberías que conducen la carga diaria y salida del biodigestor</i>	73

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
4.1.	Resultados	76
4.1.1.	<i>Muestras de estiércol bovino</i>	76
4.1.2.	<i>Muestra del biol (post-tratamiento)</i>	76
4.2.	Análisis del estiércol y biol	77
4.2.1.	<i>pH</i>	77
4.2.2.	<i>Materia orgánica</i>	77
4.2.3.	<i>Nitrógeno total</i>	78
4.2.4.	<i>Sólidos totales</i>	79
4.2.5.	<i>Fósforo</i>	79
4.2.6.	<i>Calcio</i>	80
4.3.	Caracterización del biol	81
4.4.	Análisis de temperatura	81
4.4.1.	<i>Temperatura ambiental</i>	81
4.4.2.	<i>Temperatura dentro del biodigestor</i>	82
4.4.3.	<i>Comparación entre la temperatura ambiental temperatura dentro del biodigestor</i>	83
4.5.	Medición del biogás	83
4.6.	Prueba de la llama	84
4.7.	Análisis de biogás	84
4.8.	Análisis del impacto ambiental	85
4.8.1.	<i>Interpretación de los impactos</i>	87
4.8.1.1.	<i>Impactos negativos</i>	87
4.8.1.2.	<i>Impactos positivos</i>	87

CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Composición de estiércoles frescos de diferentes animales	3
Tabla 1-2:	Composición química del estiércol vacuno descompuesto.	7
Tabla 1-3:	Componentes del biogás.....	19
Tabla 1-4:	Características generales del biogás	20
Tabla 1-5:	Residuos orgánicos de diversos orígenes	21
Tabla 1-6:	Producción de biogás con distintas materias primas.	21
Tabla 1-7:	Dosis recomendada de aplicación según la etapa de desarrollo de la planta.....	23
Tabla 1-8:	Clasificación de sustratos para la fermentación anaeróbica	26
Tabla 1-9:	Rangos de Temperatura y Tiempo de Fermentación Anaeróbico	27
Tabla 1-10:	Valores promedios aproximados de la relación C/N de algunos residuos disponibles en el medio rural.....	28
Tabla 1-11:	Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganada en distintas regiones ...	29
Tabla 1-12:	Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos....	30
Tabla 1-13:	Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso degradación anaeróbica	32
Tabla 1-14:	Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico.....	33
Tabla 2-1:	Ubicación del proyecto.....	36
Tabla 2-2:	Parámetros analizados pre tratamiento	40
Tabla 2-3:	Porcentajes establecidos de los parámetros a evaluar selección biodigestor.....	45
Tabla 2-4:	Matriz de preselección del biodigestor Modelo Chino.....	45
Tabla 2-5:	Matriz de preselección del biodigestor Sistema de Biobolsa.	46
Tabla 2-6:	Actividades durante la construcción y operación del proyecto	49
Tabla 2-7:	Materiales para la construcción del biodigestor	51
Tabla 3-1:	Relación estiércol -agua	63
Tabla 3-2:	Parámetros del estiércol.....	64
Tabla 3-3:	Parámetros de la materia orgánica.....	64
Tabla 3-4:	Parámetros del maní forrajero.	64
Tabla 3-5:	Dataos del muestreo del estiércol bovino	66
Tabla 3-6:	Porcentaje de estiércol aprovechable.....	67
Tabla 3-7:	Muestreo de los residuos de cocina.....	68
Tabla 3-8:	Promedio de temperatura ambiental del muestreo de 5 días.	69
Tabla 3-9:	Datos básicos de diseño generación de biogás a partir de estiércol bovino.	71
Tabla 4-1:	Resultados del análisis físico-químico del estiércol.....	76
Tabla 4-2:	Resultados del análisis físico-químico del biol	76
Tabla 4-3:	Medición del biogás	83

Tabla 4-4:	Matriz de Leopold	86
-------------------	-------------------------	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustraciones 1-1:	Biodigestor de Campana Flotante (Hindú)	12
Ilustraciones 1-2:	Biodigestor de domo fijo	12
Ilustraciones 1-3:	Diseño de un pozo séptico residencial.....	13
Ilustraciones 1-4:	Diseño de un biodigestor horizontal	13
Ilustraciones 1-5:	Cámara de fermentación	14
Ilustraciones 1-6:	Composición del biogás en función del pH mezcla de materias primas....	27
Ilustraciones 2-1:	Localización de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	36
Ilustraciones 2-2:	Localización de la Finca “San José”	37
Ilustraciones 2-3:	Área donde se construyó el biodigestor.....	50
Ilustraciones 2-4:	Limpieza del área donde se construyó el biodigestor.....	50
Ilustraciones 2-5:	Marcación del lugar donde se construyó el biodigestor.....	52
Ilustraciones 2-6:	Excavación del biodigestor, zanjas de entrada y salida	52
Ilustraciones 2-7:	Construcción de la caja de alimentación.....	53
Ilustraciones 2-8:	Construcción de la caja de salida del biol.....	53
Ilustraciones 2-9:	Caja de limpieza	54
Ilustraciones 2-10:	Construcción de la válvula de escape de gas.....	54
Ilustraciones 2-11:	Construcción del filtro para ácido sulfhídrico	55
Ilustraciones 2-12:	Construcción e instalación de la tubería de biogás.....	55
Ilustraciones 2-13:	Invernadero del biodigestor	56
Ilustraciones 2-14:	Limpieza del biodigestor.....	57
Ilustraciones 2-15:	Recolección, transporte y almacenamiento del estiércol.....	58
Ilustraciones 2-16:	Recolección de residuos orgánicos y maní forrajero.....	59
Ilustraciones 4-1:	Comparación del pH de estiércol y biol.....	77
Ilustraciones 4-2:	Comparación de materia orgánica de estiércol y biol.....	78
Ilustraciones 4-3:	Comparación de nitrógeno total de estiércol y biol	78
Ilustraciones 4-4:	Comparación de sólidos totales de estiércol y biol.....	79
Ilustraciones 4-5:	Comparación de fósforo de estiércol y biol.....	80
Ilustraciones 4-6:	Comparación de fósforo de estiércol y biol.....	80
Ilustraciones 4-7:	Temperatura dentro del biodigestor °C.....	81
Ilustraciones 4-8:	Temperatura dentro del biodigestor °C.....	82
Ilustraciones 4-9:	Comparación de temperatura ambiental y temperatura dentro del biodigestor.....	83
Ilustraciones 4-10:	Volumen del biogás con relación a la temperatura.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** AVAL DE LA INVESTIGACIÓN
- ANEXO B:** RECONOCIMIENTO DE LA FLORA DE LA FINCA "SAN JOSÉ"
- ANEXO C:** RECONOCIMIENTO DE LA FAUNA DE LA FINCA "SAN JOSÉ"
- ANEXO D:** TEMPERATURA REGISTRADA DURANTE EL MUESTREO EN LA FINCA "SAN JOSÉ"
- ANEXO E:** TOMA DE LA MUESTRA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO
- ANEXO F:** RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE ESTIÉRCOL PRE-TRATAMIENTO
- ANEXO G:** CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DIARIA
- ANEXO H:** FICHA TÉCNICA DE LA CÁMARA DE DIGESTIÓN
- ANEXO I:** TEMPERATURA REGISTRADA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR
- ANEXO J:** TEMPERATURA REGISTRADA DENTRO DEL BIODIGESTOR
- ANEXO K:** CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR
- ANEXO I:** CARGA DIARIA DE LA MATERIA PRIMA
- ANEXO M:** TOMA DE LA MUESTRA DE BIOL POST-TRATAMIENTO
- ANEXO N:** MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
- ANEXO O:** QUEMA DE BIOGÁS
- ANEXO P:** RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE BIOL POST-TRATAMIENTO
- ANEXO Q:** PLANOS DEL BIODIGESTOR

RESUMEN

En la finca “San José” no cuentan con un adecuado manejo de estiércol bovino y es arrojado de manera incorrecta causando así contaminación al ambiente, mal olor y atrayendo plagas, por lo tanto, en la presente investigación se diseñó y construyó un biodigestor para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado bovino en la finca San José, recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Primero se utilizó la técnica de muestreo aleatorio simple para los análisis físico-químicos, se recolectó el estiércol y se colocó en frascos estériles para llevarlos al laboratorio. Seguidamente se dimensionó el biodigestor chino utilizando ecuaciones y fórmulas para calcular las medidas, tomando en cuenta un porcentaje del 25% para el almacenamiento del biogás. Después se diseñó la planimetría en el software AutoCAD y posteriormente se construyó con un tanque PVC, tubería PVC, material pétreo, cemento y bloque. Se estableció la relación de dilución de la materia y agua en proporción 1:1. Se realizó dos cargas, la primera de adaptación y la segunda fue para iniciar el proceso de obtención del biogás con un tiempo de retención de 25 días durante los cuales se monitoreó temperatura interna del biodigestor, temperatura ambiente, presión, medición del biogás y prueba de la llama. Transcurridos los 25 días, mediante los resultados de laboratorio se obtuvo que el biol fue de buena calidad ya que su color era ámbar y no presentaba olor, además se comprobó la obtención de biogás al acercar un fósforo a la manguera de salida se prendió y emitió una llama de color azul. Se concluye así que se puede obtener biol y biogás empleando un biodigestor a partir de estiércol bovino, conociendo que la temperatura y el tiempo de retención fueron factores importantes para este proceso.

Palabras clave: <BIODIGESTOR>, <ESTIÉRCOL BOVINO>, <BIOGAS>, <SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS (PROVINCIA)>, <BIOL>.

1706-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

San José farm does not have an adequate management of cattle manure and it is improperly disposed, this causes environmental contamination, bad odor and attracts pests. Therefore, the aim of this research was to design and build a biodigester to obtain biogas from cattle manure in the San José farm, Florida del Toachi precinct, Santo Domingo de los Tsáchilas province. First, the simple random sampling technique was used, for the physicochemical analysis, the manure was collected and placed in sterile flasks to be taken to the laboratory. Next, the biodigester was dimensioned using equations and formulas to calculate the measurements, considering a percentage of 25% for biogas storage. Afterwards, the planimetry was designed with the use of AutoCAD software and then it was built with a PVC tank, PVC piping, stone material, cement and blocks. The dilution ratio of matter and water was established in a 1:1 ratio. The first charge was for adaptation and the second was to start the biogas obtention process with a retention time of 25 days in which, the internal temperature of the biodigester, ambient temperature, pressure, biogas measurement and flame test were monitored. Once the 25-day monitoring process finished, laboratory results showed a good quality biol due to its amber color and absence of odor. In addition, the biogas obtention was also verified when a lit match was brought close to the outlet hose, the gas was ignited and emitted a blue flame. It is concluded that biol and biogas can be obtained using a biodigester from cattle manure, taking into consideration that temperature and retention time were important factors for this process.

Keywords: <BIODIGESTOR>, <CATTLE MANURE>, <BIOGAS>, <SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS (PROVINCE)>, <BIOL>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez Mgs.

0603289877

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario cumple un papel muy importante en la sociedad debido a su gran producción de alimentos, sin embargo, el ganado genera grandes cantidades de materia fecal, que es depositada directamente en el suelo como abono, ya que, los ganaderos desconocen la forma adecuada de tratar las heces animales, causando contaminación ambiental. Cabe mencionar que la producción pecuaria constituye una de las principales causas de los problemas ambientales, contaminación atmosférica, pérdida de biodiversidad y degradación de terrenos (Inca 2016b).

El precio alto de los combustibles y el acceso complicado en las zonas rurales de nuestro país obliga a que los habitantes de estas zonas obtén, como su mejor opción, la quema de madera para la cocción de los alimentos como para las actividades del diario vivir, afectando de esta forma al ambiente con los gases que se deriva de la quema (Zea, Bernal y Carvajal 2015).

La inadecuada gestión de las excretas del ganado vacuno genera contaminación directa al suelo, cuerpos hídricos y aire, además, cabe destacar, que estas heces presentan parásitos, microorganismos y huevos causantes de enfermedades graves en seres humanos y al estar expuestas al sol, se fermentan y dan origen a malos olores y gases tóxicos. Al momento que se fermentan los líquidos, estos se filtran por la superficie afectando al suelo, a las aguas superficiales y subterráneas que están en contacto con estos lixiviados (Veracruz Gobierno del Estado).

En Ecuador el 84 % de los hogares rurales poseen ganado, con un promedio de 2,8 cabezas por hogar (FAO, 2020), por esta razón, es importante el buen manejo de las excretas, la capacitación de los ganaderos, el cuidado al medio ambiente y encontrar una solución factible para el tratamiento y cuidado de los ecosistemas.

El proyecto se basa en el diseño y construcción de un biodigestor en la finca “San José”, recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas para la producción de biogás que puede ser usado para la cocción de los alimentos. Las materias primas que se va a utilizar son el estiércol vacuno, desechos orgánicos maní forrajero. Por medio de la fermentación anaeróbica también se podrá obtener biol, este brinda nutrientes a los cultivos y el suelo sin dañarlo y contaminarlo.

Justificación

En Santo Domingo de los Tsáchilas existen muchas fincas, en las cuales, los desechos vacunos producidos diariamente son utilizados como abono o desechados de una forma incorrecta. Por este motivo, es necesario encontrar un sistema que ayude a disminuir la contaminación y, a su

vez, que aproveche estos residuos para obtener un mejor producto como es el biogás y, si es posible, el biol.

Los biodigestores son una de las mejores alternativas para el sector rural, ya que, la materia prima, principalmente, el estiércol vacuno y, si se desea, también se puede aumentar materia orgánica, los cuales se obtienen de restos de alimentos en las casas de las poblaciones rurales. Mediante la ampliación de biodigestores se obtendrán productos procedentes de estos desechos, fáciles de utilizar y evitando el gasto en combustible y abono (salazar y Arias 2016).

Hay que reconocer que esta tecnología tiene un bajo costo, tanto la construcción como el mantenimiento del biodigestor, en relación con los beneficios que ofrece a las zonas rurales. Muchos materiales locales pueden ser usados para su construcción por lo que se puede considerar amigable con la naturaleza y una alternativa eficaz de tratamiento de heces vacunas (Vera, 2015).

Se estima que este biodigestor sirva como un modelo de gestión para el aprovechamiento de estiércol vacuno, como una solución real al problema identificado, proponiendo una metodología amigable con el ambiente y que a futuro sirva como una herramienta clave para el sector agropecuario, tanto para la provincia y a nivel nacional. El biodigestor construido en la finca “San José” servirá como fuente de energía para la casa aprovechando el biogás y, como fertilizante, el biol (Chillo y Paguay 2015).

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “San José” recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

Objetivos específicos

- Caracterizar el estiércol de ganado vacuno mediante análisis fisicoquímico para cuantificarlo según sus características.
- Determinar las principales variables que intervienen en el proceso de fermentación por medio de la observación e implementación de instrumentos de medición especializados para el diseño acertado del biodigestor.
- Obtener biogás y biol como subproductos del proceso de fermentación para la implementación dentro de la finca.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Estiércol

Es el residuo compuesto de orina y heces proveniente de los animales, el cual es un material fertilizante fundamental ya que ayuda al suelo en su poder retentivo del agua, por lo tanto, es ideal para tierras tenaces o muy sueltas (Cascon 1948).

1.1.1. Composición del estiércol

La composición del estiércol no es la misma en todos los casos, puede variar tanto en el porcentaje de cada elemento como en las características del mismo. Existen varios factores que influyen en la composición, entre ellos se puede mencionar:

- Tipo de ganado: La cantidad de nutrientes presentes en el estiércol varía de acuerdo a la especie.
- Alimentación: El principal alimento del ganado es la hierba que crece en los potreros, pero la cantidad de nutrientes cambia de acuerdo a la dieta que se les suministra, puede ser para un sistema tabulado o semi-estabulado.
- Condiciones ambientales: Puede ser un factor que provoque la mezcla del estiércol con el agua de lluvia.
- Almacenamiento: De acuerdo al tiempo y a las condiciones de almacenamiento pueden perderse los nutrientes (Iglesias 1995a).

Tabla 1-1: Composición de estiércoles frescos de diferentes animales

Nutrientes	Bovinos	Porcinos		Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,90	45,30		52,80	63,90	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36		1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (%)	0,81	1,98		2,92	1,82	3,86
Potasio (%)	0,84	0,66		0,74	0,95	1,39
Calcio (%)	2,03	2,72		3,20	2,36	3,63
Magnesio (%)	0,51	0,65		0,57	0,45	0,77

Fuente: Acuña, 2015

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie; 2023.

1.1.2. Contaminación provocada por el estiércol

La mayor contaminación que se da al ambiente es por apilar el estiércol o por la colocación directa del mismo en el suelo (Iglesias 1995b). Al dejarlo a la intemperie se convierte en un foco de atraer plagas, provoca malos olores y, en especial, la polución de cuerpos hídricos que pueden ser utilizados para consumo humano y para actividad turística y recreacional.

Se puede mencionar tres de los varios medios por los cuales la contaminación del agua se produce:

- La escorrentía es una parte de la precipitación que no ha sido absorbida por el suelo y se dirige a corrientes superficiales. El punto negativo es que en su travesía puede arrastrar productos contaminantes e incluso contribuir, en parte, a la erosión del suelo.
- La infiltración es el paso de agua a los cuerpos de agua subterráneo a través del suelo. Esto también puede filtrar una parte de los contaminantes a los cuerpos de agua.
- La volatilización permite que los gases que se originan del estiércol puedan llegar a la atmósfera, propagando malos olores a lugares lejanos (Iglesias 1995b).

1.1.3. Ventajas y desventajas del estiércol

1.1.3.1. Ventajas

- El estiércol es valioso en cuestión de manejo sustentable del suelo, el mismo aporta nutrientes indispensables (como el potasio, calcio, nitrógeno y fósforo) al suelo, lo que beneficia a los cultivos para que los productos sean orgánicos y libres de químicos. Se lo puede aplicar fresco, en caso de que las plantaciones no sean para consumo humano, o compostado. También se lo puede mezclar con otras materias como vegetal o rumen que ayuda a aumentar la fertilidad del suelo ya que facilita la descomposición del estiércol (Rittenhouse 2015).
- Según (Cueto, Quiroga y Figueroa 2011) el estiércol aporta varios beneficios al suelo como son el aumento de los niveles de nutrientes en el suelo, el mejoramiento de la estructura y de la conductividad hidráulica, aumento de actividad microbiana y del porcentaje de materia orgánica.
- La ventaja más importante sería que, al ser un producto natural y orgánico, se está evitando la contaminación del suelo por compuestos químicos permitiendo que el suelo pueda respirar y este menos estresado (Inca 2016a).

1.1.3.2. Desventajas

- Al ser la ganadería la actividad pecuaria más grande, produce una contaminación de gran magnitud al dejarlo al aire libre y no darle una disposición adecuada. Esto conlleva una gran posibilidad de ser un foco de enfermedades tanto para seres humanos como para los demás animales, y además atraer una variedad de plagas como moscas, gusanos, etc (INCA 2016a).
- Dependiendo de la alimentación del bovino, el estiércol puede estar contaminado de restos de pesticidas, herbicidas, larvicidas, antibióticos, etc. Lo que puede afectar al suelo, su microbiota e incluso a los alimentos consumidos por el ser humano (INCA 2016a).
- En muchos países se utiliza el estiércol de una manera desmedida lo que también trae consecuencias, aún más para los cuerpos de agua. El P, N y NO_3^- son los principales causantes de contaminación, en especial el fósforo, llega por escorrentía superficial a lagos, lagunas y ríos, como es el caso de la Comarca Lagunera, México, que tiene documentada la contaminación del manto acuífero por NO_3^- , y aunque el P no representaría riesgos por arrastre, ya que, son terrenos planos con poca pendiente, sin embargo, si lo haría por acumulación en la capa arable del suelo (Cueto, Quiroga y Figueroa 2011).

1.1.4. Acción del estiércol en el suelo

Una de las propiedades más importantes de las enmiendas orgánicas del suelo es su capacidad para estimular complejos de microorganismos benéficos que ayudan a controlar plagas potenciales y patógenas. El estiércol y los residuos vegetales son los principales elementos del sistema de agricultura ecológica (Cairo y Alvares 2017).

El estiércol de buena calidad está relacionado con la especie animal, el alimento producido de los ganaderos y la zona donde fueron criados, esto aumenta su composición entre un 30% y un 80% el tenor orgánico. Aplicándolo de manera constante y en varias ocasiones el estiércol puede aumentar el contenido de humus del suelo y aumentar la actividad de los microorganismos (Inca 2016a).

El estiércol es un recurso valioso que completa el ciclo de nutrientes al devolver al suelo la mayor parte del nitrógeno absorbido por las leguminosas y cosechado como alimento, donde puede reutilizarse para cultivos futuros. Su uso en los sistemas ecológicos está dirigido a mejorar las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo, siendo también una importante fuente de energía y nutrientes para los ecosistemas terrestres (Cairo y Alvares 2017).

Con respecto a las concentraciones de nutrientes en las plantas, se ha descrito su relación con los

efectos de ciertas plagas, por lo que los desequilibrios de nutrientes pueden afectar las tasas de crecimiento de las plantas y tasa de protección de las plantas frente a patógenos. Al respecto, varios estudios han reportado los efectos secundarios de la fertilización y la aplicación de fungicidas para el control de enfermedades al final del ciclo, e incluso algunos estudios han demostrado una respuesta sinérgica entre tratamientos (Cairo y Alvares 2017).

1.1.5. Aplicación del estiércol como fertilizante

El estiércol animal contiene mucha materia orgánica que ha pasado por el sistema digestivo del animal. Esto a su vez aumenta la materia orgánica del suelo, lo que tiene muchos beneficios. Además, actúa como un fertilizante de liberación lenta que distribuye su nitrógeno natural durante varios meses. Su carga eléctrica negativa, esto puede aumentar la capacidad del suelo arenoso para absorber y retener nutrientes al ayudar a airear los suelos arcillosos compactados. Con el tiempo, esta capacidad puede ayudar a mantener y aumentar los niveles generales de nutrientes de su suelo. Finalmente ayuda a reciclar los nutrientes suministrados a los animales. Tal reciclaje ayuda a hacer un mejor uso de los recursos naturales de la Tierra. También dificulta que los nutrientes de los fertilizantes se filtren del suelo hacia las fuentes de agua circundantes y las aguas subterráneas, lo que protege la calidad del agua de su comunidad (Grupo Sacsa 2015).

1.2. Estiércol bovino

El estiércol bovino cobra un papel importante como abono natural, lo que para las unidades de producción representa un menor gasto, debido a que, los productores compran una menor cantidad de abonos químicos; en general el abono orgánico es más barato que el fertilizante inorgánico. Sin embargo, el manejo y uso del estiércol aumenta las necesidades de mano de obra debido a que hay que trasladarlo en remolques a las superficies agrícolas (Pesado et al. 2020).

Las heces del ganado bovino son diferentes de los demás especies por contener una alta proporción de agua, lo que puede complicar su recolección (Bavera y Peñafort 2006). Aunque no es el estiércol con mayor producción de biogás, se obtiene en una gran cantidad por las cargas diarias que se realizan en el biodigestor.

1.2.1. Nutrientes presentes en el estiércol bovino

Las propiedades químicas del estiércol de vaca dependen de si los sólidos (heces) y los líquidos (orina) están separados o no. De aquí podemos obtener varios materiales de una mezcla de ambas partes y absorbentes (como la paja) recogidos directamente de corrales o establos, la parte

líquida u orina separada y almacenada en la balsa, la parte sólida (heces) se retira mediante filtración, o incluso se separa la totalidad del pre compost del anterior (Tortosa 2019).

Tabla 1-2: Composición química del estiércol vacuno descompuesto.

Indicadores (%)							
Materia orgánica	Carbono orgánico total	Nitrógeno total	Fósforo	Calcio	Potasio	Magnesio	pH
26,22	15,21	1,48	0,76	2,26	1,15	0,73	6,68

Fuente: Pastos y forrajes, 2017

Realizado por: Ramírez Stefany., Suquillo Leslie. 2023.

1.2.2. *Microorganismos y productos farmacéuticos en el estiércol bovino*

La mayoría de las veces el estiércol bovino es inocuo o existen microorganismos presentes de forma natural que contribuyen con su descomposición, pero existen casos en donde pueden hallarse especies peligrosas como *E. coli*, *Samonella spp.* y *Yersinia spp.* (Portal Veterinaria 2016). La mayoría de estas bacterias no son resistentes al calor, por lo cual, se someten al calor para que se pueda esterilizar.

También, pueden encontrarse restos de productos químicos y farmacéuticos que son utilizados, mayormente, para desparasitar al ganado o para desinfecta el área en donde estos se encuentran. Aunque también se utilizan productos veterinarios como suplementos alimenticios, residuos de estos productos se encuentran en el estiércol y puede ser perjudicial, no solo para el ser humano, sino también, para el suelo (Inca 2016a).

1.3. Biodigestor

Es un contenedor sellado herméticamente que contiene residuos orgánicos de origen vegetal o animal como excrementos. Los microorganismos presentes en los desperdicios orgánicos generan una fermentación anaeróbica, de la cual, se puede obtener energía (Aquaefundacion 2017).

1.3.1. *Objetivo del biodigestor*

Transformar residuos orgánicos para obtener gas aprovechable con elevado poder calorífico con el propósito de obtener energía y ayudar a reducir las emisiones de gases nocivos a la atmósfera, contribuyendo a un bienestar económico, social y ambiental (Inca 2016b).

1.3.2. Proceso dentro del biodigestor

El biodigestor funciona con los residuos orgánicos y desechos de animales. En el interior del biodigestor se forma un ambiente biológico activo que desencadena la fermentación anaeróbica bajo la influencia de microorganismos, lo que permite la producción de biogás y líquidos lixiviados utilizados como fertilizante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Al biodigestor se lo alimenta con los residuos orgánicos y agua, se lo inocula con bacterias metanogénicas que descomponen la materia orgánica y forman el metano. Una vez que se mezclan los residuos con el agua, el calor al interior del contenedor genera gases y las bacterias metanogénicas actúan a partir de eso, dependiendo de la temperatura climática, tardara de 15 a 40 días para aprovechar el biogás (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

El biol se puede aplicar como abono siempre y cuando se lo mezcle con agua para reducir la concentración alta de nutrientes, además, el tratamiento anaeróbico elimina los malos olores y por ende la aparición de vectores como moscas, insectos, entre otros (Inca 2016a).

1.3.3. Ventajas de los biodigestores

- Producir biogás de forma natural para ser utilizado como combustible, evitando así la extracción de combustibles no renovables.
- Aprovechar residuos orgánicos que terminan siendo derivados a un sitio de disposición final.
- Obtener un fertilizante natural (biol) a partir de desechos sólidos, el cual, puede ser utilizado e incluso, comercializado.
- Ahorra los recursos económicos y energéticos, al aprovechar el biogás generado.
- Promover el desarrollo sostenible, evitando la emisión de gases de efecto invernadero.
- Protege los mantos acuíferos de la contaminación por exceso de químicos.
- Facilita el trabajo del campesino, principalmente de niños y mujeres que buscan y transportan leña desde lugares lejanos.
- Evita malos olores, insectos y controla los microorganismos capaces de generar enfermedades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

1.3.4. Desventajas de los biodigestores

- Debe existir disponibilidad de agua, ya que se requiere una mezcla.
- Se debe ubicar cerca de la fuente de materia prima y del sitio de consumo del biogás.

- La temperatura deber ser cercana a los 35 °C y dentro de un rango entre los 20 y 60 °C. En climas fríos aumentaría el tiempo de retención.
- Demanda un trabajo constante y diario, específicamente en cuanto a la carga de la materia orgánica dentro del biodigestor.
- Se puede producir ácido sulfhídrico (H₂S), que es tóxico y corrosivo (Castro 2019).

1.3.5. Criterios que se deben considerar en el diseño de un biodigestor

Los criterios que se deben considerar al momento de diseñar y construir un biodigestor son:

- Cercanía de la materia prima con el lugar en donde se instalará el biodigestor
- Disponibilidad de materia prima, desechos pecuarios o domésticos.
- Debe estar de 10 – 15 metros de fuentes de agua para usarla en la mezcla sin contaminarla.
- Se debe ubicar en un lugar en donde la temperatura se mantenga relativamente estable, procurando que reciba los rayos solares.
- Las personas que van a implementar el biodigestor deben ser responsables y comprometidas con el mantenimiento, recursos económicos para adquirir materiales, mano de obra, entre otros.
- El diseño del biodigestor debe ser adaptado a las necesidades específicas de cada lugar (Inca 2016c).

1.4. Clasificación de biodigestores

1.4.1. Reactor anaeróbico de alta velocidad

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad se basan principalmente en un reactor de agitación continuo que opera en condiciones mesófilas o termófilas. Diseñar fermentadores para la metanogénesis es un gran desafío en comparación con la mayoría de los fermentadores para otros procesos. Las consecuencias de una falla en el proceso pueden ser significativas, especialmente si las operaciones de la planta deben cerrarse cuando las aguas residuales no se tratan de manera consistente y satisfactoria (Inca 2016c).

1.4.2. Reactor anaeróbico de baja velocidad

Reactor anaeróbico de baja velocidad no se encuentran en agitación. No se controla la temperatura, el tiempo de retención y otras condiciones. Esta configuración de biorreactor no es la más adecuada para la producción de bioenergía (biogás). Sin embargo, algunos tanques de fermentación y lagunas se sellan y se mezclan para producir biogás (Inca 2016c).

1.4.3. Reactores según su tipo de operación

1.4.3.1. Discontinuo o Batch

Es de uso frecuente en los laboratorios para la gestión de materia vegetal, son eficaces en la digestión de materia celulósica, se caracteriza por una carga y vaciado de la cámara de digestión, puede ser con o sin agitación, requieren de una proporción de inóculo del 20%, su curva de producción de gas se basa en arranque-estabilización-agotamiento (Hilbert 2016).

Ventajas

- Puede procesar gran cantidad de materiales.
- Puede llenarse con materiales secos que no absorben humedad.
- Se puede manejar las variables relacionadas con la fermentación como temperatura, TRH, carga depositada y los periodos de carga y descarga (Miranda 2018).

Desventajas

- Cargar el biodigestor requiere de mucho trabajo al igual que la descarga del mismo (Miranda 2018).

1.4.3.2. Semi-Continuo

Este tipo de biodigestores requieren de cargas diarias y se lo hace por medio de la gravedad, cabe mencionar, que el volumen que se introduce es igual al volumen que se extrae, son utilizados en sistemas pequeños ya que son fáciles de adaptar y los más comunes son los biodigestores de tipo Chino o domo fijo, Hindú o domo flotante y Taiwán o tubular (Riatiga 2016).

1.4.3.3. Continuo

En este tipo de biodigestores el objetivo es la mezcla completa del sustrato, los factores que intervienen para lograr lo antes mencionado es la agitación de líquidos mediante bombas internas o externas y la reinyección de biogás dentro de la cámara generando burbujeo. Es importante controlar la intensidad y lapso de la agitación ya que puede perjudicar el equilibrio bacteriano dentro del biodigestor (Hilbert 2016).

Ventajas

- El control de la digestión tiene un alto grado de precisión.
- Se puede controlar la digestión que es requerida por medio de la cantidad de biomasa depositada diariamente.

- La carga y descarga del biodigestor no requiere de operaciones especializadas (Miranda 2018).

Desventajas

- Una baja concentración de sólidos que se pueden depositar dentro.
- No posee un buen diseño para tratar materiales que son más pesados que el agua, ya que no cuenta con agitador.
- Puede tener problemas de limpieza y espuma
- Alto consumo de agua (Miranda 2018).

1.5. Características del Biodigestor

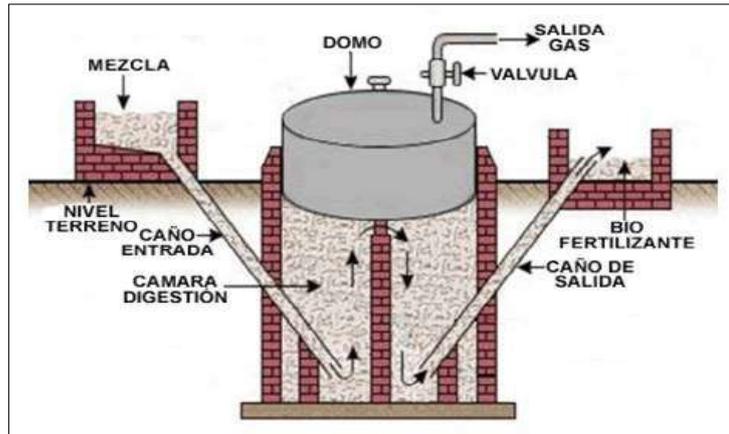
Un biodigestor debe cumplir con ciertas características para su correcto funcionamiento:

- Son herméticos impidiendo la entrada y salida de aire que puede afectar al proceso de biodegradación de la materia orgánica.
- Cuentan con aislamiento térmico, esto evita los cambios bruscos de temperatura.
- En su diseño es importante integrar una válvula de gas para evitar que la presión se eleve en cantidades incontrolables.
- El biodigestor está conformado por una entrada y salida.
- Su mantenimiento debe ser de fácil y de cómodo acceso.
- En su mecanismo operacional es importante contar con un rompe natas (Ruiz 2020).

1.6. Tipos de Biodigestores o modelo de biodigestores

1.6.1. Biodigestor de Campana Flotante (Hindú)

En su estructura están conformados por un cilindro de mampostería y una campana flotante que se encarga de almacenar el gas en la parte superior, esta campana es usualmente fabricada de metal con planchas de acero, es importante cubrirla con pintura para evitar la corrosión. Este tipo de biodigestores son fáciles de usar y operar, proporcionan gas a una presión constante de 0.1 atmósferas y el volumen de este gas se ve reflejado por el movimiento de la campana (Barrera et al. 2020).



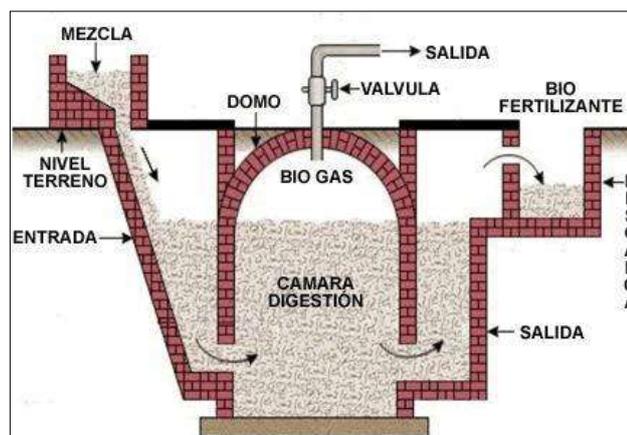
Ilustraciones 1-1: Biodigestor de Campana Flotante (Hindú)

Fuente: (García 2019).

1.6.2. Biodigestor de domo fijo (Chino)

Este biodigestor tiene una cámara de gas firme está construido con ladrillo, piedra u hormigón. Tiene una forma hemisférica unida con lados rectos, su superficie es sellada con mortero para mayor resistencia (Román 2016).

Cuando el biogás se comienza a producir, el líquido que se encuentra en el interior del biodigestor se desplaza hacia la caja de salida mientras que el biogás producido se almacena en la cúpula superior. Cuando se extrae el biogás, una cantidad similar de líquido regresa al interior del biodigestor. Por lo tanto, la presión del gas dentro del biodigestor no se mantiene constante, sino que aumenta con la cantidad de biogás almacenado y la diferencia de altura entre las superficies interna y externa del líquido (Barrera et al. 2020).

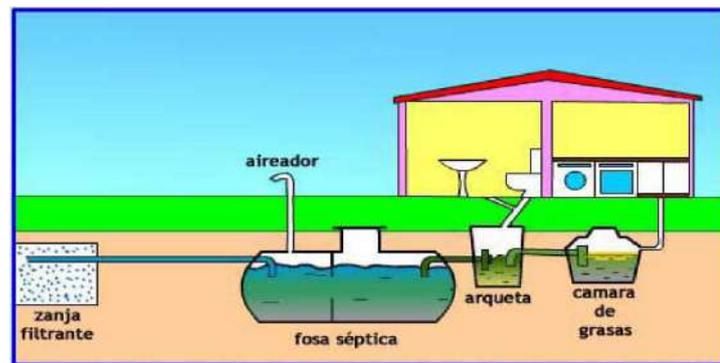


Ilustraciones 1-2: Biodigestor de domo fijo

Fuente: (GARCÍA 2019)

1.6.3. Pozos sépticos

Los pozos sépticos, también conocidas como fosas sépticas, son una alternativa al pretratamiento de las aguas residuales negras y grises de zonas escasamente pobladas o pequeños asentamientos sin alcantarillado. El objetivo principal de un pozo séptico es reducir y depurar los organismos y bacterias patógenos causados por las actividades domésticas, afectando directamente la salud de la población local e indirectamente al medio ambiente, debido a que, la disposición inadecuada de los residuos sólidos puede contaminar tanto las aguas superficiales como las subterráneas (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2019).



Ilustraciones 1-3: Diseño de un pozo séptico residencial

Fuente: (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2019).

1.6.4. Biodigestores horizontales o taiwanes

Es un digestor tubular horizontal con poca profundidad y alargados semejando la forma de una salchicha. En ambos extremos hay cámaras de carga y descarga respectivamente. Su forma alargada evita que la alimentación líquida original se mezcle con las aguas residuales, esto es útil cuando se manipulan residuos que requieren mucho tiempo, como excrementos humanos y algunos desechos de mataderos (EcoInventos 2022).



Ilustraciones 1-4: Diseño de un biodigestor horizontal

Fuente: (EcoInventos 2022).

1.7. Componentes de un biodigestor

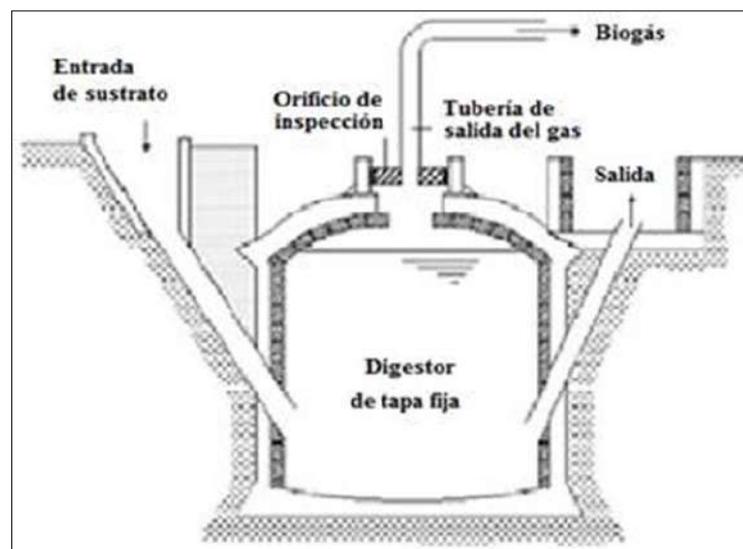
Un biodigestor está conformado por los siguientes componentes:

1.7.1. Sistema de carga

El sistema de carga o también conocido como cámara de premezclado o alimentación, se encarga de homogenizar el sustrato antes de ingresar al biodigestor (FAO 2019b).

1.7.2. Cámara de fermentación o digestión

En la cámara de fermentación anaeróbica el material descompuesto permanecerá durante un período de tiempo, conocido como tiempo de retención, durante el cual se produce la descomposición y liberación de biogás. Tiene forma cilíndrica y su capacidad depende del volumen del material a degradar. La función de la cúpula es almacenar gas cuando no hay consumo, porque, la producción de gas no se interrumpe durante el día. La capacidad de la cúpula depende del volumen de la cámara de fermentación (Campos 2011).



Ilustraciones 1-5: Cámara de fermentación

Fuente: (Gonzales 2009) .

1.7.3. Tanque digestor

Se lo denomina como biodigestor, este puede estar constituido de diversos materiales como plástico, hormigón, acero inoxidable, geo membranas, entre otros.

Es un contenedor hermético, en el cual, se genera un proceso biológico conocido como digestión anaeróbica (FAO 2019a).

1.7.4. Sistema de descarga

Dependiendo el tipo de biodigestor puede tener de 3 a 5 tubos colocados a diversos niveles, o un solo tubo con válvulas a distintos niveles para la extracción del líquido, es importante elegir el nivel que extraiga un efluente con menor cantidad de sólidos totales (Varnero 2011b).

1.7.5. Cámara de almacenamiento del biogás

El proceso de digestión anaeróbica tiene una producción aproximada de 600 a 700 litros de gas por kilogramo de materia orgánica degradada, esto depende de las características del influente. El gas que se genera está conformado principalmente de metano, anhídrido carbónico y otros gases. El porcentaje de metano en un biodigestor eficiente varía entre 65% y 70% en volumen, el anhídrido carbónico es de 30% a 35% y el 1% a 2% es de los otros gases generados en el biodigestor (Varnero 2011b).

1.7.6. Sistema de control de temperatura

Son sistemas costosos, se utilizan a nivel industrial y su función principal es mantener la temperatura estable, en un rango óptimo en el interior del digestor para un crecimiento óptimo de las bacterias.

Un sistema de control de temperatura normalmente consta de:

- Serpentin: Es un sistema de tuberías, por las cuales, el calor es transmitido a la mezcla que está al interior del tanque. El tubo del serpetin debe ser delgado para que la conducción de calor sea garantizada desde los tubos hasta el sustrato.
- Intercambiador de calor: dispositivo que transfiere calor entre dos fluidos, ya sea entre un sólido y un fluido en movimiento.
- Controlador de temperatura: Sistema cuya función es regular el motor que controla las válvulas encargadas de hacer circular el refrigerante, así como el líquido caliente.
- Sensor de temperatura: Se puede utilizar un termómetro para medir la temperatura dentro del tanque, pero se recomienda la utilización de una termocupla.
- Tuberías de conducción de agua: Son tuberías que se ubican al interior de las paredes del biodigestor, deben sujetarse para que actúen como conductores de un fluido térmico que absorba el calor excedente que pueda presentarse en el interior del tanque (Inca 2016c).

1.7.7. Sistema de agitación

Un sistema de agitación está formado por cuatro hasta seis deflectores, que cumplen la función de generar y aumentar la turbulencia y por ende facilita el mezclado del sustrato en el interior del tanque o la cámara de digestión.

Normalmente cuenta de cuatro partes mecánicas que son:

- Puerto de entrada del biorreactor: Este es el espacio donde se puede instalar el mecanismo de entrada o salida del digestor; a través de este, se pueden realizar ajustes o fijar dispositivos en la superficie o pared del tanque de digestión.
- Motor impulsor: El motor acciona al eje de transmisión, que gira y genera agitación. Preferiblemente, este motor debe ser de inducción porque si las condiciones requieren una agitación constante, es mejor mantener el digestor funcionando continuamente.
- Eje transmisor de potencia: Es una barra cilíndrica, que facilita la unión con el motor, esta barra debe ser de acero inoxidable y su longitud depende de la profundidad del tanque.
- Acople del eje: Fija y ajusta el eje transmisor al motor (Inca 2016c).

1.7.8. Tubería de gas

La tubería de conducción de gas y sus componentes deben de ser previamente diseñada, a fin de soportar las presiones de operación. La tubería de conducción de biogás pueden ser de diversos materiales capaces de soportar la corrosión como el PVC, polietileno de alta densidad, polipropileno, entre otros (Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México» 2010).

1.7.9. Válvula de seguridad

Accesorio ubicado al final de la tubería de conducción de gas, su función principal es liberar el exceso de gas generado dentro del biodigestor (Quintero, Gámez y Lozano 2018).

1.7.10. Purificador de gas

En la obtención de biogás se genera ácido sulfhídrico H_2S , por lo tanto, el purificador de gas es el encargado de purificar este compuesto y evitar la corrosión en los quemadores; en el interior de este purificador se encuentra la viruta de hierro que actúa como filtro (Quintero, Gámez y Lozano 2018).

1.7.11. Extracción de lodos

Las tuberías de extracción de lodos están ubicadas en el centro del biodigestor y están a favor de la gravedad, puesto que, esto facilita la limpieza, por lo general, tienen un diámetro de 15 cm y estas equipadas con válvulas de tapón para evitar obstrucciones (Varnero 2011b).

1.8. Ventajas de la utilización de digestores de bajo costo en zonas rurales

La implementación de biodigestores en zonas rurales favorece al desarrollo sostenible de estas zonas alejadas de la ciudad, ya que favorece a los agricultores y ganaderos de escasos recursos al acceso de biogás y fertilizantes de bajo costo. Cabe mencionar, que este biogás y fertilizantes se los obtiene a partir de desechos contaminantes como el estiércol animal, al tener un adecuado tratamiento se logra mitigar la contaminación del aire, agua y suelo (Arrieta 2016).

En el siguiente apartado se menciona las ventajas de la implementación de biodigestores de bajo costo en las siguientes áreas: ambiental, social y económico.

1.8.1. Ventajas ambientales

Mediante el uso de los biodigestores se reduce las emisiones de los gases nocivos, se evita la contaminación del agua a causa de la mala gestión del estiércol y la deforestación, a su vez, se puede mejorar la calidad del suelo mediante el uso del fertilizante orgánico que se obtiene de este tratamiento (Arrieta 2016).

- **Disminución de la contaminación del aire:** La gestión del estiércol animal para la obtención de biogás favorece a la cocción de los alimentos, calefacción e iluminación, de este modo, se realiza el reemplazo de la leña, una de las ventajas principales, es que el estiércol que anteriormente no era aprovechado o se lo usaba directamente como abono, deja de emitir metano a la atmósfera, patógenos y malos olores, disminuyendo la propagación de insectos (Arrieta 2016).
- **Disminución de la contaminación del agua:** La gran mayoría de los establos se encuentran ubicados cerca de corrientes de agua como ríos, quebradas, entre otros. Al gestionar el estiércol en un biodigestor se evita la contaminación de agua, dado que, el contacto directo de la materia orgánica y el agua genera una disminución de oxígeno afectando a los animales acuáticos, por ende, se evita enfermedades por el consumo de agua contaminada por excretas animales (Arrieta 2016).
- **Disminución de la deforestación:** Sustituir la leña por el uso del biogás, impedirá la degradación de los bosques, por lo tanto, disminuirá la tala de árboles contribuyendo a frenar la erosión de los suelos, mejorando, además, la cobertura de los suelos y evitando la

escorrentía del agua (Arrieta 2016).

1.8.2. Ventajas sociales

En las zonas rurales los moradores obtendrán mayor conocimiento y comprensión respecto al manejo de los recursos naturales de una manera eficaz y sostenible, inculcando valores en la preservación del medio ambiente (Arrieta 2016).

- **Beneficios en la salud por el reemplazo de la leña:** La implementación del biogás permite mejorar la salud de los habitantes, puesto que, será nula la emisión de gases tóxicos y partículas que son causantes de enfermedades respiratorias como el asma, tos, bronquitis o cáncer (López y Pages 2008).
- **Beneficios a la salud por reemplazo de fertilizante químicos:** Los pobladores tendrán una mayor nutrición al implementar fertilizantes orgánicos, esto favorece la relación C/N, disminuye olores y enriquecen el suelo de nutrientes, dando frutos orgánicos y naturales (Al seadi et al. 2008).
- **Beneficios a la salud por el menor vertido de estiércol animal a las fuentes fluviales:** La calidad del agua del medio rural como los ríos y quebradas que son principalmente captaciones de agua potable se verán menos afectadas, disminuirá la contaminación por estiércol beneficiando así, la calidad de vida de los pobladores de las zonas rurales (Arrieta 2016).
- **Menor proliferación de insectos:** La implementación de biodigestores en el tratamiento de estiércol animal reduce la propagación de enfermedades, especialmente las transmitidas por insectos, mosca y zancuda, estos se pueden observar en mayor cantidad en la actividad pecuaria, por ende, en las casas. Con la aplicación de los biodigestores se busca disminuir la proliferación de insectos y otros peligros (Arrieta 2016).

1.8.3. Ventajas económicas

La aplicación de biodigestores deja beneficios económicos al reemplazo del combustible usado en las cocinas (leña, bosta o GLP) y de los fertilizantes químicos.

- **Ahorro de energía para cocinar:** El reemplazo de los cilindros de gas propano por el biogás representa un ahorro mensual en las familias rurales, de igual manera el reemplazo de la leña por el biogás, a pesar que la leña no tiene costo alguno, representa tiempo y esfuerzo, lo cual, beneficia principalmente a las mujeres del hogar, ya que, disfrutarán de tiempo disponible para ocuparlo en otras actividades productivas (Arrieta 2016).
- **Ahorro en abonos químicos:** Después del proceso de digestión se obtiene un producto llamado biol, que es un abono orgánico lleno de nutrientes y libre de olores, patógenos y de

fácil uso, evitando la compra de fertilizantes químicos (Al Seadi et al. 2008).

1.9. Biogás

El biogás es un combustible gaseoso, es una fuente de energía renovable que se genera a partir de la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Está compuesto principalmente de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y, en menor proporción, de otros gases en los que destaca sulfuro de hidrogeno (H₂S), altamente toxico, de olor fuerte y desagradable (Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura 2019).

1.9.1. Componentes del biogás

La composición del biogás se ve afectado por la calidad de materia orgánica y las condiciones de operación que se lleve a cabo en el biodigestor, el biogás está conformado principalmente por metano y dióxido de carbono, sin embargo, tiene presencia de otros componentes trazas que se representan en la tabla 3-1 (Arellano; Dorado et al 2017).

Tabla 1-3: Componentes del biogás.

Componentes	Formulas	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	35-75
Dióxido de carbono	CO ₂	15-60
Vapor de agua	H ₂ O	5-10
Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	0.005-2
Siloxanos	-Si-O-Si-	0-0.02
Hydrocarburo saturados y halógenos	C _n H _{2n+2} R-x	<0.6
Amoniaco	NH ₃	<1
Oxigeno	O ₂	0-1
Monóxido de carbono	CO	<0.6
Nitrógeno	N ₂	0-2

Fuente:(Arellano et al. 2017)

Realizado por: Ramírez Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

1.9.2. Características

El biogás es incoloro, inodoro e insípido, por lo tanto, es difícil detectar su presencia fácilmente, tiene menor densidad que el aire, por ende, es más liviano, su peligrosidad baja notoriamente, es menos asfixiante y explosivo. La temperatura y la presión crítica son características que obligan a utilizar el biogás en estado natural, puesto que, el equipo para licuarlo es costoso y consume demasiada energía (Bonifaz y Morales 2012).

Tabla 1-4: Características generales del biogás

Composición	Metano CH ₄ (55-70%) Dióxido de carbono CO ₂ (30-45%) Trazas de otros gases
Valor calorífico (Kwh/m ³)	7.0
Equivalente de combustible (L de petróleo/m ³ biogás)	0.60-0.65
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6-12
Temperatura de encendido	687
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31
Presión crítica (atm)	74-88
Temperatura crítica ° C	-82.5
Densidad (Kg/m ³)	1.2
Densidad con respecto al aire	0.81
Masa molar (Kg/kmol)	16.043
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6

Fuente: FAO,2011

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

1.9.3. Materias primas que sirven para la producción de biogás

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables, por tanto, deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados (Huerga et al., 2014: pp.16).

Existen diversas materias primas que se pueden utilizar en el biodigestor para la obtención de biogás. Residuos de origen vegetal, animal, forestal, agroindustrial y otros, permiten que la actividad microbiana, dentro de un sistema anaerobio, se desarrolle de manera benéfica para el objetivo planteado y esto es gracias a las características bioquímicas de cada tipo de residuo. El proceso requiere, no solo de carbono y nitrógeno, también de diferentes sales minerales como azufre, fósforo, potasio calcio y otros (Salazar y Arias 2016).

A continuación, se presenta un cuadro en donde se detalla que materia prima contiene cada tipo de residuo.

Tabla 1-5: Residuos orgánicos de diversos orígenes

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

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

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie., 2023.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de producción de biogás por cada kilogramo de materia prima.

Tabla 1-6: Producción de biogás con distintas materias primas.

Material	Litros de biogás por kg de residuo fresco
Restos vegetales de maíz	833,0
Pasto seco	625,0
Sorgo granífero	550,0
Cáscara de arroz seca	350,0
Paja de trigo seca	350,0
Cáscara de cítricos	110,0
Estiércol ovino	100,0
Pasto verde	98,4
Residuos de comida	97,5
Estiércol caprino	80,0
Estiércol de cerdos	77,0
Estiércol de gallina	62,5
Desechos de huerta	51,0
Estiércol vacuno	50,0
Estiércol equino	45,0

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

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie., 2023.

1.9.4. Utilización del biogás

El biogás inicialmente fue empleado como combustible en cocinas, calefacciones, iluminación y en la generación de energía eléctrica (Calderon y Piratova 2017).

El biogás es un gran sustituto en la generación de electricidad, gas propano, diésel, este también se utiliza como combustible para motores, hornos de aire forzado, calentadores y refrigeración (León et al. 2019).

1.9.5. Factores que afectan la producción de biogás

La producción de biogás se ve afectada por varios factores, en el proceso de la actividad metabólica de los microorganismos los siguientes factores pueden afectar a la digestión anaerobia, ralentizando el proceso de producción de biogás (Varnero 2011c).

Los factores importantes que se debe tener en cuenta:

- Tipo de sustrato (materia prima)
- Temperatura del sustrato
- Tiempo de retención
- Nivel de pH
- Relación C/N
- Concentración del sustrato
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso (Varnero 2011c).

1.10. Biol

Según (Mamani, Chavez y Ortuño 2015) el biol es un fertilizante líquido foliar de producción casera, que contiene nutrientes y hormonas de crecimiento como producto de la fermentación o descomposición anaeróbica de desechos orgánicos de origen animal y vegetal.

1.10.1. Ventajas del biol

- El biol no es un producto tóxico, por ende, no contamina el ambiente, se lo obtiene de productos naturales.
- Al ser un abono natural los frutos de las plantas se ven favorecidos, ya que, mejora la calidad y cantidad del producto.
- La aplicación de biol en el suelo activa a los microorganismos, reciclando nutrientes para el suelo y las plantas.
- El biol es capaz de restaurar los cultivos atacados por plagas, animales, heladas, granizadas y sequías.
- Este producto es capaz de actuar como repelente de algunos insectos.
- Ayuda al desarrollo foliar especialmente en hortalizas de hojas.
- Su producción es de bajo costo y se lo puede preparar de manera fácil y económica (Mendoza Davalos 2016).

1.10.2. Verificación de la calidad del biol

Para conocer si el biol es de la calidad necesaria para ser utilizado como biofertilizante se toma en cuenta los siguientes aspectos.

El olor: El biol debe presentar un olor agradable de fermentación alcohólica, no debe tener olor de putrefacción ya que esto indicaría que aún no acaba el proceso de descomposición por lo que no se lo puede utilizar en los cultivos (Pozo 2019).

El color: Al momento de tomar el biol de la caja de salida el color debe ser de un color ámbar brillante y traslúcido, y la nata debe ser blanca lo que indica un biol de buena calidad. En caso de que presente un color verdoso y turbio aparenta que el biol aún no está maduro por lo que hay que dejar más tiempo en descomposición. Si el color es un verde oscuro y tiene un olor putrefacto significa que el biol es de mala calidad (Pozo 2019).

1.10.3. Frecuencia y dosis recomendada

La frecuencia con que se aplican los biofertilizantes es variada y se deben considerar algunos aspectos como el tipo de cultivo, estado de desarrollo del cultivo y el tipo de suelo (Andino 2011).

El biol primero se debe filtrar y se lo puede almacenar durante un corto periodo de tiempo ya que sus nutrientes van disminuyendo progresivamente. El líquido se puede aplicar al follaje o vía riego diluyéndolo en agua entre el 2,5-10% y 25% respectivamente. La aplicación se debe efectuar en la mañana antes de las 10 am o en la tarde después de las 16 pm (Zegers et al. 2021).

Tabla 1-7: Dosis recomendada de aplicación según la etapa de desarrollo de la planta

Etapa de desarrollo	Dosis recomendada
Plantas jóvenes	½L de biol diluido en 20L de agua
Plantas en desarrollo	1L de biol diluido en 20L de agua
Plantas maduras	2L de biol diluido en 20L de agua

Fuente: ZEGERS et al. 2021.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie. 2023.

Según el tipo de cultivo se lo aplica de la siguiente manera:

- Hortalizas: 5 litros de biol, en bomba de 15 litros de agua.
- Frutales: 10 litros de biol, más 10 litros de agua.
- Cultivos anuales: (Trigo, papa, haba, maíz, etc.) 5 litros de biol, con 15 litros de agua, para

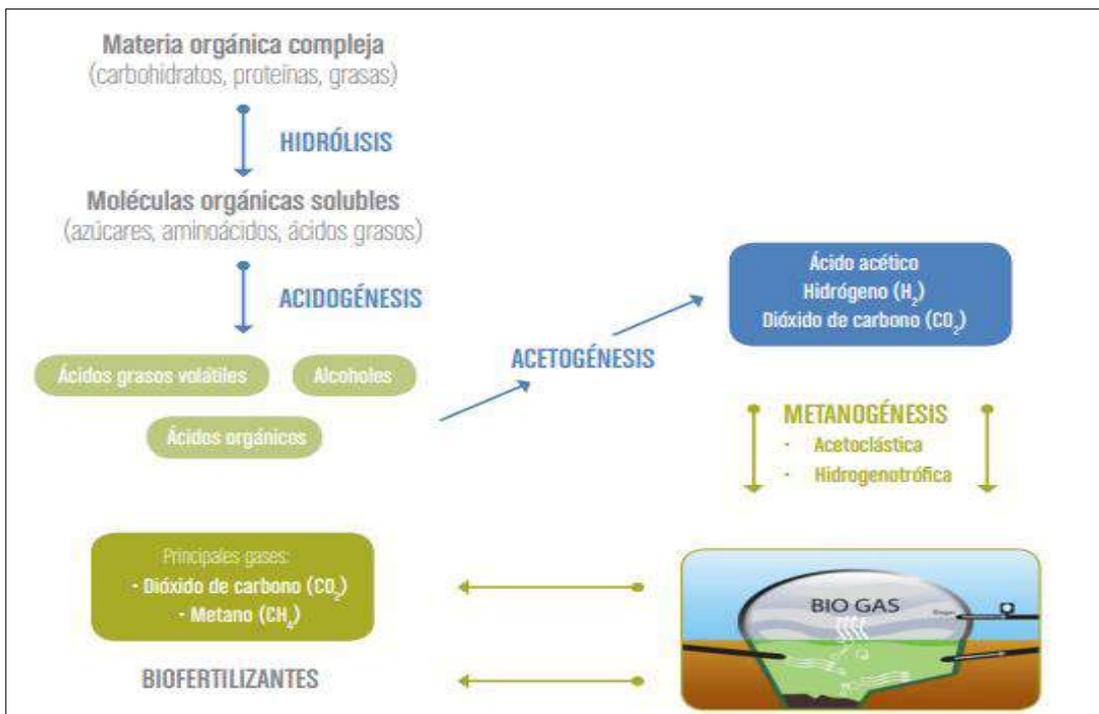
una mochila de 20 litros (Ribera 2011).

1.11. Digestión anaerobia

Proceso donde la materia orgánica se separa por obra de microorganismos sin presencia de oxígeno, produciendo una mezcla de CH₄ y CO₂ y una suspensión acuosa de materiales sólidos degradados junto con el N, P y otros minerales presentes (La Cal 2020).

1.11.1. Fases de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia se realiza en ausencia de oxígeno, para ello, se recolecta el estiércol fresco, este contiene diversos microorganismos capaces de degradar el excremento y obtener metano, dióxido de carbono, entre otros gases, cuando se realiza una digestión anaerobia en un biodigestor con todos los parámetros de control se produce un combustible llamado biogás (Martí 2008).



Ilustraciones 1-6: Etapas de la digestión anaerobia en un biodigestor y sus productos finales

Fuente: (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDADES PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA 2019)

1.11.1.1. Hidrólisis

La materia orgánica compleja es degradada por microorganismos en materia orgánica soluble apta para la siguiente fase de la digestión anaerobia (Organización De Las Naciones Unidades Para La Alimentación Y La Agricultura 2019).

1.11.1.2. Acidogénesis

La materia orgánica soluble mediante los microorganismos acidogénicos es transformada en ácidos grasos volátiles de cadena corta solubles como el ácido acético, propiónico, butírico y valérico (Gonzabay y Suárez 2016).

1.11.1.3. Acetogénesis

En esta fase los microorganismos acetogénicos oxidan el ácido propiónico y butírico hasta obtener ácido acético e hidrogeno, existe la producción de diversos compuestos como el dióxido de carbono, nitrógeno, hidrogeno, bicarbonatos y compuestos amoniacales, se presenta malos olores por la presencia de ácido sulfhídrico (Guevara 1996).

1.11.1.4. Metanogénesis

Esta es la última etapa de la digestión anaerobia, los microorganismos metanogénicos tienen dos vías en las cuales transforman el ácido acético en CH₄ y CO₂ mediante la vía acetoclástica y a partir del H₂ y CO₂ genera CH₄, por medio de la vía hidrogenotrófica (ORGANIZACIÓN de las NACIONES UNIDADES Para La Alimentación Y La Agricultura 2019).

1.11.2. Factores que influyen en la degradación anaerobia

El proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores en especial por condiciones ambientales. La degradación anaeróbica se evalúa en función a la producción de metano, ya que, la metanogénesis es un paso limitante en el proceso por eso se requiere un monitoreo constante en el proceso (VARNERO 2011).

A continuación, se detallan las condiciones que se tienen que tener en cuenta:

1.11.2.1. Material de carga para la fermentación metanogénica.

En este proceso se puede usar residuos orgánicos, ya sea de origen animal, vegetal, forestal, domestico, entre otros. Es importante que estos residuos presenten características bioquímicas capaces de optimizar la acción microbiana en la fermentación anaeróbica, este proceso no solo requiere fuentes de carbono y nitrógeno, también necesita un equilibrio en sales minerales.

Las sustancias orgánicas como el estiércol y lodos presentan estos elementos equilibradamente, sin embargo, de ser necesario se pueden adicionar otros compuestos capaces de favorecer la

fermentación. La degradación de los estiércoles animales dependerá del tipo de animal y su alimentación, la producción y rendimiento de biogás presenta diferencias, ya que, en el proceso afectan diversos factores, por ende, es difícil compararlos (Varnero 2011).

Los sustratos se pueden calificar en cuatro clases según su forma física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas.

- Sustratos clase 1: Se degradan eficientemente en digestores de tipo Batch o por lotes.
- Sustrato clase 2: Se degradan eficientemente en digestores de mezcla completa de operación continua.
- Sustratos clase 3: Al tener una mayor dilución y por ende un menor DQO, deben tratarse en digestores de alta eficiencia, por ejemplo, los de filtro anaeróbico.
- Sustrato clase 4: Tiene valores altos de DQO, se debe implementar digestores aerobios intensivos para mayor eficacia (Varnero 2011c).

Tabla 1-8: Clasificación de sustratos para la fermentación anaeróbica

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
Sólido	1	Basura doméstica	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
		Estiércol sólido	
		Restos de cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos	3	Heces animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18g/l DQO
		Aguas negras	4-500g/l DQO

Fuente: Esguerra,1989

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie,2023.

La temperatura se encuentra presente en gran parte de los procesos biológicos, la velocidad de reacción depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos, del mismo modo, depende de la temperatura. Cada vez que, aumenta la temperatura, el proceso se acelera, existe mayor proliferación de microorganismos, por ende, mayor producción de biogás. En el diseño de un biodigestor la temperatura es uno de parámetro importante que se debe tener en cuenta, ya que,

si existen variaciones bruscas de temperatura, el proceso se vería afectado (Varnero 2011). Los microorganismos anaeróbicos trabajan a tres rangos de temperatura, como se observa en la tabla 1-9:

Tabla 1-9: Rangos de Temperatura y Tiempo de Fermentación Anaeróbico

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

Fuente: LAGRANGE,1979

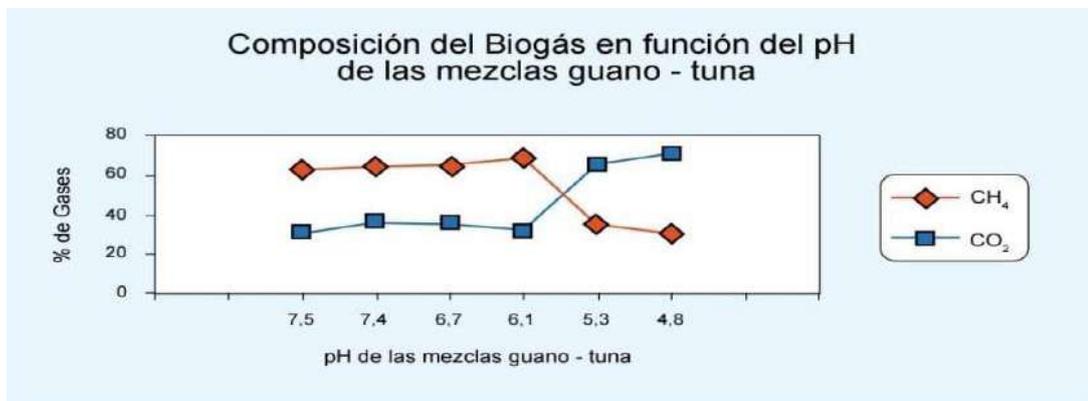
Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie,2023.

El rango usado frecuentemente en los biodigestores es el mesolítico, sin embargo, en la actualidad se está implementando el rango termofílico pues aumenta la velocidad del proceso, eliminando organismos patógenos, no obstante, es inestable cuando cambian sus condiciones de operación y tiene problemas de inhibición por la presencia del nitrógeno amoniacal y ácidos grasos de cadena larga que se generan por las altas temperaturas. Para el correcto funcionamiento de un digestor anaerobio la variación de temperatura no debe exceder los 0.6-1.2 °C/día (Varnero 2011).

1.11.2.2. pH

El pH óptimo en la fermentación anaeróbica tiende a ser neutro, sin embargo, los pH varían según las bacterias, en las acidogénicos ronda entre 5.5 y 6.5, en las metanogénico entre 7.8 y 8.2 y los cultivos mixtos tienen un rango de 6.8 y 7.4 tendiendo a un pH neutro.

Para que el proceso se dé satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni superar a 8, este parámetro determina la composición y producción de biogás como se observa en el siguiente gráfico (Varnero 2011).



Ilustraciones 1-7: Composición del biogás en función del pH de la mezcla de materias primas

Fuente: Varnero,M.2011

El descenso del pH produce que el biogás tenga menor cantidad de metano, por ende, menores cualidades energéticas, reduce la actividad microbiana metanogénica, produciendo la acumulación de ácido acético (CH₃-COOH) y el hidrógeno molecular (H₂). Al aumentar la presión del H₂, las bacterias son inhibidas y no pueden degradar el ácido propiónico, causando la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) de alto peso molecular, lo cual, disminuye la producción de ácido acético, es importante controlar y corregir esta situación, si no se lo hace, el proceso fallara (Varnero 2011c).

1.11.2.3. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Cualquier tipo de materia orgánica que es sometida a una fermentación anaeróbica puede generar biogás, sin embargo, la cantidad y calidad de biogás dependerá de la naturaleza del residuo. El carbono y nitrógeno son fuentes de alimentación para las bacterias metanogénicas, el carbono aporta fuentes de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células, estas bacterias son capaces de consumir 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que, la relación óptima de C/N está en un rango de 30:1 hasta 20:1. Con una relación C/N mayor a 35/1 la descomposición es más lenta, ya que la reproducción microbiana se torna lenta por falta de nitrógeno, el periodo de producción de biogás se alarga, en cambio, con una relación de C/N menor de 8/1 la actividad microbiana es afectada por la presencia del amonio que es tóxico e inhibe el proceso. Si la materia orgánica no tiene una relación C/N óptima es recomendable y necesario mezclar materias con una óptima relación C/N, en la tabla 9-1 se puede observar la relación C/N de algunas materias primas (Varnero 2011c).

Tabla 1-10: Valores promedios aproximados de la relación C/N de algunos residuos disponibles en el medio rural

Materiales	%C	%N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
Pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1

Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosa	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: VARNERO Y ARELLANO, 1991

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

Mediante la siguiente fórmula se puede calcular la relación C/N de las mezclas de las materias primas según la tabla anterior:

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

Donde:

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

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

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

Q: peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

1.11.2.4. *Tiempo de retención de la biomasa*

El tiempo de retención, se define como el tiempo (usualmente en días) que la materia orgánica permanece dentro del biodigestor para su degradación y obtención de biogás y biol.

Las bacterias requieren de un tiempo para la degradación de la materia orgánica, la velocidad de degradación depende de la temperatura, por eso, a mayor temperatura menor tiempo de retención, el tiempo de retención varía según la región como se observa en la siguiente tabla (Varnero 2011c).

Tabla 1-11: Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganada en distintas regiones

Tiempo de retención hidráulico	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas
40-60 días	Regiones calidas con inviernos cortos
60-90 días	Clima templado con inviernos fríos

Fuente: VARNERO, 1991

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

1.11.2.5. Contenido de sólidos totales y sólidos volátiles

Los sólidos totales es la fracción sólida de la materia orgánica, el porcentaje de sólidos totales en las cargas de un digestor es un factor imprescindible para que el proceso se dé adecuadamente. Cuando los sólidos totales aumentan se ve limitado el crecimiento de las bacterias metanogénicas, por ende, la producción de biogás disminuyera (Varnero 2011c).

Según experimentos, los digestores semicontinuos no debe tener más de 8% a 12% de sólidos totales para su adecuado funcionamiento y en digestores discontinuos, el valor debe estar en un 40% a 60% de solidos totales (Varnero 2011c).

Se requiere conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca para poder calcular el volumen de agua que se debe mezclas para una proporción adecuada de sólidos disuelto (Varnero 2011c).

Tabla 1-12: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4-56.2
Porcinos	15.0-49.0
Aves	26.0-92.0
Caprinos	83.0-92.0
Ovejas	32.0-45.0
Conejos	34.7-90.8
Equinos	19.0-42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0-90.0
Paja arroz	88.8-92.6
Leguminosas	60.0-80.0
Tubérculos (hojas)	10.0-20.0
Hortalizas (hojas)	10.0-15.0
Aserrín	74.0-80.0

Fuente: VARNERO Y ARELLANO, 1991

Realizado por: Ramírez, Stefany, 2023.

Los digestores discontinuos o estacionarios, el tiempo de retención es desde la primera carga hasta el tiempo que transcurre hasta la descarga. En digestores con cargas diarias o semicontinuo, el tiempo de retención se ve determinado por el volumen diario de carga para alimentar el digestor,

ya que su relación se puede observar en la siguiente formula:

$$\text{Volumen de carga diaria} \left(\frac{m^3}{\text{dia}} \right) = \frac{\text{Volumen del digestor} (m^3)}{\text{Tiempo de retención} (\text{dias})}$$

1.11.2.6. *Tóxicos e inhibidores de la metalogénesis*

La fermentación anaeróbica puede ser afectada por la presencia de sustancias toxicas, estas sustancias pueden formar parte de la materia orgánica que ingresa al digestor o pueden ser subproducto de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos (Varnero 2011c).

Estas sustancias son el amoniaco, metales pesados, cianuro, compuestos halogenados, fenoles, sulfuro, amoniaco y ácidos grasos de cadena larga, muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios, por otro lado, muchas de estas sustancias en concentraciones bajas pueden estimular el proceso (Varnero 2011c).

1.11.2.7. *Ácidos grasos volátiles*

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), puede inhibir el proceso anaeróbico, en la fermentación anaeróbica la materia orgánica compleja es hidrolizada y fermentada en compuestos de bajo peso molecular, incluyendo ácidos grasos de cadena corta, como el ácido acético, propiónico y butírico. Cuando se rompe la relación simbiótica entre la acidogénesis y metanogénesis, los AGV se acumulan, por ende, la acumulación de estos conlleva a una desestabilización del proceso y disminución en la producción de biogás (Varnero 2011).

1.11.2.8. *Hidrógeno*

La acumulación del hidrogeno en el proceso anaeróbico provoca la inhibición de la acetogénesis, almacenando ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono (Varnero 2011).

1.11.2.9. *Nitrógeno amoniacal*

El amoniaco puede estar presenta en la materia orgánica que ingresa al digestor o generarse durante la degradación anaeróbica de compuesto orgánicos nitrogenados como las proteínas y aminoácidos (Varnero 2011).

En el proceso el nitrógeno orgánico es hidrolizado formando compuestos amoniacales, una

excesiva concentración de nitrógeno amoniacal limita el crecimiento bacteriano. El amoníaco libre inhibe el proceso, ya que, aumenta el pH alcalino, los residuos que contengan mayores proporciones de proteínas u otros compuestos nitrogenados presentaran problemas de inhibición por amonio (Varnero 2011).

Tabla 1-13: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de degradación anaeróbica

Amoniaco –N (mg/L)	Efectos
50-100	Benéficos
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de pH altos
Sobre 3000	Toxico

Fuente: Mc Carty, 1964

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

1.11.2.10. *Sulfatos y Sulfuros*

La elevada concentración de sulfato inhibe la metanogénesis en el proceso anaeróbico, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los sustratos (acetato e hidrogeno), las sulfato-reductoras tienen ventajas termodinámicas y cinéticas, el resultado de esta competencia determinara la proporción de ácido sulfhídrico y metano en el biogás.

El sulfuro inhibe muchos grupos de bacterias, este se genera en la degradación de la materia orgánica que contiene azufre y en el guano del cerdo (Varnero 2011).

1.11.2.11. *Cationes y metales pesados*

Los cationes de metales alcalino y alcalino-térreos tienen un afecto activador de las bacterias a bajas concentraciones, a cierto nivel de concentración son toxicas provocando una disminución en la velocidad de crecimiento microbiológico.

La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, por ende, los metales pesados a bajas concentraciones provocan toxicidad. El orden de la toxicidad de los metales pesados es el siguiente: Ni > Cu >Cr (III) > Pb >Zn (Varnero 2011).

1.11.2.12. *Otros inhibidores*

La fermentación anaeróbica es estrictamente sin oxígeno, por ende, el oxígeno es un tóxico más del proceso a una concentración de 1ug/l. Otros inhibidores del proceso como el pH, determinadas sustancias orgánicas como ácidos grasos de cadena larga, alcoholes en altas concentraciones, desinfectantes y antibióticos (Varnero 2011).

En la tabla 13-1 se presentan valores de inhibidores comunes.

Tabla 1-14: Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄ ⁻	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
NO ₃ ⁻	0.05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN ⁻	25 mg/l
Na	3500-4500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

Fuente: GENE Y OWEN, 1986

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie 2023.

1.11.2.13. Nutrientes (niveles de sales)

En todo proceso bioquímico se requiere de macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza), sin embargo, en los procesos anaeróbicos se tiene baja necesidad de nutrientes, por esta razón, los microorganismos anaeróbicos tienen bajos índices de producción de biomasa. También, se requiere de nutrientes traza para los microorganismos anaeróbicos como el hierro, cobalto, molibdeno, selenio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, tungsteno, boro en mg/L y vitamina B12 en ug/L mejorando la producción de metano (Varnero 2011c).

1.12. Residuos orgánicos

Es la parte de los cultivos que no cumple con los estándares de mínimos de calidad para su comercialización. También puede ser los restos de podas, malezas, excretas de animales, pulpas, restos de café, entre otros (Corpoica 2007).

1.13. Maní forrajero

El maní forrajero (*Arachis Pintoi*) tiene su origen en Sudamérica específicamente en Brasil,

Paraguay, Argentina y Uruguay (Valls y Simpson 1995), es una leguminosa de alto valor nutritivo, buena producción de forraje y cobertura total del suelo, favoreciendo la mayor producción animal y mejorando la conservación del suelo (Rincón 2006).

Tiene la capacidad de alta fijación de nitrógeno, rápida degradación de hojarasca, favoreciendo a la biodiversidad y recuperación del suelo (Godoy et al. 2012).

1.14. Marco legal

En el marco legal del proyecto del biodigestor se toma en cuenta la Constitución Política del Ecuador (año 2008) y el Plan nacional del buen vivir (2017-2021).

La Constitución de la República del Ecuador indica:

Art. 14.- *Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.*

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Asamblea Nacional Constituyente 2011).

Art. 15.- *El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua* (Asamblea Nacional Constituyente 2011).

Art. 71.- *La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema* (Asamblea Nacional Constituyente 2011).

Art. 413.- *El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua* (Asamblea Nacional Constituyente 2011).

Estos tres artículos de la Constitución de la República del Ecuador hacen énfasis al cuidado y

preservación del ambiente, así como la importancia de las energías alternativas.

Otro documento a tomar en consideración es el Plan Nacional del buen vivir (PNBV) del periodo 2017-2021, donde su objetivo 3 es “*garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones*”. Este objetivo tiene ocho políticas que se basan en la conservación y recuperación del patrimonio natural en relación amigable con la economía. Una de las políticas es “*promover buenas prácticas ambientales que aporten a la reducción de la contaminación, a la conservación, a la mitigación y a la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global*” que encajaría con el proyecto del biodigestor ya que minimizaría la contaminación de aire, agua y suelo (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES 2017).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

2.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo se llevó a cabo en el recinto Florida del Toachi, cantón Santo Domingo de los Colorados, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas; en la finca "San José", la finca se encuentra ubicada en el ramal " Los Naranjos “, en el km 7 de la vía al placer, la temperatura promedio en el lugar varia de 16-25 °C.

2.1.2. Macro localización

Tabla 2-1: Ubicación del proyecto.

Localización geográfica	
País	Ecuador
Región	Costa
Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón	Santo Domingo de los Colorados
Recinto	Florida del Toachi

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.



Ilustraciones 2-1: Localización de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

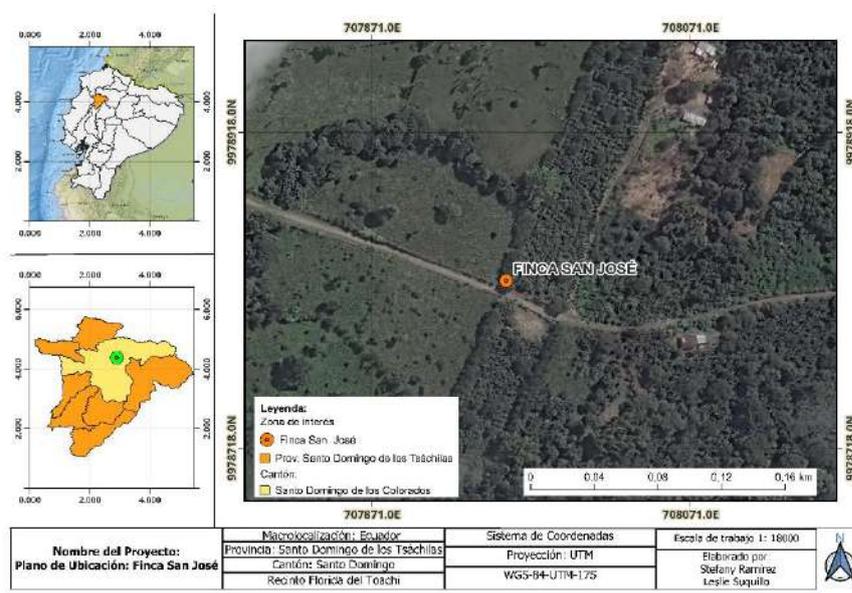
Fuente: Google Maps,2023.

Limites:

- Norte: Provincia de Pichincha
- Sur: Provincia de Los Ríos
- Este:Provincia de Pichincha
- Oeste:Provincia de Manabí

2.1.3. Micro localización

La finca “San José” se encuentra en el recinto Florida del Toachi, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuenta con una extensión de 22 hectáreas. Se encuentra ubicada a 655 msnm y tiene una temperatura promedio de 18 -25°C.



Ilustraciones 2-2: Localización de la Finca “San José”

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.2. Metodología

Para el diseño y la construcción del biodigestor se tomó en cuenta los siguientes puntos:

2.2.1. Levantamiento de la línea base

Para el estudio ambiental básico, la información se obtuvo del sitio de implementación del proyecto.

2.2.1.1. Características del entorno físico

Con la ayuda de la observación in situ se estableció los siguientes aspectos:

a) Suelo para la agricultura.

Se seleccionó dos puntos al azar y observamos el color del suelo y se midió el grosor del Horizonte O, también conocido como horizonte orgánico.

Materiales:

- Regla.
- Cuaderno de apuntes.
- Esfero.

b) Temperatura del lugar.

En la finca " San José" se realizó un muestreo de temperatura en el lugar durante 5 días consecutivos desde el (Anexo I).

Equipo:

- App de tiempo

c) Red Hidrográfica y Vial

La finca no posee cuerpos de agua en un área de 300 metros a la redonda. Para conocer las condiciones de acceso, nos transportamos desde Santo Domingo hasta el reciento Florida del Toachi en el kilómetro 7, entrando por el ramal "Los Naranjos", de ahí se debe caminar 15 minutos hasta llegar a la finca.

2.2.1.2. Características del entorno biótico

El reconocimiento del entorno bióticos se realizó mediante el método de observación in situ, este consistió en realizar un recorrido de campo por el área establecida para la construcción del biodigestor y sus alrededores, en el cual, se identificó las diferentes especies de flora y fauna existentes en la zona (Anexo B, Anexo C).

El tipo de alimentación del ganado bovino es pasto brizantha o marandú, estrella, maní forrajero, melaza y sal.

2.2.2. Muestreo y caracterización del estiércol del ganado vacuno

2.2.2.1. Metodología para el muestreo de estiércol

El levantamiento de la muestra de estiércol se realizó, a través de, un muestreo aleatorio simple, que consiste en la recolección de muestras al azar de estiércol, se las deposita en un recipiente o balde para previamente homogenizarla para obtener muestras compuestas, posteriormente, se pesó dos muestras de 100ml que fueron depositadas en dos frascos estériles de plástico e introducidas en un cooler con hielo para su traslado y preservación.

Las muestras fueron tomadas el día lunes 7 de junio a las 08:00 de la mañana, en la finca "San José", fueron trasladadas a la ciudad de Riobamba, para el análisis físico-químico en el laboratorio de aguas de la universidad EsPOCH (Anexo E).

- a) Materiales para el muestreo
 - Botas de caucho
 - 1 pala para la recolección de las muestras.
 - 2 envases de plástico estériles de 500ml
 - Guantes de latex
 - Balde de plástico de 20 litros
 - Balanza de 150 Kg.

- b) Materiales para el traslado de la muestra
 - 1 cooler
 - Hielo

- c) Equipo
 - Cámara fotográfica.

2.2.3. Caracterización del estiércol

2.2.3.1. Determinación de parámetros in-situ

Determinación de la temperatura

La temperatura del estiércol al momento de tomar la muestra es necesaria, ya que, a partir de esto, se puede conocer si el estiércol entro en proceso de descomposición, cabe menciona, que los microorganismos tienen una relación de crecimiento directamente proporcional, a mayor temperatura mayor proliferación de bacterias.

- a) Materiales
 - Cuaderno de anotaciones
 - Esfero

- b) Equipos
 - Cámara fotografías
 - Termómetro

c) Procedimiento

El equipo que se utilizó fue un termómetro de mercurio con un bulbo redondeado.

En la muestra de estiércol previamente homogenizada, se introduce directamente el termómetro por el extremo del bulbo de mercurio, se espera un lapso de un minuto y se anota la temperatura obtenida.

2.2.3.2. *Determinación exsitu*

Los análisis físico-químicos del estiércol bovino se realizaron en el laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias, ESPOCH en la ciudad de Riobamba. (Anexo F).

Los parámetros, materiales y procedimiento se describen a continuación:

Tabla 2-2: Parámetros analizados pre tratamiento

Parámetro	Materiales	Procedimiento	Unidad
pH y Conductividad eléctrica	PHmetro Balanza digital	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó 15 gramos de muestra en la balanza digital. 2. Se colocó en un vaso de precipitación y se disuelve con 30ml de agua destilada. 3. Se colocó el PHmetro y se anota el pH y la conductividad eléctrica 	-- mS
Materia orgánica (Método de Walkley y Black)	Estufa Balanza digital Erlenmeyer Pipeta volumétrica Probeta Bureta	<ol style="list-style-type: none"> 1. La muestra se lleva a la estufa y la deja a 70°C por 24 horas. 2. Se tritura en un mortero hasta que quede fina 3. Se pesa 0.1 gramos de la muestra y se coloca en un matraz Erlenmeyer. Se procesa un blanco. 	$\%MO = 10 \left(1 - \frac{M}{B} \right) F$ M=ml gastados en la titulación de la muestra problema B= ml gastados en la titulación del blanco.

		<ol style="list-style-type: none"> 4. Se añade 10ml de K₂Cr₂O₇ 1N con una pipeta volumétrica, se agita. 5. Con una probeta de añade 20ml de H₂SO₄ concentrado, se agita cuidadosamente por 1 minuto. 6. Se deja reposar por 30 minutos. 7. Se añade 200 ml de agua destilada, se agita y se deja enfriar. 8. Se agrega 10ml de H₃PO₄ o 0.1 gramo de NaF. 9. Se añade de 5 a 10 gotas de indicador de difenilamina. 10. Se titula con FeSO₄, FAS o sal de Mohr 0.5N fresco, gota por gota hasta un color verde claro (GUAMÁN 2018). 	$F = 1.0N * \frac{12}{4000} * \frac{1,72}{0,77} * \frac{100}{P}$ <p>1.0=normalidad del K₂Cr₂O₇ 12/4000=peso miliequivalente del carbono 1,72=factor de transformación del carbón a materia orgánica 0,77=factor de recuperación de 77% determinado por Walkey P=peso de muestra</p>
Carbono total		Se aplicó la fórmula:	$\%C = \frac{\%MO}{1,72}$ <p>%MO=porcentaje de materia orgánica</p>
Nitrógeno total (Digestión de persulfato)	Balanza digital Matraz Erlenmeyer Pipeta Agitador magnético Termo reactor Espectrofotómetro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó 0.1 gramos de la muestra y se lo diluyó en 100ml de agua destilada 2. Se tomó 0.5ml de la muestra y se la colocó en el tubo LR de hidróxido de nitrógeno total. Junto con el reactivo de persulfato N total 3. Se colocó en el termoreactor a 105°C por 30 minutos. 4. Se dejó enfriar y se colocó el reactivo A de nitrógeno total. Se agitó por 3 minutos. 5. Se colocó el reactivo B de nitrógeno total y se agitó por 2 minutos. 6. Se tomó 2ml y se colocó en el tubo LR/HR de ácido de nitrógeno total. Se dejó reposar 5 minutos 7. Se lo colocó en el espectrofotómetro 	mg/L
Fósforo	Balanza digital Matraz Erlenmeyer Papel filtro Embudo Tubo de ensayo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó 0.1 gramos de la muestra y se diluyó en 100ml de agua destilada. 2. Se procedió a filtrar la mezcla en un Erlenmeyer. 3. Se tomó 10ml del filtrado y se colocó en un tubo de ensayo. 	mg/L

	con tapon Espectrofotómetro	4. Se añadió Phosphate RGT y se lo agitó 2 minutos. 5. Se colocó en el espectrofotómetro.	
Calcio	Balanza digital Matraz Erlenmeyer Papel filtro Embudo	1. Se pesó 0.1 gramos de la muestra y se diluyó en 100ml de agua destilada. 2. Se procedió a filtrar la mezcla en un Erlenmeyer. 3. Se tomó 25ml del filtrado 4. Se le añadió 1ml de C≡N (cianuro) y 1ml de NaOH. 5. Se colocó murexido 6. Se tituló con EDTA 0,02M.	%
Sólidos totales		1. Se pesó la cápsula seca, vacía y limpia. 2. Se pesó la cápsula con la muestra. 3. Se llevó a la estufa a 80°C por 5 horas. 4. Se sacó de la estufa y se colocó en un desecador 5. Se pesó cada media hora hasta peso constante (SABAG et al. 2010).	$ST = \frac{P_{cm} - P_c}{P_m} * 100$ <p>Pcm=peso de la cápsula con muestra seca Pc=peso de la cápsula vacía Pm=peso de la muestra</p>
Humedad		1. Se calculó el porcentaje de sequedad con la fórmula: $\%s = \frac{Ms}{Mb} * 100$ <p>Ms= peso de la muestra seca Mb=peso de la muestra fresca</p>	$\%H = 100 - \%s$ <p>%s=porcentaje de sequedad</p>

Fuente: (Guamán 2018)

Realizado por: Suquillo, Leslie; Ramírez, Stefany ,2023.

2.2.4. Cuantificación de la carga diaria de materia prima

2.2.4.1. Cuantificación de la carga diaria de estiércol

a) Metodología

En la determinación de la carga diaria de estiércol en la finca "San José", se llevó a cabo, en el potrero con un total de 10 vacas, estas son alimentadas a base de pasto brizantha, estrella, maní forrajero, melaza y sal. El muestreo se realizó durante cinco días consecutivos, inicio el 14 de noviembre y finalizo el 18 de noviembre, en horas de la mañana desde las 8 de la mañana hasta las 10 de la mañana, siguiendo los siguientes pasos:

- El estiércol fue recolectado por medio de una pala y un balde, posteriormente fue pesado con una balanza, para evitar la contaminación directa del suelo con el estiércol, se lo traslado a una explanada de tierra, en la cual, se cubrió en capas el estiércol con la tierra con la finalidad de favorecer la degradación y evitar malos olores; este proceso se llevó a cabo durante el tiempo de muestreo.
- El valor obtenido en la recolección de estiércol durante los cinco días facilita el cálculo del promedio diario de estiércol por vacuno.

Este muestreo se lo realizó con el propósito de estimar la cantidad de materia prima que generan 10 vacas por día en la finca "San José", los datos se muestran en la Tabla 1-3 y en la Tabla 2-3.

a) Materiales

- 2 balde de 20 litros.
- 2 pala para recolectar el estiércol.
- Botas de caucho.
- Ropa adecuada
- Balanza de 150 Kg.
- Guantes de látex

b) Equipo.

- Cámara fotográfica

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

Se recolectó los residuos orgánicos procedentes de la cocina (restos de frutas, evitando cítricos, verduras, cáscaras de plátano verde y maduro, papa, cebolla, huevo, entre otros).

El muestreo se realizó durante 5 días seguidos en horas de la tarde y el día siguiente se pesó el total de la recolección diaria con el fin de evitar errores en los datos. (Tabla 3-3)

a) Materiales.

- 2 baldes de 20 litros
- 1 pala para la recolección
- Botas de caucho
- Guantes de látex
- Ropa adecuada
- Balanza de 150 Kg

- b) Equipo
 - Cámara fotográfica

2.2.5. Localización del área de estudio

Se tomó los puntos geográficos en el lugar donde se desarrolló el proyecto, estos datos se los procesa en el software (ArcGIS), obteniendo así los planos de geo localización de la finca San José.

Para la toma de los puntos GPS de referenciación se toma en cuenta lo siguiente:

- Ubicación en el área de estudio
- Se toma 1 punto para la ubicación.
- La precisión del GPS que esté entre 3 a 5 metros de tolerancia.
- Se registra los datos que arroje el GPS.
- Se descargan los datos del GPS y se traslada ARCGIS para realizar la planimetría.

Equipos:

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

2.2.6. Selección del modelo del biodigestor

Es fundamental que el tipo de biodigestor que se va a implementar se adapte a los requerimientos de la finca "San José", por este motivo, se seleccionaron dos biodigestores:

- Biodigestor modelo chino
- Biodigestor Biobolsa

2.2.6.1. Definición de los parámetros considerados en la matriz de preselección del biodigestor.

a) Tipo de materia prima:

Residuo orgánico disponible para el uso en el biodigestor.

b) Vida útil:

Tiempo de funcionamiento útil del biodigestor.

c) Área:

Espacio que se dispone para la ejecución y construcción del biodigestor.

d) Costos:

Este parámetro es importante de considerar, dado que, incluyen costos de construcción, operación y mantenimiento.

e) Construcción:

Materiales que se van a implementar en la construcción y la dificultad de construcción del biodigestor.

f) Operación y mantenimiento:

Hace referencia al funcionamiento y mantenimiento del biodigestor para obtención de biogás.

g) Rendimiento:

Productividad del biodigestor una vez instalado.

2.2.6.2. Porcentaje de los parámetros establecidos para la selección del biodigestor.

Tabla 2-3: Porcentajes establecidos de los parámetros a evaluar para selección de biodigestor

Parámetros	Comentario	Porcentaje
Tipo de materia prima	La materia disponible en la finca " San José" es estiércol de ganado bovino, por ende, los biodigestores que operen con este tipo de estiércol serán la mejor opción.	5
Vida útil	Se estima que el biodigestor tenga una vida útil de 20 años con la finalidad de reducir costos.	10
Área	La finca cuenta con el espacio suficiente para la implementación del biodigestor.	10
Costos	La tecnología debe ser eficaz para la obtención de biogás y biol, para así, economizar costos de operación y mantenimiento.	20
Construcción	La construcción del biodigestor debe ser sencilla.	20
Operación y Mantenimiento	El funcionamiento debe ser sencillo, con la finalidad, de que cualquier persona con poco conocimiento pueda operar y darle mantenimiento al biodigestor.	10
Rendimiento	Justo después de diseñar e instalar el biodigestor este debe ser rentable en la producción de biogás.	25

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie; 2023.

2.2.6.3. Matrices para la selección del modelo del biodigestor.

Tabla 2-4: Matriz de preselección del biodigestor Modelo Chino

Parámetros	%	Modelo Chino	Calificación
Tipo de materia prima	5%	3	0,15
Vida útil	10%	3	0,3
Área	10%	2	0,2
Costos	20%	2	0,4
Construcción	20%	3	0,6

Operación y Mantenimiento	10%	3	0,3
Rendimiento	25%	3	0,75
Total	1		2,7
Calificación: No aplica=0, Malo=1, Regular=2, Bueno=3			

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie; 2022.

El biodigestor modelo chino fue el seleccionado, dado que, obtuvo un mejor puntaje de 2.7, por ende, lo hace ideal para la implementación en la finca "San José". Este biodigestor tiene una larga vida útil, mayor producción de biogás y los costos de construcción, operación y mantenimiento son más rentables.

Cabe mencionar que el propietario de la finca quiere una adaptación de un biodigestor modelo chino, por lo que, se va a implementar un tanque tipo botella de polietileno de alta densidad de la marca Rotoplas, el cual va a servir como cámara de digestión.

Tabla 2-5: Matriz de preselección del biodigestor Sistema de Biobolsa

Parámetros	%	Sistema de Biobolsa	Calificación
Tipo de materia prima	5%	3	0,15
Vida útil	10%	1	0,1
Área	10%	3	0,3
Costos	20%	2	0,4
Construcción	20%	1	0,2
Operación y Mantenimiento	10%	1	0,1
Rendimiento	25%	3	0,75
Total	1		2
Calificación: No aplica=0, Malo=1, Regular=2, Bueno=3			

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie; 2023.

El sistema de Biobolsa presento una calificación menor de 2, también, podría ser considerado para implementarlo en la finca "San José", sin embargo, este biodigestor tiene un tiempo de vida útil menor y al ser fabricado de plástico o geo membrana se dificulta su construcción y corre el riesgo de posibles aberturas.

2.2.7. Dimensionamiento del biodigestor

Para el dimensionamiento del biodigestor se tomó en cuenta que se va a realizar una adaptación por medio de un tanque tipo botella de 1100 L, por lo que, el número de ganado bovino que se posee y la cantidad de estiércol que se genera en el potrero de la finca "San José", debe ser suficiente, esto se lo realiza debido a que el propietario de la finca requiere un biodigestor de

tamaño mediano.

Materiales:

- Computadora con el programa AutoCAD

Procedimiento

El diseño del biodigestor se realizó basándose en la capacidad del tanque de 1100L, en los kilogramos de materia prima disponibles en la finca y el volumen de biogás que se obtendrá del estiércol bovino en relación a los sólidos totales y la cantidad de producción por cada kilogramo de residuo orgánico. Seguidamente se diseñó el biodigestor en AutoCAD.

Los cálculos que se tomaron en cuenta para el dimensionamiento del biodigestor son:

- Determinación de la cantidad de sustrato.
 - Relación C/N de las materias primas.
 - Materia prima disponible (kg /día).
 - Cantidad de estiércol Fresco disponible (kg/día).
 - Cantidad de residuos orgánicos de cocina (kg /día).
 - Cálculo del tiempo de retención.
 - Cálculo del porcentaje de sólidos totales.
 - Carga diaria al biodigestor (materia prima disponible+ agua).
 - Determinación de biogás en m³ /día, en base a la carga diaria.
- a) Adaptación de la cámara de digestión. Ficha técnica del tanque de 1100L marca Rotoplas (Anexo H).
- Volumen del tanque del biodigestor
 - Diámetro interno del biodigestor (\emptyset_{ext})
 - Altura del tanque del biodigestor
- b) Cálculo de la cámara de entrada y salida
- Dimensionamiento de la caja de entrada y salida
- c) Tubería que conducir la carga diaria y salida al biodigestor
- Altura del extremo inferior de la tubería de carga al biodigestor.
 - Altura del extremo interno de la tubería de salida.
 - Longitud del tubo de carga.
 - Longitud del tubo de descarga.

2.2.8. *Elaboración de planos en AutoCAD*

Se diseñó los planos del biodigestor tipo chino en el programa AutoCAD (Anexo Q).

2.2.9. *Evaluación del impacto ambiental*

Después de desarrollar el proyecto, se procede a evaluar los impactos positivos y negativos.

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

A lo largo de esta matriz de identificación de impactos, se utilizó una lista de chequeo o verificación de la matriz de causalidad de Leopold. Esto permitió identificar y calificar tanto las actividades del proyecto como sus impactos positivos y negativos en los elementos ambientales agua, aire, suelo, fauna y flora que existen durante el funcionamiento del biodigestor (Salazar y Arias 2016).

Los impactos ambientales son categorizados de la siguiente manera:

- Compatible: Son aquellos impactos de baja intensidad, pueden ser reversibles en un plazo corto. Para evitarlos se recomienda el control y prevención.
- Moderados: Son aquellos impactos con intensidad media-alta, son reversibles en un plazo medio. Para su manejo son necesarias las medidas de control, prevención y mitigación.
- Crítico: Su intensidad es alta o muy alta, persistentes y reversibles en medio plazo. El control, prevención, mitigación y hasta compensación son las mejores medidas de manejo.
- Severo: Son impactos de una intensidad total, extensión total e irreversible. El control, prevención, mitigación y compensación son las mejores medidas de manejo (SALAZAR y ARIAS 2016).

Los pasos a seguir para realizar una matriz de Leopold son los siguientes:

- 1) Se selecciona las acciones relevantes de todas las fases de proyecto en forma de columnas.
 - 2) Seleccionar los factores ambientales situados en la fila.
 - 3) Se traza una línea diagonal de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha en cada cuadro de la interacción.
 - 4) En cada cuadro se colocan dos valores, en la parte superior la magnitud del impacto y en la parte inferior la importancia de impacto.
- La magnitud es la cantidad del factor alterado y se la valora del 1 al 10 siendo 10 el valor más alto de afectación. Además, se coloca el signo + o – antes del valor de acuerdo al tipo de efecto.

- La importancia es determina el grado de ocurrencia de un efecto en relación con su significado o consecuencias esperadas. Se la valora en la escala del 1 al 10 (Carmona 2016).

2.2.9.2. Actividades durante la construcción y operación del proyecto

Durante la construcción y operación del proyecto se realizaron las siguientes actividades:

Tabla 2-6: Actividades durante la construcción y operación del proyecto

Actividades	Descripción
Modificación	<ul style="list-style-type: none"> – Limpieza de la maleza del lugar – Excavación
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> – Generación de ruido por la construcción – Sobrantes de los materiales utilizados para la construcción.
Operación	<ul style="list-style-type: none"> – Malos olores por la recolección de la materia prima para el sustrato. – Generación de desechos líquidos por la preparación del sustrato para la carga del biodigestor.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023

2.3. Construcción e instalación del biodigestor

Para la construcción del proyecto, primero se diseñó en AutoCAD el biodigestor tipo chino, el cual, se acopla a las condiciones y características de la finca "San José". Ya con el diseño establecido, se planificó los materiales a utilizar, con el fin de reducir el tiempo de mano de obra y ahorrar costos (Anexo K).

La construcción constó de las siguientes etapas:

a) Selección del área para la construcción del biodigestor

El área seleccionada tiene las siguientes características:

- El lugar se ubica en una pendiente que facilita la caída, se encuentra cerca de la casa, con el fin, de facilitar el consumo del biogás generado, ya que este, tiene poca presión para ser transportado a largas distancia. La distancia desde el área de construcción del biodigestor hasta la parte trasera de la casa es de 12 metros.
- El área presenta poca vegetación, considerando que, debe estar despejado; posee un suelo firme lo que disminuye el riesgo de desprendimiento, por el lugar no pasa ningún cuerpo de agua, por ende, se puede realizar hoyos sin ningún problema.



Ilustraciones 2-3: Área donde se construyó el biodigestor.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023..

b) Limpieza y preparación del área para la construcción

La zona donde se va a construir el biodigestor fue previamente despejada, mediante, una limpieza que se llevó a cabo manualmente con palas, machetes y sacos.

El tanque de polietileno de alta densidad que se va a implementar tiene una altura de 1.43 metros y un diámetro de 1.10 metros, a partir de esto, se dejara 2 metros de distancia alrededor del tanque para implementar un invernadero con el fin de controlar la temperatura y otros aspectos ambientales como la lluvia, el viento, entre otros.



Ilustraciones 2-4: Limpieza del área donde se construyó el biodigestor

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

c) Adquisición de los materiales de construcción

Los materiales que se utilizaron para la construcción del biodigestor están detallados a continuación:

Tabla 2-7: Materiales para la construcción del biodigestor

Cantidad	Detalle	Unidad
1	Tanque de polietileno de alta densidad color negro de 1100L	
2	Tubo PVC de 3"	
3	Válvula bola de 3"	
1	Tubo PVC de ½"	
5	Manguera de gas	m
1	Llave de paso de ½"	
1	Silicon	
1	Pegamento de tubo	
30	Bloques de 10	
2	Cemento Rocafuerte	Quintal
2	Abrazadera	
1	Teflon	
2	Reducción de 1 a ½"	
1	Neplo de 30	cm
1	Fibra de hierro	
15	Plástico de invernadero	m
4	Codo de 3"	
2	Unión de 1"	
2	Tee de ½"	
1	Adaptador de bronce de ½" con reducción a 3/8"	
3	Conector para tanque de 3"	
1	Material pétreo (arena fina)	m ³
1	Material pétreo (tamizado)	m ³
2	Mantas térmicas	
3	Cable acerado	m
4	Grapas para cable acerado	
2	Tensores	

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

d) Demarcación en del terreno

El sitio seleccionado, se señaló el diámetro del tanque de polietileno que es 110cm, el mismo que va a ser el biodigestor, y con ayuda de una piola se marcó el espacio necesario para las cajas de entrada y salida tomando en cuenta el espacio de separación del biodigestor y la ubicación de cada una en sentido opuesto a la otra.



Ilustraciones 2-5: Marcación del lugar donde se construyó el biodigestor

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

e) Excavación del hoyo, zanjas de entrada de la mezcla diaria, salida del biol y sedimentos del biodigestor

Se cavo un hoyo con el diámetro de 230cm manteniendo las paredes lo más rectas posible. Los 230cm incluyen el 110cm de diámetro del tanque y los 200cm de espacio alrededor para la construcción del invernadero. La altura del tanque es de 140cm por la que se cavo una profundidad de 160cm, 10cm de base, 170cm de altura.

La zanja en donde se coloca la tubería de la caja de entrada y salida se realizó a la altura de 50 cm y 55 cm desde la base del biodigestor.

Para la tubería de la caja de lodos se realizó una zanja de 30 cm por 2m de longitud, y, tomando en cuenta la topografía del terreno, se le dio un desnivel de 15 cm desde la base del biodigestor.



Ilustraciones 2-6: Excavación del biodigestor, zanjas de entrada y salida

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

2.3.1. Construcción de la caja de alimentación

La caja de alimentación tiene una geometría rectangular, en su construcción se ocupó ladrillos de 10 cm, se enlució interna y externamente para favorecer el mezclado e ingreso de la materia prima, en la mitad de la estructura tiene incrustado un tubo de plástico PVC de 3 pulgadas que conecta con un codo y este a su vez con un conector instalado al tanque, su función es transportar la materia prima dentro del biodigestor. La caja cuenta con una llave esférica que se abre al momento de introducir la materia prima previamente mezclada y se cierra después de cada carga.



Ilustraciones 2-7: Construcción de la caja de alimentación.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2022.

2.3.2. Construcción de la caja de salida de biol

La caja de salida fue construida de manera similar que la caja de alimentación, con ladrillo de 10 cm, fue enlucido tanto externa como internamente para evitar filtraciones del biol. En el centro de la caja de salida va introducido un tubo de plástico PVC de 3 pulgadas conectado a un codo y a un conector para unirse al tanque, por el cual, va a subir el biol por efecto de la fuerza que ejerce la presión, además, tiene una llave esférica que se abre para extraer el producto natural.



Ilustraciones 2-8: Construcción de la caja de salida del biol

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.3.3. Construcción e instalación de la caja de limpieza.

La limpieza del biodigestor se realiza mediante una tubería de PVC de 3 pulgadas que se encuentra unida a la parte superior del tanque mediante un conector de 2 pulgadas y una llave esférica que permite la salida de los lodos. Se realizó un pequeño canal con pendiente para que los lodos se deslicen fácilmente por acción de la gravedad.



Ilustraciones 2-9: Caja de limpieza

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.3.4. Construcción de la válvula de escape de gas.

En el interior del biodigestor se va a generar presión, por ende, es de suma importancia la instalación de una válvula de seguridad que permite la salida del gas evitando accidentes.

En la parte superior izquierda del biodigestor se encuentra introducida una tubería de ½ pulgada que es la encargada de conducir el biogás, unida a una T que se conecta a una cruz por medio de un neplo, en la cruz se encuentra conectado una válvula de alivio encargada de liberar la presión.



Ilustraciones 2-10: Construcción de la válvula de escape de gas.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.3.5. Construcción del filtro para ácido sulfhídrico

Se tomó un nepló de 30 cm de longitud de 1 pulgada y se la llenó con viruta de hierro el cual elimina lo corrosivo del ácido sulfhídrico, a cada extremo del nepló se colocó 2 uniones de 1 pulgada, 2 reducciones de 1 pulgada a ½ pulgada cada una a un lado, tanto para la entrada como para la salida del gas, para asegurar las uniones se añadió teflón y pegamento de tubo.



Ilustraciones 2-11: Construcción del filtro para ácido sulfhídrico

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

2.3.6. Instalación de tubería que conducirá el biogás.

Se instaló un tubo de ½ pulgada de 1.5 m desde la parte superior del biodigestor, a este se le acoplo una Tee de ½ pulgada, en uno de los extremos esta se encuentra unida por medio de un nepló a una cruz de ½ pulgada, en esta se conecta la válvula de alivio y el manómetro en sus cavidades correspondientes.

En el otro extremo de la Tee de ½ pulgada se colocó un nepló y una llave de paso para regular la salida del biogás, seguido se conectó el filtro de ácido sulfhídrico y a este se le unió un tubo de ½ pulgada de 4 m., finalmente, se colocó un acople para conectar los 5 m de manguera de gas asegurándola con una abrazadera.



Ilustraciones 2-12: Construcción e instalación de la tubería de biogás.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie, 2023.

2.3.7. *Mantenimiento del biodigestor*

- Se construyó un invernadero para protección del biodigestor de las lluvias y de variantes de temperatura que afecten el proceso.
- Para evitar que el agua lluvia baje directamente al biodigestor se realizó una zanja a su alrededor.



Ilustraciones 2-13: Invernadero del biodigestor

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.4. Carga de la mezcla homogénea al biodigestor

Para la carga del biodigestor se tomó en cuenta los siguientes puntos:

2.4.1. *Primera fase: Limpieza externa e interna del biodigestor*

En esta fase se realizó la limpieza del tanque retirando escombros de plástico, pegamento, teflón, cemento e impurezas generadas en la construcción e instalación del biodigestor, con el fin, de evitar agentes externos que afecten en el proceso anaeróbico. El tanque se limpió internamente con agua y se realizó el llenado completo para verificar que no existan fugas de agua.



Ilustraciones 2-14: Limpieza del biodigestor.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.4.2. Segunda fase: Recolección y almacenamiento de la materia prima (estiércol).

Previamente al llenado del biodigestor se realizó la recolección de estiércol el 21 de noviembre hasta el 25 de noviembre del 2022 en la mañana (8:00am) en el establo, lugar donde comen y duerme el ganado, logrado recolectar aproximadamente 450 kg de estiércol y residuos orgánicos de la cocina.

La recolección del estiércol se ejecutó de forma manual, por medio de palas y baldes, al ser recolectado en el establo se evita recoger el estiércol con tierra, hierba, entre otros, posteriormente, el estiércol fue colocado en baldes y guardado en la bodega de la finca "San José".



<p>Transporte</p>	
<p>Almacenamiento</p>	

Ilustraciones 2-15: Recolección, transporte y almacenamiento del estiércol.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.4.3. Tercera fase: Recolección de la materia orgánica y maní forrajero

Los residuos orgánicos se los recolectó del 21 de noviembre hasta el 25 de noviembre 2022, al mismo tiempo que se recolectó el estiércol bovino. Los residuos de cocina se los recogió en baldes con tapa, se los cortó en pedazos pequeños para facilitar su descomposición y, después, poderlos almacenar en la bodega junto al estiércol.

La finca "San José" cuenta con cembríos de maní forrajero, por este motivo, se decido utilizar esta materia prima, la recolección fue en la fecha anteriormente mencionada, se cortó con machete y se trasladó por medio de baldes, posteriormente, fue picada en una picadora para favorecer su degradación dentro del biodigestor y almacenado en la bodega.



Ilustraciones 2-16: Recolección de residuos orgánicos y maní forrajero.

Realizado por: Ramírez, Stefany; Suquillo, Leslie ,2023.

2.4.4. Cuarta fase: Carga del biodigestor con materia prima de la finca

Primera carga:

La primera carga del biodigestor fue una carga semi-continua, se realizó el 28 de noviembre del 2022 con 206.5 Kg estiércol, 123.9 Kg materia orgánica y 82.6 Kg maní forrajero recolectados previamente en la finca "San José" y 413 litros de agua, obteniendo un total de 826 litros de mezcla, cumpliendo una relación (1:1).

Para tener una mezcla homogénea y evitar grumos en la misma, se mezcló la materia orgánica y el agua en la caja de entrada del biodigestor cerrando previamente la llave de paso de la misma.

Segunda carga:

La segunda carga fue una carga discontinua, se la realizó el 13 de diciembre del 2022, en esta carga se hizo las cargas hasta el 7 de enero del 2023, en cada carga se llenó el biodigestor con 8.26 Kg de estiércol, 4.96 Kg de materia orgánica y 3.30 Kg de maní forrajero esta materia prima fue recolectada en la finca "San José" y 16.52 litros de agua cumpliendo la relación establecida de (1:1).

2.5. Funcionamiento del biodigestor.

Para comprobar el buen funcionamiento del biodigestor, la obtención de biol y biogás se realizaron las siguientes actividades:

2.5.1. Medición del pH

En la medición del pH se utilizó un medidor de pH digital de la marca apera con un rango de 2-16.

Procedimiento

Se realizó la medición del pH de dos muestras (estiércol y biol).

Inicialmente se recolecto una muestra de estiércol en un recipiente de plástico, se limpió la sonda del instrumento con agua destilada y se introdujo directamente en el estiércol, se esperó el tiempo pertinente hasta que el instrumento se estabilice y dé el aviso, posteriormente, se retira el medidor de pH se lo enjuaga con agua con deja, después, con agua destilada, por último, se seca en papel absorbente.

Cabe mencionar que se realizó el mismo procedimiento con la muestra de biol post tratamiento.

Materiales

- Recipiente de plástico
- Agua destilada
- Agua con detergente
- Hoja de registros

Equipo

- Cámara fotografías
- Medidor de pH digital

2.5.2. Medición de la temperatura.

La temperatura fue medida dentro del biodigestor en un periodo de 40 días desde el 28 de noviembre al 7 de enero del 2023.

Procedimiento

En la parte superior del biodigestor exactamente en la tapa se encuentra introducido un termómetro de aguja de acero inoxidable, tiene un rango de -10 a 110°C.

Se tomó dos temperaturas, en horas de la mañana (8:00am) y en la tarde (2:00pm) y los resultados fueron anotados en un registro.

Materiales

- Registro

Equipo

- Termómetro
- Cámara fotografías

2.5.3. Volumen de biogás

Después de haber realizado la segunda carga del biodigestor se midió el biogás al día 5, 10, 15, 20 y 25 mediante la prueba de la probeta invertida para evaluar su producción.

Procedimiento.

La probeta se llena con agua y se coloca boca abajo en un recipiente que contiene la misma sustancia, se coloca la manguera por donde sale el gas y se mide la cantidad de agua desplazada por una presión de gas en un tiempo determinado, obteniendo así el volumen de gas (Anexo N).

Materiales

- Probeta
- Recipiente
- Agua
- Cronómetro

Equipo

- Cámara fotográfica

2.5.4. Prueba de la flama

Para poder caracterizar el biogás se realizó la prueba de la flama.

Procedimiento.

Primero se abre la llave de paso que conduce el biogás por la manguera en la cual, al final de la misma, se encuentra un acople, después se acerca un encendedor y al momento que se prende se observa el color de la flama.

Materiales

- Fósforo

Equipo.

- Cámara fotográfica

2.5.5. Extracción del biol para análisis de post- tratamiento

El biol se obtuvo por la caja de salida a los 25 días de haber realizado la carga de la mezcla (materias primas + agua).

Procedimiento

De la caja de salida se toma una muestra de biol en dos recipientes estériles de 100ml para posteriormente, realizar los análisis de post- tratamiento en el laboratorio (Anexo M).

Materiales

- Recipientes estériles
- Guantes de latex

Equipo

- Cámara fotográfica

CAPÍTULO III

3. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

En este capítulo se determinan los parámetros básicos para el diseño correcto del biodigestor.

3.1. Determinación de la cantidad de sustrato

Para determinar la cantidad de sustrato que se va a ingresar en el biodigestor con una capacidad de 1100L, se toma en cuenta el 75% de capacidad del sustrato y el 25% sobrante para el almacenamiento del biogás.

Donde:

Vs: Volumen del sustrato

Cre: Capacidad del recipiente (1100L)

$$Vs = Cre * 0,75$$

$$Vs = 1100L * 0,75$$

$$Vs = 825L$$

La cantidad de sustrato que se necesita para llenar el biodigestor es de 825L, tomando en cuenta que la relación de estiércol- agua es de 1:1 (tabla 1-3).

Tabla 3-1: Relación estiércol -agua

Tipo de animal	Estiércol: agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Fuente: FAO,2011

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2023.

Por lo tanto, se obtiene la siguiente proporción:

$$412.5 \text{ L materia prima} + 412.5 \text{ L agua} = 825 \text{ L de sustrato}$$

Empleando la densidad del estiércol bovino que relaciona la masa con el volumen, los 412.5 L de estiércol son transformados a 412.5 Kg de estiércol, por otro lado, al utilizar el valor de la densidad

del agua, los valores de peso de estiércol y agua no se ven influenciados de manera significativa, por lo que, se tiene a continuación:

$$412.5 \text{ Kg materia prima} + 412.5 \text{ Kg agua} = 825 \text{ Kg de sustrato}$$

Para obtener números enteros se redondea los datos al inmediato superior, obteniendo:

$$413 \text{ Kg de materia prima} + 413 \text{ Kg de agua} = 826 \text{ Kg de sustrato}$$

3.1.1. Relación C/N de las materias primas.

Las materias primas que se van a utilizar son estiércol, materia orgánica y maní forrajero, se requiere calcular la relación C/N con la siguiente formula:

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

Donde:

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

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

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

Q: peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

Tabla 3-2: Parámetros del estiércol

Materia prima	Relación C/N	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Estiércol	39.56	50%	206.5

Fuente: Laboratorio de calidad del agua, 2022.

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2023.

Tabla 3-3: Parámetros de la materia orgánica.

Materia prima	Relación C/N	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Materia orgánica	15	30%	123.9

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2023.

Tabla 3-4: Parámetros del maní forrajero.

Materia prima	Relación C/N	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Maní forrajero	28	20%	82.6

Fuente: Vanero y Arellano, 1991.

Cálculo de la relación C/N:

$$K = \frac{(39.56 * 206.5) + (15 * 123.9) + (28 * 82.6)}{(1 * 206.5) + (1 * 123.9) + (1 * 82.6)}$$

$$K = 29.88 \approx 30$$

Al realizar las mezclas adecuadas de las materias primas se obtiene una relación C/N de 30 haciéndolo óptimo para iniciar con la primera carga hasta lograr estabilizar el biodigestor, por lo tanto, de los 413 kilogramos de materias primas se utilizará 206.3 Kg de estiércol, 123.9 Kg de materia orgánica y 82.6 Kg de maní forrajero y se mezclará con 413 litros de agua.

Una vez verificados los cálculos y con el biodigestor ya construido se procede al llenado del biodigestor con las proporciones establecidas anteriormente, los monitoreos se realizan diariamente con la finalidad de controlar y verificar que el proceso de fermentación anaeróbica se dé correctamente.

3.2. Cálculos del diseño del biodigestor

3.2.1. *Determinación de la materia prima disponible (kg/día).*

Para conocer la cantidad de materia prima disponible en la finca "San José" se realizó un muestreo por cinco días.

Tabla 3-5: Datos del muestreo del estiércol bovino

DATOS DE MUESTREO								
DÍA	FECHA	HORA	TEMPERATURA	PESO DEL BALDE (Kg)	PESO DEL CARTÓN (Kg)	PESO DE ESTIÉRCOL (Kg)	PESO NETO	TOTAL
1	Viernes 11/02/2022	8:00 am-10:00am	18°C	0,95	0,25	9,35	8,15	41,55
						10,15	8,95	
						10	8,80	
						9,2	8,00	
						8,85	7,65	
2	Sábado 12/02/2022	8:00 am-10:00am	21°C	0,95	0,25	10	8,8	53,07
						9,65	8,45	
						11,1	9,9	
						10,9	9,7	
						9,55	8,35	
3	Domingo 13/02/2022	8:00 am-10:00am	21°C	0,95	0,25	12,40	11,20	54,30
						11,60	10,40	
						11,10	9,90	
						12,8	11,60	
						12,4	11,20	
4	Lunes 14/02/2022	8:00 am-10:00am	23°C	0,95	0,25	12,15	10,95	51,3
						10,45	9,25	
						12,2	11,00	
						9,85	8,65	
						12,65	11,45	
5	Martes 15/02/2022	8:00 am-10:00am	18°C	0,95	0,25	11,25	10,05	52,75
						11,35	10,15	
						12,85	11,65	
						11,1	9,9	
						12,2	11	
TOTAL SEMANAL								252,97
Promedio (kg de estiércol/10 vacunos/día)								50,59
Promedio (kg de estiércol/vacuno/día)								5,06

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 20223.

Tabla 3-6: Porcentaje de estiércol aprovechable.

Estiércol recogido		Aprovechamiento del 80%		Estiércol obtenido	
Día	Estiércol (kg)	Detalle	Valor (kg)	N° de bovinos	Valor (kg)
1	41,55	Total (10 bovino/5 días)	202,38	10	50,59
2	53,07				
3	54,30				
4	51,3	Promedio (10 bovinos/día)	40,5	1	4,05
5	52,75				

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2023.

En la finca “San José” la producción de estiércol es de 51 Kg/día de un total de 10 ejemplares bovinos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que únicamente se aprovechó el 80% de estiércol, dado que, un 20% se mezcla con orina haciéndolo líquido, dificulta la recolección.

Las heces disponibles son de 40.5 Kg/día. \approx 41 Kg/día.

3.2.1.1. Determinación por medio de la ecuación

$$\frac{\text{KgEF}}{\text{día}} = \# \text{ de Vacunos} * \frac{\text{KgEF/día}}{\text{Vacuno}}$$

Donde:

de vacunos= 10

Kg EF/día= Kilogramo de estiércol fresco por día.

$$10 * \frac{4.05 \text{ KgEF/día}}{1 \text{ Vacuno}} = 40.5 \approx 41 \text{ KgEF/día}$$

3.2.2. Muestreo de la materia orgánica disponible.

Tabla 3-7: Muestreo de los residuos de cocina.

Días	Residuos (Kg)
Día 1	1,40
Día 2	2,10
Día 3	1,50
Día 4	1,50
Día 5	1,70
Total (Kg)	8,20
Promedio (Kg/día)	1,64

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2023.

- Cantidad de residuos de materia prima disponible (Kg/día).

$$MDP = \frac{KgEF}{día} + \frac{KgRSC}{día}$$

Donde:

MPD=Materia prima disponible.

Kg RSC/día= Kilogramo de residuos orgánico de cocina/día.

$$MPD = \frac{41 \text{ KgEF}}{día} + \frac{1,64\text{KgRSC}}{día} = 42.64 \approx 43 \frac{\text{Kg}}{día}$$

Al determinar la materia prima disponible en la finca "San José " se conoce que la producción de estiércol es suficiente para la implementación del tanque de PVC de 1100 L que va a funcionar como cámara de digestión, cabe mencionar, que se va a implementar este volumen de tanque a petición del propietario de la finca, por lo tanto, los cálculos van a ir fomentados de acuerdo al volumen del tanque de PVC.

3.2.3. Cálculo del tiempo de retención.

Para el cálculo del TRH se tomó las temperaturas registradas en el muestreo de cinco días, en horas de la mañana y tarde.

Tabla 3-8: Promedio de temperatura ambiental del muestreo de 5 días.

Días	Temperatura Ambiental °C		Promedio
	Mañana (8h00)	Tarde (14h00)	
1	22	24	23
2	23	28	25,5
3	24	26	25
4	22	27	24,5
5	23	28	25,5
PROMEDIO TOTAL			24,7

Realizado por: Ramírez, S; Suquillo, L 2022.

Empleando la información de la tabla 8-3, se realiza una interpolación para determinar el tiempo de retención hidráulico para la temperatura promedio de la finca "San José" que es de 25°C.

Donde:

TRH= Tiempo de retención

T°C= Temperatura Ambiente (25°C)

$$x_1 = 20; y_1 = 30; x_2 = 30; y_2 = 20; x = 25$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1) * \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = TRH$$

$$y = 30 + (20 - 30) * \frac{25 - 20}{30 - 20}$$

$$TRH = 25$$

3.2.4. Cálculo del porcentaje de sólidos totales.

El porcentaje de sólidos totales se lo estima con la cantidad de estiércol que va a ingresar en el tanque de digestión siendo de 206.5 Kg de estiércol con un valor obtenido de 14% de sólidos totales en el análisis de estiércol fresco (Anexo F).

Considerando la densidad del agua 1000 Kg/m³ y sabiendo que la materia orgánica tiene similar densidad.

Donde:

DTS= Disolución Total del Sustrato

%ST= Porcentaje de Sólidos Totales

CEF= Cantidad de estiércol fresco

CH₂O= Cantidad de agua

$$DTS = \frac{\%ST}{(CEF + CH_2O)} * 100\%$$

$$DTS = \frac{28.91 \text{ Kg}}{(206.5 + 206.5) \text{ Kg}} * 100\%$$

$$DTS = 7\%$$

El resultado obtenido está dentro del rango recomendado de dilución (5-8%).

3.2.5. Cálculo de la carga diaria del biodigestor.

En zonas rurales cuando se realiza la implementación de biodigestores pequeños de carga semi continua, es recomendable basarse en la tabla 1-3.

Al conocer el volumen del tanque que va a servir como cámara de fermentación se implementa la siguiente formula:

$$VCD = \frac{VD}{TRH}$$

Donde:

VCD= Volumen Carga diaria

VD= Volumen del digestor

TRH= Tiempo de retención

$$VCD = \frac{826}{25} = 33 \frac{L}{\text{día}}$$

Los 33 $\frac{Kg}{\text{día}}$ deben estar diluidos con la relación 1:1.

$$\% \text{ de materia orgánica en sustrato} = \frac{1}{2}(100) = 50\%$$

Tomando en cuenta la disolución según bibliografía es de 1:1 (estiércol más agua), se asume que 1 Kg de materia prima = 1L de materia prima, la mezcla diaria es la siguiente:

$$CD = \frac{33 \text{ Kg mezcla}}{\text{día}} (0.5) = \frac{16.5 \text{ Kg mezcla}}{\text{día}}$$

$$CD = \frac{16.5 \text{ Kg mezcla}}{\text{día}} = \frac{16.5 \text{ L mezcla}}{\text{día}}$$

$$CD = \frac{16.5 \text{ L mezcla}}{\text{día}} * \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ L mezcla}} = \frac{0,0165\text{m}^3}{\text{día}}$$

3.2.6. Determinación de biogás en m³/día

La estimación de la cantidad de biogás que se genera a partir de la materia prima disponible en cada carga diaria, se calculó a partir del valor obtenido del análisis de laboratorio realizado en la Espoch, en el laboratorio de Calidad de Agua reportando un valor de 0,14 Kg de sólidos totales por 1 Kg de estiércol fresco (Anexo F).

Según (DOUGLAS 1979) expone en su libro acerca de la producción de biogás a partir de estiércol bovino, usando como dato que la equivalencia de 1 Kg de sólidos totales a metros cúbicos de biogás dependerá de la temperatura del lugar; por ende, la temperatura media de la finca "San José" es de 25 °C, como se muestra en la (tabla 9-3). Cabe mencionar, que el estiércol bovino y los residuos orgánicos de la cocina tienen valores similares en sólidos totales y producción de biogás (tabla 8-3).

Tabla 3-9: Datos básicos de diseño en la generación de biogás a partir de estiércol bovino.

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

Fuente: Larry J. Douglas, This Annual Biomass Energy Systems Conference, Colorado-USA,1979

- **Cálculo de la cantidad de biogás que se podría generar con la materia prima disponible.**

$$\frac{\text{KgMPD}}{\text{día}} * \frac{\text{KgST}}{1\text{KgMPD}} * \frac{\text{m}^3\text{biogás}}{1\text{Kg ST}} = \text{m}^3 \frac{\text{Biogás}}{\text{día}}$$

Donde:

MP= Materia prima (estiércol bovino y residuos orgánicos domésticos)

Kg ST=Kilogramos de sólidos totales

$$\frac{16.5 \text{ KgMP}}{\text{día}} * \frac{0,14\text{KgST}}{1\text{KgMPD}} * \frac{0,2 \text{ m}^3\text{biogás}}{1\text{Kg ST}} = 0.46 \text{ m}^3 \frac{\text{Biogás}}{\text{día}}$$

- **Cálculo de la energía requerida en la finca "San José" en m³ de biogás.**

En la finca "San José" se consume 2 tanques de GLP al mes, cada uno con un peso de 15 Kg.

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

Donde:

Tanq GLP/mes = Tanque de gas licuado de petróleo

Kg GLP= Kilogramos de gas licuado de petróleo

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

3.2.7. Cámara de entrada y salida.

Las cámaras de alimentación y descarga se construirán de forma cuadrada facilitando la mezcla de estiércol bovino y agua. Para su cálculo se utiliza la cantidad de mezcla diaria generada.

$$\mathbf{Lcam = \sqrt[3]{Cd}}$$

Donde:

Cd= Carga diaria

$$Lcam = \sqrt[3]{0,0165 \text{ m}_3} = 0,25 \text{ m}$$

Cada lado de ambas cámaras (alimentación y descarga) fue de 0,25 m, para facilitar la agitación de la dilución diaria y evitar que se rebose al momento de mezclar, tanto, la caja de entrada y salida tendrán las siguientes medidas: longitud 0.70m, ancho 0.40m, y su altura 0,30m; el grosor de la pared es de 0.10m y la base de 0.15m de hormigón.

3.2.8. Tuberías de entrada y salida

Las tuberías de entrada y salida serán de PVC para evitar la corrosión al contacto con el agua de la mezcla que va a ingresar, estas no sufrirán daños por agentes externos o climáticos, ya que, el biodigestor va a estar protegido por un invernadero.

- **Tubería de entrada:** El tubo que se utilizó es de 3 pulgadas de diámetro con el fin de facilitar el ingreso de la mezcla al biodigestor y evitar taponamientos. Tendrá una inclinación de 50° respecto a la horizontal, permitiendo al sustrato fluir por gravedad hacia el biodigestor.
- **Tubería de salida:** Tendrá 3 pulgadas de diámetro, debido a que no se necesita de un diámetro mayor para la descarga del biol.
- **Tubería de descarga:** Se utilizó un tubo de 3 pulgadas de diámetro y 3 metros de largo, instalada una llave de paso que regula el fluido, instalada con el fin de facilitar la limpieza y la salida de los lodos.
- **Tubería de gas:** La tubería para la conducción del biogás será de ½ pulgada de PVC, para evitar pérdida de presión en la conducción del biogás.

3.2.8.1. Tuberías que conducen la carga diaria y salida del biodigestor

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

Para calcular las alturas de las tuberías de entrada se toma en cuenta la cantidad de estiércol bovino útil que va a ingresar en el biodigestor, la tubería de PVC es de 3 pulgadas con la finalidad de evitar taponamientos.

Se consideró el siguiente parámetro:

1. Cantidad de sólidos totales en la cámara de digestión acumulados en el transcurso de limpieza. Tomando en consideración, que la limpieza se la va a realizar cada 6 meses y que toda la materia prima que se va a utilizar es estiércol bovino, con un valor obtenido de 14% de sólidos totales en el análisis de estiércol fresco (Anexo F).

El estiércol que va a ingresar al biodigestor es 206,5 Kg, por lo que, calculamos cuanto estiércol se introduce diariamente en un mes:

$$x = \frac{206.5 \text{ KgEF}}{30 \text{ días}}$$

$$x = 6.88 \text{ KgEF} \approx 7 \text{ KgEF}$$

$$6 \text{ meses} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{6.88 \text{ Kg EF}}{\text{día}} + 124 \text{ Kg materia organica} +$$

$$83 \text{ Kg de mani forrajero} = 1445.4 \text{ KgEF}$$

Introduciendo 1446 Kg de estiércol fresco:

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

$$ST = \frac{1446 \text{ Kg de EF} * 14\%}{100\%}$$

$$ST = 202.44 \text{ Kg de EF} \approx 203 \text{ Kg de EF}$$

Con la relación de la densidad:

1Kg de EF=1 L de EF tenemos:

$$ST = 203 \text{ Kg de EF} * \frac{1L}{1Kg \text{ de EF}} * \frac{1m^3}{1000L} = 0.20 m^3$$

Calculamos la altura de la tubería:

$$VST = \frac{(\pi * D^2)}{4} * Ht$$

Donde:

Ht= Altura de la tubería

VST= Volumen de sólidos totales

$$Ht = \frac{VST * 4}{\pi * D^2}$$

$$Ht = \frac{0.15m^3 * 4}{\pi * (1.10)^2}$$

$$Ht = 0.21 \text{ m}$$

La limpieza del biodigestor se realizará cada 6 meses, por lo que, se tiene una altura de sólidos totales de 0.21 m desde la base del tanque del biodigestor, tomando en cuenta, que una parte de los sólidos totales se van a convertir en biogás y otra parte saldrá por la caja de salida al obtener el biol, al final, el tubo de entrada se colocó a 0.20 m desde la base del tanque del biodigestor.

– **Altura del extremo interno de la tubería de salida**

La tubería por donde se va a extraer el biol (Anexo M) se encuentra con una inclinación de 45 °C con respecto a la horizontal y tiene una altura de 0.40 m desde la base del biodigestor.

– **Longitud del tubo de carga**

$$L_{tc} = \frac{h}{\text{sen } 50^\circ}$$

Donde:

L_{tc}: longitud del tubo de carga

h: altura del biodigestor 75% más la altura de la tubería.

Inclinación: 50°

$$L_{tc} = \frac{(1.07 \text{ m} + 0.20 \text{ m})}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L_{tc} = \frac{1.27 \text{ m}}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L_{tc} = 1.65 \approx 1.7 \text{ m}$$

– **Longitud del tubo de descarga**

$$L_{ts} = \frac{h}{\text{sen } 50^\circ}$$

Donde:

L_{ts}: longitud del tubo de carga

h: altura del biodigestor 75% más la altura de la tubería.

Inclinación: 50°

$$L_{ts} = \frac{(1.07 \text{ m} + 0.40 \text{ m})}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L_{ts} = \frac{1.47 \text{ m}}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L_{ts} = 1.9 \text{ m}$$

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Muestras de estiércol bovino

Los análisis físico-químicos de las muestras del estiércol bovino se las realizaron en el laboratorio de Calidad del agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH (Anexo F).

Tabla 4-1: Resultados del análisis físico-químico del estiércol

ANÁLISIS IN SITU		
Temperatura	25°C	
ANÁLISIS EX SITU		
PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
pH	-	7,88
Materia orgánica	%	68,05
Carbono orgánico	%	39,56
Nitrógeno total	mg/L	10
Sólidos totales	%	13,59
Fósforo	mg/L	0,95
Calcio	%	1,12
Humedad	%	86,53

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, 2022

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023.

4.1.2. Muestra del biol (post-tratamiento)

Los análisis post-tratamiento de las muestras de biol se las realizaron en el laboratorio de Calidad del agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH (Anexo P).

Tabla 4-2: Resultados del análisis físico-químico del biol

ANÁLISIS IN SITU		
Temperatura	26°C	
ANÁLISIS EX SITU		
PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
pH	-	7,35
Materia orgánica	%	1,35
Carbono orgánico	%	30
Nitrógeno total	mg/L	23
Sólidos totales	%	40,23
Fósforo	mg/L	0,9
Calcio	%	1

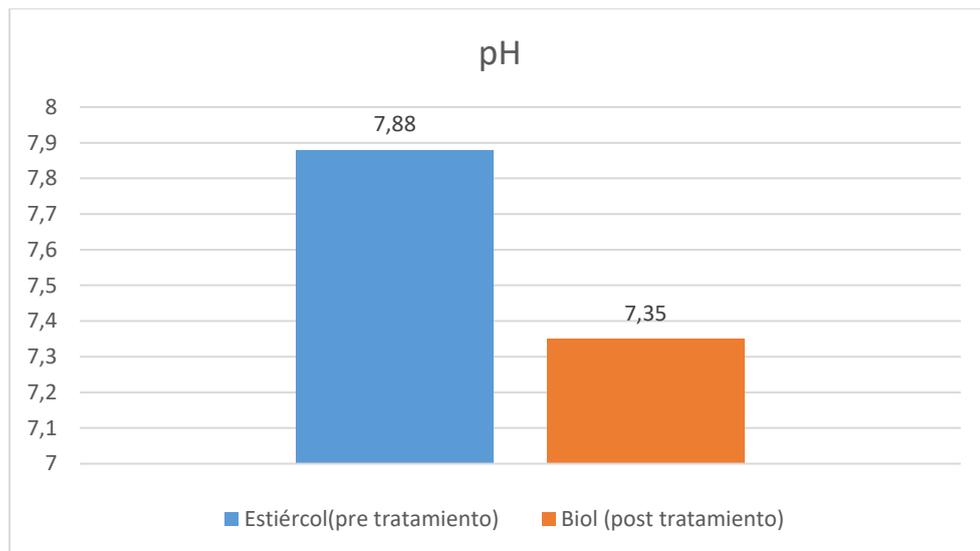
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, 2022

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2022

4.2. Análisis del estiércol y biol

4.2.1. pH

El pH es uno de los factores más importantes del proceso, ya que de esto depende la presencia de microorganismos metanogénicos. El valor óptimo para poder utilizar el biol en los cultivos oscila entre un rango de 6.8 y 7.4 siendo un pH prácticamente neutro (VARNERO 2011a).



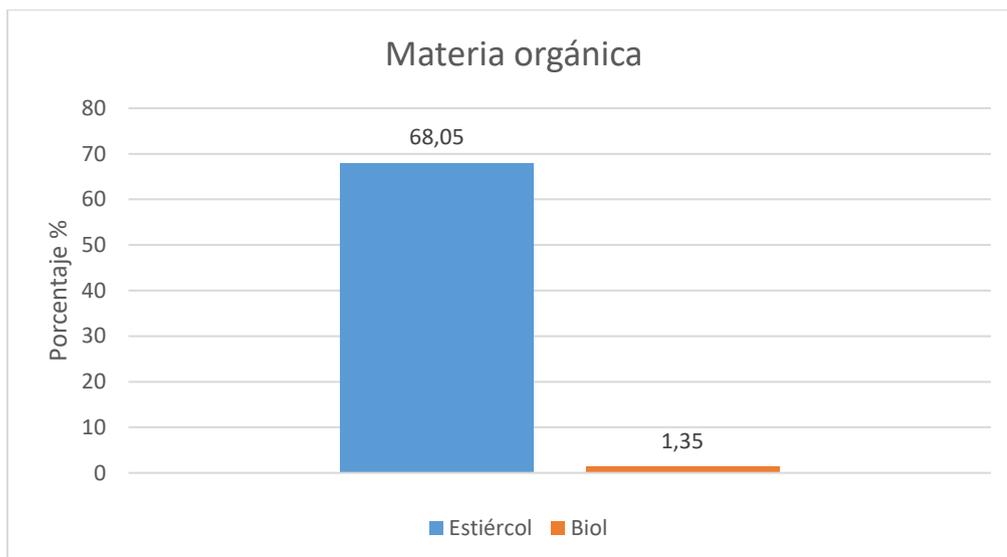
Ilustraciones 4-1: Comparación del pH de estiércol y biol.

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

El resultado del pH del estiércol bovino antes del tratamiento fue de 7,88 después de los 25 días que duró el tiempo de retención su valor fue de 7,35 podemos observar que el pH disminuyó lo que nos indica que el biol es apto para el uso en los cultivos.

4.2.2. Materia orgánica

Un factor importante a considerar para la producción del biogás es la cantidad de materia orgánica, debido a que este será el alimento primordial de las bacterias.



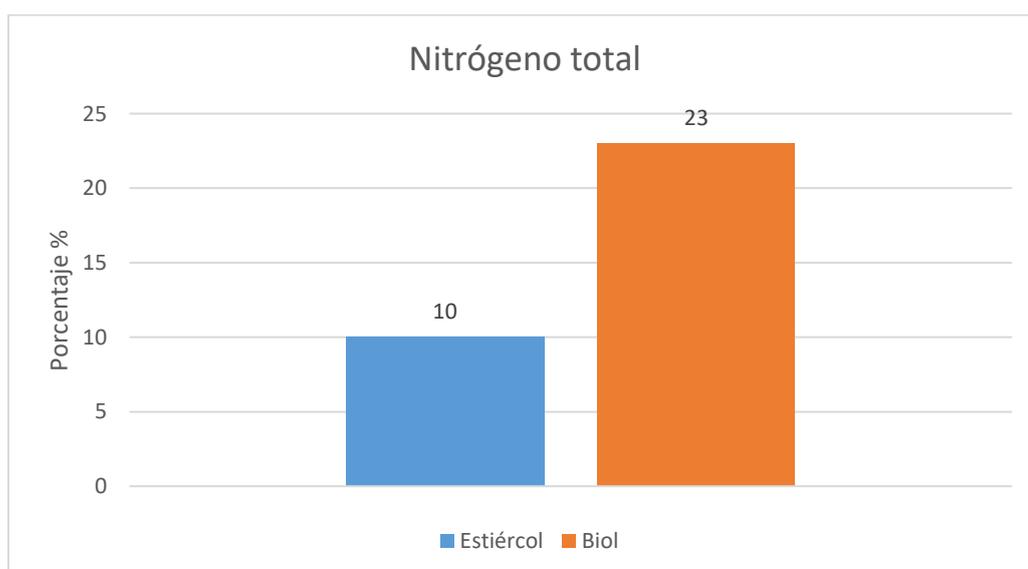
Ilustraciones 4-2: Comparación de materia orgánica de estiércol y biol

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

La materia orgánica en el pre-tratamiento tuvo un resultado de 68,05% y el valor del post-tratamiento es de 1,35% lo que indica que el 98,65% de la materia orgánica fue consumida por las bacterias que forman parte del proceso de la fermentación anaeróbica.

4.2.3. *Nitrógeno total*

Gran parte de nitrógeno contenido en el estiércol se transforman en moléculas simples como el amonio, el cual será aprovechado de mejor manera por las plantas por medio del biol.



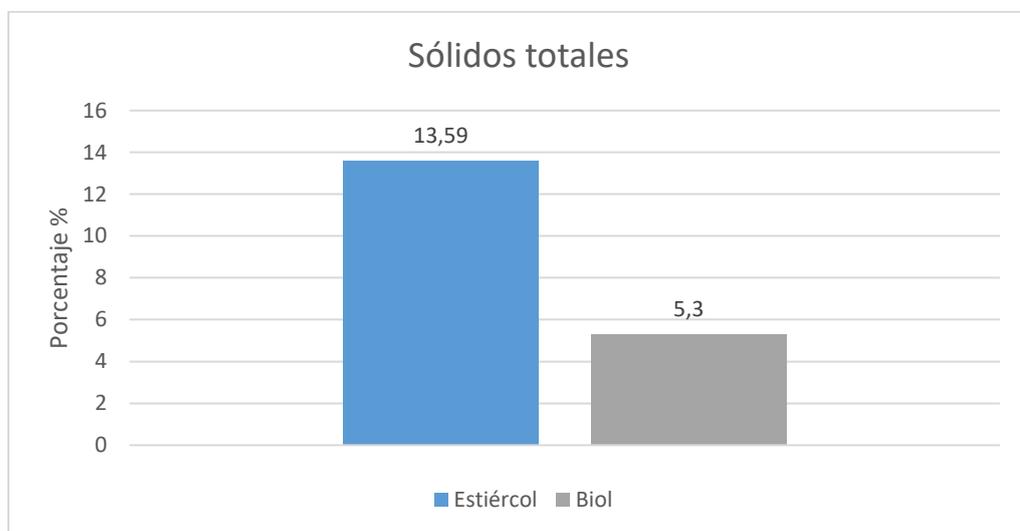
Ilustraciones 4-3: Comparación de nitrógeno total de estiércol y biol

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

El valor del nitrógeno total en la fase de pre-tratamiento tiene un valor de 10 % y en la fase de post- tratamiento el valor es de 23 %, se observa que el nitrógeno total aumenta como resulta de la degradación anaeróbica.

4.2.4. Sólidos totales

Conocer el porcentaje de sólidos totales en la mezcla de alimentación del biodigestor asegura un proceso efectivo, ya que, la movilidad de los microorganismos depende de ello. El porcentaje de sólidos totales en el estiércol bovino varía entre el 13,4% y el 56,2% y de las leguminosas es de 60% al 80% (VARNERO 2011a).



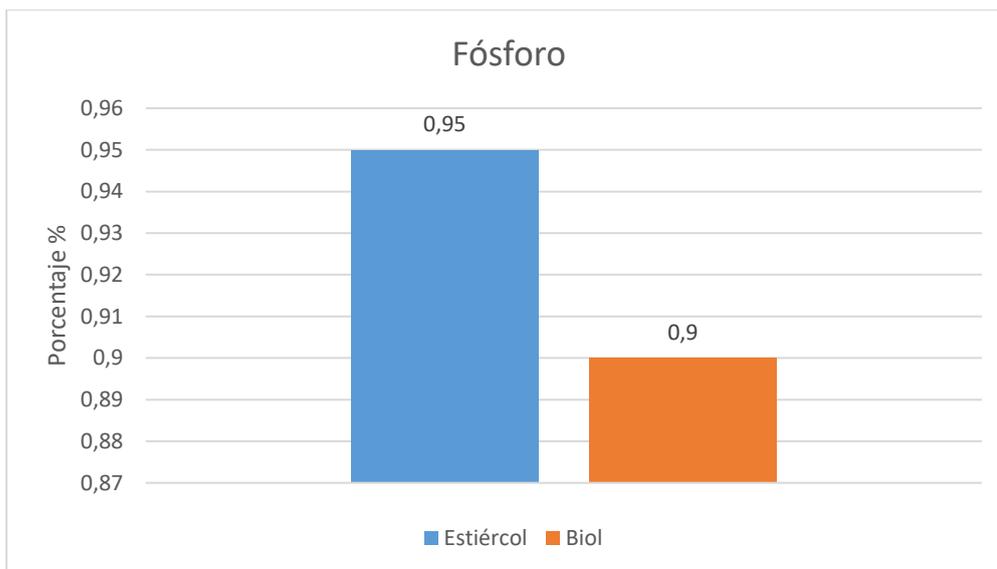
Ilustraciones 4-4: Comparación de sólidos totales de estiércol y biol

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

En la muestra de estiércol, el resultado de los sólidos totales es de 13,59% mientras que en la muestra del biol el resultado fue de 5,3 %, lo cual, es favorable, ya que, en los procesos semicontinuos no debe de superar más de un 8% a 12% (FAO, 2011).

4.2.5. Fósforo

El fósforo es un macronutriente al igual que el nitrógeno, la demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno (VARNERO 2011a).



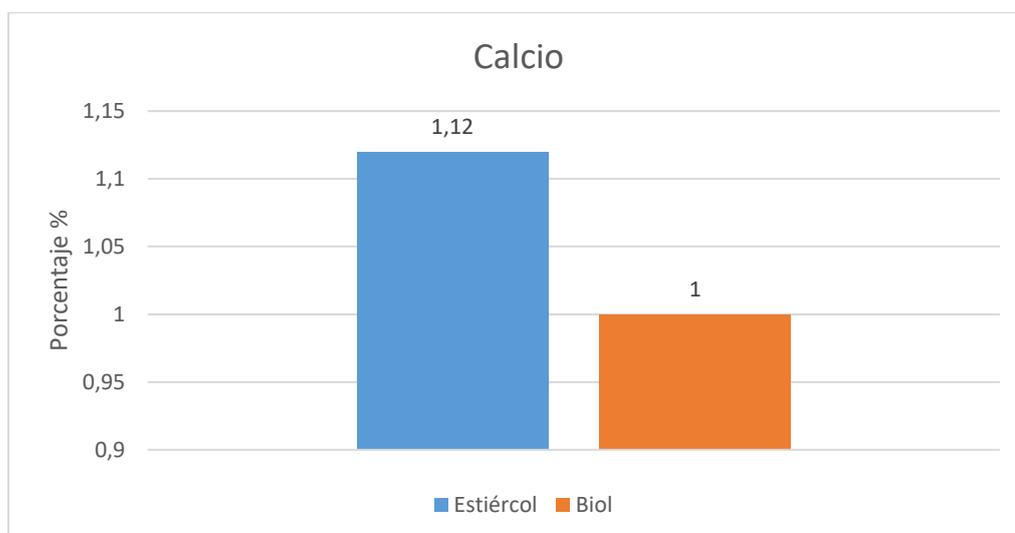
Ilustraciones 4-5: Comparación de fósforo de estiércol y biol

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

El resultado del porcentaje del estiércol en el pre tratamiento es de 0,95 % y luego del post tratamiento es del 0,90%. Según (SORIA et al. 2001) el porcentaje adecuado de fósforo presente en el biol está entre un rango de 1% a 1,5%.

4.2.6. Calcio

El porcentaje de que se obtuvo en el análisis del pre tratamiento es de 1,12% y en el post tratamiento se obtuvo el valor de 1%. Se redujo un porcentaje mínimo por lo que esto no afecto a la composición del biol.



Ilustraciones 4-6: Comparación de fósforo de estiércol y biol

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

4.3. Caracterización del biol

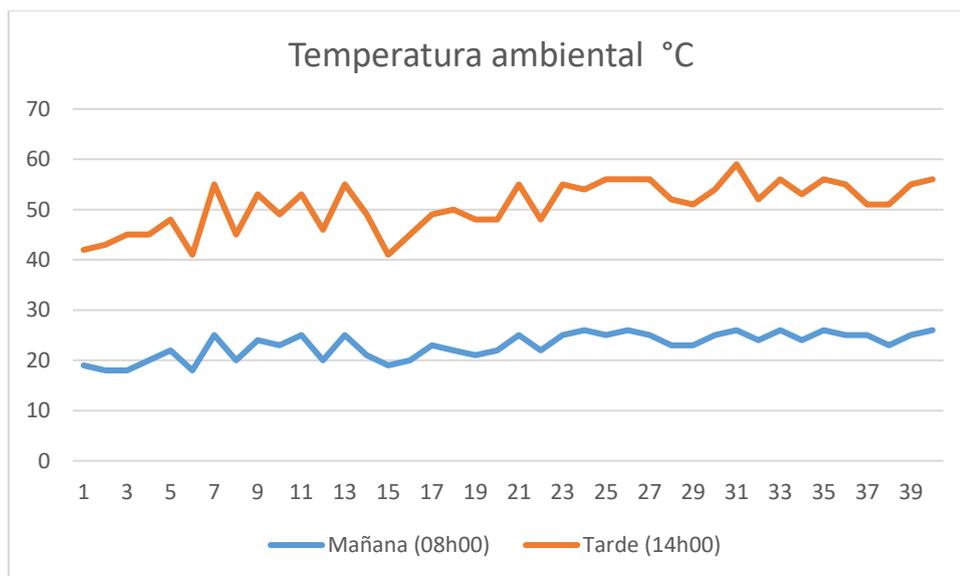
El biol que se obtuvo presenta un ligero olor a fermentación alcohólica y un color ámbar por lo que es de buena calidad y se lo puede utilizar en los cultivos. Después de los análisis físico-químicos del biol los resultados indican que el biol es apto para el cultivo de maíz en grano, ya que, los nutrientes que más necesita son el nitrógeno, potasio y calcio.

Para este tipo de cultivo se recomienda diluir 2 litros de biol en 100 litros de agua. En un terreno arenoso, se realizarán tres aplicaciones durante todo el periodo de siembra: el primero cuando la planta este a los 10cm de altura, la segunda a los 40cm de altura y la última a los 100cm de altura. En un suelo arcilloso se harán dos aplicaciones: la primera a los 20cm de altura y la segunda a los 100cm de altura. Para producir 1 tonelada de maíz se necesita 2100 litros de biol preparado (SISTEMA BIOBOLSA).

4.4. Análisis de temperatura

La temperatura fue tomada en horario de la mañana (08:00am) y en horario de la tarde (14:00pm) durante los 40 días que es de estabilización y tiempo de retención. Al terminar el proceso de producción de biogás el promedio de la temperatura dentro del biodigestor fue de 35,10°C (Anexo J) y la temperatura promedio ambiental es de 25,4 °C (Anexo I).

4.4.1. Temperatura ambiental

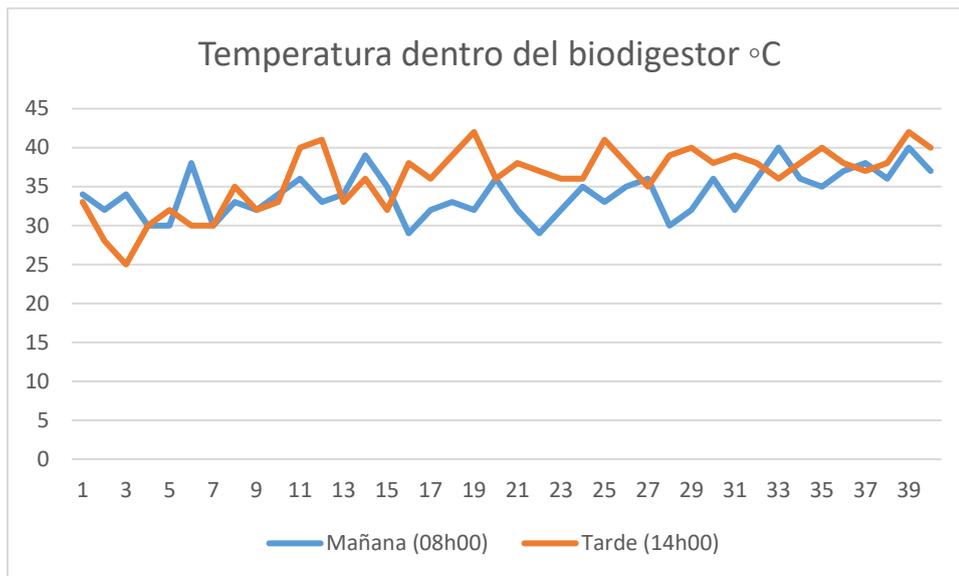


Ilustraciones 4-7: Temperatura dentro del biodigestor °C.

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

Por medio de la gráfica se puede observar que la temperatura tiene variaciones en horas de la mañana con respecto a la tarde, se debe a que, la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, presenta un clima lluvioso subtropical, sin embargo, la temperatura promedio es de 25.4 favoreciendo al proceso de fermentación anaerobia dentro del biodigestor ya que el rango optimo se encuentra que está entre los 25- 35 °C (tabla 8-1).

4.4.2. *Temperatura dentro del biodigestor*



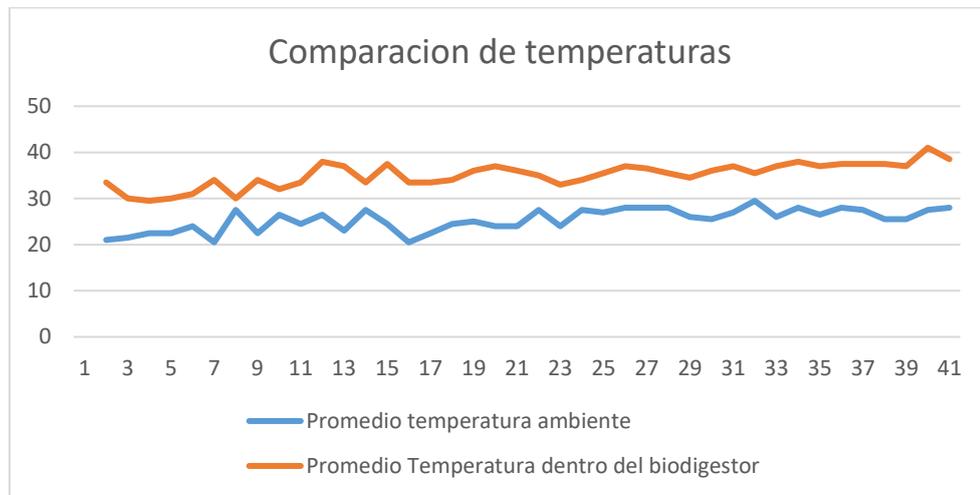
Ilustraciones 4-8: Temperatura dentro del biodigestor °C.

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

Se puede observar que la temperatura dentro del biodigestor va aumentando a partir del día 1 hasta el día 14, esto se debe a que se realizó la primera carga con la finalidad de que el biodigestor se estabilice con las materias primas utilizadas (estiércol, materia orgánica y maní forrajero).

En la gráfica se puede observar que en el día 17 baja la temperatura, esto es ocasionado por la segunda carga que se realizó al biodigestor, resultando una variación de la temperatura, debido a que el proceso debe estabilizarse nuevamente, para así, descomponer las nuevas cargas que se realizaron continuamente manteniendo la temperatura promedio dentro del biodigestor 35.1, que es óptimo para la actividad microbiana.

4.4.3. Comparación entre la temperatura ambiental y la temperatura dentro del biodigestor.



Ilustraciones 4-9: Comparación de temperatura ambiental y temperatura dentro del biodigestor.

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

Mediante la gráfica podemos observar que la temperatura dentro del biodigestor es mayor, dado que, este se encuentra dentro de un invernadero y cubierto por una manta térmica que favorece la temperatura dentro de este, cabe mencionar, que la temperatura ambiental también favorece al proceso de la fermentación anaerobia, ya que ha mayor temperatura mayor degradación de la materia prima.

4.5. Medición del biogás

Los primeros 5 días después del llenado del biodigestor con la primera carga no se obtiene biogás, según (VARNERO 2011a), se debe dejar abierta la llave de paso de 5 a 7 días para eliminar todo el oxígeno posible que se encuentra dentro del biodigestor y se cierra.

Tabla 4-3: Medición del biogás

Tiempo de retención	Volumen de biogás (m ³)
5	0,13
10	0,41
15	0,8
20	1,4
25	2

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

Durante la segunda carga, al día 5, se abre la llave para realizar la prueba de la probeta invertida y medir el volumen obteniendo un valor de $0,13\text{m}^3$. A los 10 días se obtuvo una medición de biogás de $0,41\text{m}^3$. Esto indica que el proceso avanza de manera benéfica. A los 15 días el valor que se obtuvo después de la medición fue de $0,8\text{m}^3$. Finalmente, a los 20 y 25 días se realizó la última medición del biogás obteniendo un valor de $1,4\text{m}^3$ y 2m^3 respectivamente lo que prueba que existe la presencia de biogás en el biodigestor.

Esto demuestra que los 825kg de sustrato conformado por estiércol bovino, maní forrajero, materia orgánica y agua son una opción viable para obtener biogás y, aunque no lo pueda reemplazar totalmente, se puede disminuir el gasto de las familias de las zonas rurales al comprar tanques de GLP.

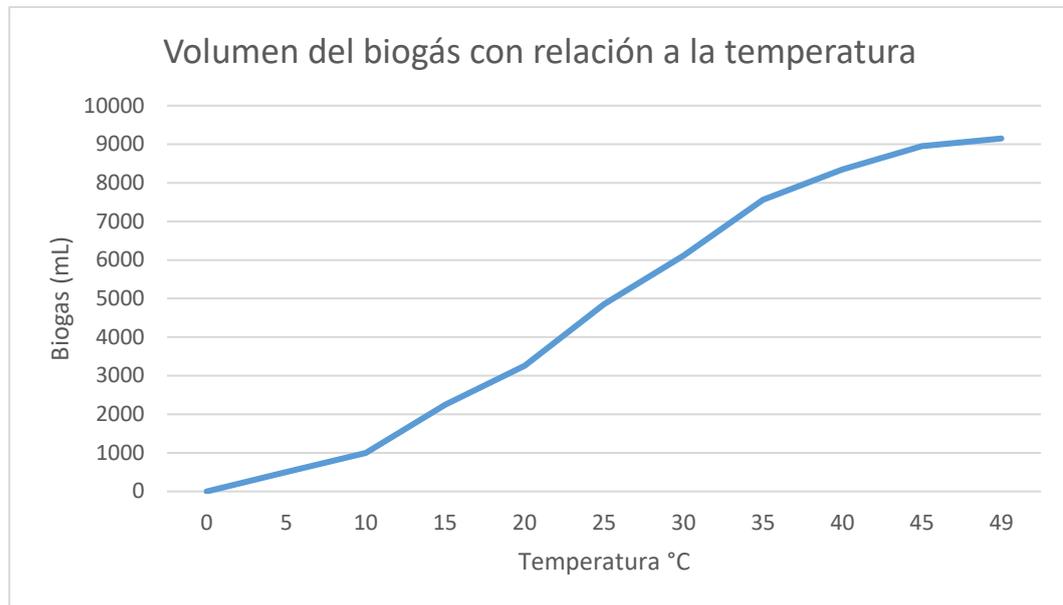
4.6. Prueba de la llama

La prueba de la llama se la realizó en conjunto con la medición del biogás. A los 5 días se observó la presencia de ondas de calor, pero no prendió. A los 15 días se le acercó un fósforo encendido y esta vez sí prendió y el color de la llama era amarilla con un poco de color azul en la base. A los 20 días el color de la llama era de color azul desde la base y un poco de amarillo al final. Finalmente en último día, el día 25, la llama fue de color azul lo que (VARNERO 2011a) indica que hay una buena combustión. (Anexo O).

4.7. Análisis de biogás

La producción de biogás está relacionada con la temperatura del biodigestor, desde el día 0 empezó a generarse biogás hasta el día 5 en donde las temperaturas macaron $22,5^{\circ}\text{C}$ la más baja y $27,5^{\circ}\text{C}$ la más alta, y al interior del biodigestor fue la más alta de 38°C y la más baja $33,5^{\circ}\text{C}$ con un volumen de $0,13\text{m}^3$ y una llama de color amarillo indicando que hay presencia, pero aun no puede ser utilizado. Desde el día 6 hasta el 10, que fue la segunda medición de volumen de biogás, la temperatura ambiente diaria estuvo oscilando entre los $22,5^{\circ}\text{C}$ - 28°C y la temperatura dentro del biodigestor fue de $33,5^{\circ}\text{C}$ - 36°C promoviendo que la producción del biogás sea mayor con un volumen de $0,41\text{m}^3$ y una llama que va mostrando una tonalidad azul. Del día 11 al 15 la temperatura ambiental rodó los $25,5^{\circ}\text{C}$ a $29,5^{\circ}\text{C}$, dentro del biodigestor $34,5^{\circ}\text{C}$ a 38°C y el tercer volumen siguió en aumento a $0,8\text{m}^3$ con una llama más azul que la anterior. Finalmente, el día 21 al 25, que es el día final del tiempo de retención, se obtuvo un volumen de 2m^3 con una llama azul que demuestra que está lista para utilizarse bajo temperaturas de 25°C a 28°C y temperatura interna de $37,5^{\circ}\text{C}$ a 41°C .

Esto demuestra una vez más que la temperatura cumple un rol importante para la generación de biogás, debido a que, a mayor temperatura existe una mayor producción de biogás.



Ilustraciones 4-10: Volumen del biogás con relación a la temperatura

Realizado por: RAMIREZ, Stefany; SUQUILLO, Leslie, 2023.

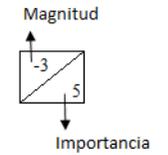
4.8. Análisis del impacto ambiental

Una vez concluidas todas las etapas para el funcionamiento del biodigestor, se realiza la matriz y se interpretan los impactos tanto positivos como negativos.

Tabla 4-4: Matriz de Leopold

MATRIZ DE LEOPOLD EN LA EJECUCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO													
Atributos	MODIFICACIÓN	CONSTRUCCIÓN		OPERACIÓN			ACCIDENTES			EMISIONES			
		Excavación	Ejecución del proyecto	Preparación del sustrato	Uso del agua	Descarga del biol	Limpieza del biodigestor	Conducción del biogas	Derrames y fugas	Emissiones a la atmosfera			
Calidad del aire												-4	3
Destrucción de suelos		-4	-2	-3									
Consumo de agua			-4		-3	-1							
Agua subterránea						-1					-1		
Calidad del agua					-1						-2		
Microflora		-1	-3										
Microfauna			-2								-2		
Salud y Seguridad											-2		
Beneficio económico							5		6				

MAGNITUD	IMPORTANCIA
4	3
9	12
8	6
2	3
3	5
4	9
4	5
2	2
11	13



MAGNITUD	5	11	3	4	5	2	6	7	4
IMPORTANCIA	9	12	5	4	5	2	8	10	3

47
58

Realizado por: RAMIREZ, Sefany; SUQUILLO, Leslie, 2023

4.8.1. Interpretación de los impactos

4.8.1.1. Impactos negativos

Dentro de los impactos negativos del proyecto vemos que el grado de afectación no es de gran magnitud, ya que, su valoración más alta de afectación es de -4, por lo que, se estima es un impacto moderado. Los factores ambientales más afectados son la destrucción de suelos durante la excavación del hoyo para el biodigestor, el consumo de agua para preparar el sustrato que alimenta el biodigestor y la calidad del aire en emisiones a la atmosfera por los olores del estiércol. La microflora tiene un impacto compatible porque no se remueve gran cantidad de vegetación. Las medidas de mitigación que se pueden tomar son:

- Excavar el hoyo del biodigestor únicamente con las medidas determinadas.
- Para el llenado del biodigestor se recolecta el agua lluvia en tachos para evitar el consumo de agua de la llave.
- Trasplantar la mayor cantidad que se pueda de plantas que se retiran del lugar de excavación.

4.8.1.2. Impactos positivos

Los impactos positivos son los beneficios que se obtiene a partir de la construcción del biodigestor. El primer beneficio es el biol el cual se lo puede utilizar en los cultivos de la finca "San José" para mejorar los nutrientes en el suelo y evitar usar en exceso los productos químicos que pueden dañarlo. Otro beneficio es el biogás que ayuda en un porcentaje a la cocción de los alimentos y así, reducir la compra de tanques de GLP mensualmente.

CONCLUSIONES

En la finca "San José" se diseñó y construyó un biodigestor modelo chino, el cual, está conformado de un tanque de polietileno de alta densidad de 1100 L, que es la cámara de fermentación, dos cajas de cemento armado, entrada de la materia prima y salida de biol, con dimensiones longitud 0.70m, ancho 0.40m, altura 0,30m; grosor de la pared es de 0.10m y la base de 0.15m. El tubo de descarga es de PVC de tres pulgadas y tiene una longitud de 3 metros, el biodigestor se encuentra cubierto por un invernadero que evita daños naturales y favorece el proceso de fermentación permitiendo obtener biol de buena calidad para los cultivos.

El promedio de estiércol en la finca "San José" es de 41 Kg/día de estiércol útil, se pesó y caracterizó por medio de un muestreo simple durante una semana, se cuantificaron los resultados de los análisis físico-químico del estiércol teniendo como resultado lo siguiente: PH 7,88; conductividad 2224,0 μ Siems/cm; materia orgánica 68,05%; carbono orgánico 39,6%; nitrógeno total 10 mg/L; sólidos totales 13,59%; fosforo 0,95mg/L; calcio 1,12%; humedad 86,53%; temperatura 25°C, estos valores son favorables para la producción de biogás.

Para que el biodigestor haya proporcionado una fermentación anaerobia correcta, se determinaron diversas variables importantes las cuales fueron: el cierre hermético, los porcentajes de carbono total 39,56% y la materia orgánica 68,05% del estiércol óptimos para las bacterias, la temperatura ambiental de la zona de 25,4 °C y la temperatura interna promedio del biodigestor de 35.1°C, la cantidad de materia disponible de 43 Kg/día, la relación C/N 30:1; los sólidos totales de 14% y el tiempo de retención de 25 días.

Se obtuvo dos subproductos del proceso de fermentación: el biogás que se presenció después 5 días de llenado y funcionando el biodigestor con una llama amarilla y, a los 25 días con una llama de color azul lo que indicó que puede ser utilizada para la cocción de alimentos durante un corto periodo de tiempo, y el biol se obtuvo a los 25 días, sin presencia de olor, una tonalidad ámbar y con un pH de 7,35 lo que indicó su buena calidad para utilizarlo en cultivo maíz por su alto contenido de nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el biodigestor sea construido en un punto que está cerca del establo para que el traslado del estiércol no sea inconveniente y, si es posible, cerca de la casa donde se utilizará el biogás evitando que cualquier animal pase por este lugar.

El agua a utilizar para el llenado del biodigestor debe ser agua no potabilizada ya que, esta, al tener cloro podría afectar el crecimiento de microorganismos, por lo tanto, afectar el proceso de fermentación.

Para asegurarse de que no hay fugas en el biodigestor, antes de ponerlo en funcionamiento, colocar teflón y pega tubo en las uniones y, después de un día, llenarlo con agua para observar si hay fugas.

Construir un invernadero para mantener mejor el calor dentro del biodigestor.

Para evitar que el biodigestor o el invernadero tengan algún daño, se recomienda que los alrededores estén libres de ramas, palos o cualquier material que lo pueda rasgar.

Colocar un cerramiento alrededor del biodigestor para evitar que algún animal, (perros, gallinas, vacas) lo dañen.

Al ser el primer ejemplar en este recinto, sería aconsejable que le dueño de la finca "San José", el señor Wilmar Andrade comparta esta información y los beneficios de tener un biodigestor al ser una alternativa amigable con el ambiente y, sobre todo, el ahorro de dinero.

BIBLIOGRAFÍA

AL SEADI, T., RUTZ, D., PRASSL, H., KOTTNER, M., FINSTERWALDER, T., VOLK, S. & JANSSEN, R., *Biogás* [en línea]. 2008. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>.

ANDINO, W., *Evaluación de tres tipos de bioles en la producción de frejol (Phaseolus vulgaris L. Var. Calima), en verde.* [en línea]. Tesis de Grado (Pregrado) [En línea]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/785/1/13T0707%20.pdf>.

AQUAE FUNDACION, Descubre todos los detalles acerca del biodigestor. [en línea]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/biodigestor/>.

ARELLANO, L., DORADO, A., FORTUNY, M., GABRIEL, D., et. al. *Purificación y Usos del Biogás* [en línea]. (Barcelona-España): s.n. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=K1IoDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=origen+del+biogas&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=origen%20del%20biogas&f=true.

ARRIETA, W., *Diseño de un Biodigestor Doméstico para el Aprovechamiento Energético del Estiércol de Ganado* [en línea]. Perú -Piura: s.n. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, *Constitución de la República del Ecuador* [en línea]. 13 julio 2011. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf.

BARRERA, E., ODALES, L., CARABEO, A., ALBA, Y. & HERMIDA, F., Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología Química*, vol. 40, no. 2, ISSN 2224-6185.

BAVERA, G. & PEÑAFORT, C., Lectura de la bosta del bovino y su relación con la alimentación. . 2006.

BONIFAZ, C. & MORALES, H., *Diseño de un Biodigestor Tipo Cúpula Fija para Generación de Biogás a Partir de Desechos Orgánicos* [en línea]. Quito-Ecuador: Universidad Politécnica

Selesiana del Ecuador. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2880/1/UPS-KT00042.pdf>.

CAIRO, P. & ALVARES, U., Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Pastos y Forrajes* [en línea], vol. 40, no. 1, ISSN 2078-8452. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000100005#:~:text=El%20esti%C3%A9rcol%20es%20un%20recurso,et%20al.%2C%202014%20.

CALDERON, A. & PIRATOVA, D., *Propuesta para Reactivar y Mejorar el Sistema Biodigestor del Parque «Mundo Aventura»* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). (Colombia-Bogotá): Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Disponible en:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15474/1/PROPUESTA%20PARA%20REACTIVAR%20Y%20MEJORAR%20EL%20SISTEMA%20BIODIGESTOR%20DEL%20PARQUE%20E2%80%9CMUNDO%20AVENTURA%201.pdf>.

CAMPOS, B., Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], vol. 20, no. 2, ISSN 2071-0054. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000200007#:~:text=Elementos%20que%20componen%20un%20biodigestor&text=En%20la%20c%C3%A1mara%20de%20fermentaci%C3%B3n,volumen%20de%20material%20a%20degradar.

CARMONA, R., *Bloque ii: metodología general para la realización de estudios de impacto tema 8: la caracterización y valoración de impactos* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en:
https://docplayer.es/13212615-Bloque-ii-metodologia-general-para-la-realizacion-de-estudios-de-impacto-tema-8-la-caracterizacion-y-valoracion-de-impactos.html?fbclid=IwAR1li-4xNwd5yU_kddSnG-8bJbwDBwHFvHFfPOfCtBpcqi6LU7gys1-QDt8.

CASCON, J., *El Estiercol*. . Capacitación. España: Ministerio de Agricultura. 1948.

CASTRO, M., Biodigestor: para qué sirve, tipos, ventajas, desventajas. *lifeder* [en línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/biodigestor/>.

CHILLO, J. & PAGUAY, S., *Implementación de un biodigestor continuo para producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca “La Poderosa”* [en línea]. Trabajo de Titulación, (Pregrado), [En línea]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4773/1/236T0140.pdf>.

CORPOICA, Producción de abonos orgánicos de buena calidad. . Técnico. Colombia: 2007.

CUETO, J., QUIROGA, H. & FIGUEROA, U., Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperación de n y conductividad eléctrica. *Terra Latinoamericana* [en línea], vol. 29, no. 2, ISSN 2395-8030. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000200201.

DOUGLAS, L., *Third Annual Biomasa Energy Conference*. Estados Unidos-Colorado: s.n.

ECOINVENTOS, Clasificación de Biodigestores. *EcoInventos* [en línea]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/clasificacion-de-biodigestores/#:~:text=Biodigestores%20Semi%2Dcontinuos,-Estos%20biodigestores%20son&text=Generalmente%20producen%20biog%C3%A1s%20casi%20permanentemente,para%20las%20comunidades%20de%20bacterias>.

FAO, 2019a. Guía Teórico -Práctico sobre el Biogás y los Biodigestores. [en línea]. Buenos Aires,Argentina: 12. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=CV2mDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=componentes+de+un+biodigestor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj8xL-ansz2AhUMkokEHfvAAX8Q6AF6BAGDEAI#v=onepage&q=componentes%20de%20un%20biodigestor&f=true>.

FAO, 2019b. Guía Teórico-Práctico sobre el Biogás y los Biodigestores. [en línea]. Buenos Aires,Argentina: 12. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=CV2mDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=componentes+de+un+biodigestor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj8xL-ansz2AhUMkokEHfvAAX8Q6AF6BAGDEAI#v=onepage&q=componentes%20de%20un%20biodigestor&f=true>.

FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA S.A.S., POZOS SEPTICOS: DEFINICION, ESTRUCTURA Y TIPOS. *Fibras y Normas de Colombia S.A.S.* [en línea]. Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/pozos-septicos-estructura-y-tipos/>.

GARCÍA, V., *Manual de biogas* [en línea]. Buenos Aires, Argentina: s.n. Disponible en:

<https://docplayer.es/115546771-Manual-de-biogas-conceptos-basicos-beneficios-de-su-produccion-y-la-aplicacion-de-sus-sub-productos.html>.

GODOY, V., BARRERA, A., ROQUE, V., QUINTANA, J., et. al. Evaluación Fenológica y Digestibilidad In Vivo de la Leguminosa Forrajera (*Arachis pintoi*) en Diferentes Edades de Corte. [en línea], Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/124/138>.

GONZABAY, A. & SUÁREZ, P., *Diseño y Construcción de un Biodigestor Anaeróbico Vertical Semicontinuo para la Obtención de Gas Metano y Biol a Partir de las Cáscaras de Naranja y Mango.* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). (Guayaquil,Ecuador): Universidad Politécnica Selesiana del Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13392/1/UPS-GT001762.pdf>.

GRUPO SACSA, Uso de estiércol como fertilizante. [en línea]. Disponible en: <https://www.gruposacsa.com.mx/las-ventajas-del-uso-de-estiercol-como-fertilizante/>.

GUAMÁN, C., *Validación del método para determinar materia orgánica en el suelo por la técnica de Walkley And Black*” [en línea]. Proyecto de Grado. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31352/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>.

GUEVARA, A., *Fundamentos Básicos para el diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales, Producción de gas y Saneamiento de efluentes* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). Perú: s.n. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>.

HILBERT, J., Manual para la Producción de Biogás. [en línea]. S.l.: Instituto de Ingeniería Rural. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf.

IGLESIAS, L., 1995a. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. [en línea], vol. 1, no. 1, Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf.

IGLESIAS, L., 1995b. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. [en línea], vol. 1, no. 1, Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf.

INCA, J., 2016a. *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogas a partir de las excretas*

de las gallinas provenientes de la granja avícola “bilbao” en la Parroquia Cotaló – Pelileo. Proyecto de Grado. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas.

INCA, J., 2016b. *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogas a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola “bilbao” en la Parroquia Cotaló – Pelileo* [en línea]. Proyecto de Grado. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6212/1/236T0232.PDF>.

INCA, J., 2016c. *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogas a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola “bilbao” en la Parroquia Cotaló – Pelileo* [en línea]. Proyecto de Grado. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6212/1/236T0232.PDF>.

LA CAL, J., *Energía de la biomasa y el agua.* España: Elearning S.L. ISBN 978-84-18439-02-5.

LEÓN, C., RODRÍGUEZ, C., MENDOZA, G., BARDALES, C., CABOS, J. & BARRENA, M., Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. [en línea], vol. 26, ISSN 2413-3299. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300011&script=sci_arttext.

LÓPEZ, A. & PAGES, S., Sistematización y Cuantificación de Biodigestores, Áreas e Impactos: Socio, Económico y Ambiental. . Costa Rica- San José:

MAMANI, P., CHAVEZ, E. & ORTUÑO, N., El Biol. [en línea]. Técnico. Cochabamba, Bolivia: Disponible en: <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Bioinsumos/Biol/pdf59.pdf>.

MARTÍ, J., *Biodigestores Familiares: Guía de Diseño y Manual de Instalación* [en línea]. (La Paz-Bolivia): s.n. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=TsbrdcmKGKoc&pg=PA26&dq=Hidr%C3%B3lisis+quimica+es+en+biodigestores&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjW4KuNvtfyAhXsRzABHdFEDYMQ6AEwAHoECAsQAg#v=onepage&q=Hidr%C3%B3lisis%20que%20es%20en%20biodigestores&f=false>.

MENDOZA DAVALOS, K., *Preparacion, Uso y Manejo de Abonos Orgánicos* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: www.inia.gob.pe.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Biodigestores: los residuos como generadores de energía. [en línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/accion/biodigestores#:~:text=Un%20biodigestor%20permite%3A,un%20sitio%20de%20disposici%C3%B3n%20final>.

MIRANDA, R., biodigestores continuos y discontinuos. *Slideshare* [en línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/fernandomiranda123829/biodigestores-continuos-y-discontinuos>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, Práctico sobre el Biogás y los Biodigestores. [en línea]. Guía Técnico. (Buenos Aires-Argentina): Disponible en: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf.

PESADO, F., CHÁVEZ, L., ESPINOZA, V. & GARCÍA, L., Manejo del estiércol. *BMeditores* [en línea]. Disponible en: <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/manejo-del-estiercol/>.

PORTAL VETERINARIA, ¿Qué sistema de tratamiento del estiércol de vaca es mas eficaz para eliminar las bacterias resistentes que contiene? [en línea]. Disponible en: <https://www.portalveterinaria.com/actualidad-veterinaria/actualidad/12684/que-sistema-de-tratamiento-del-estiercol-de-vaca-es-mas-eficaz-para-eliminar-las-bacterias-resistentes-que-contiene.html#:~:text=Aunque%20la%20mayor%20parte%20de,de%20sobrevivir%20a%20altas%20temperaturas>.

POZO, G., *Caracterización del biol producido en biodigestores de tipo tradicional y de cúpula fija* [en línea]. Tesis de Grado (Pregrado) [En línea]. Santa Clara, Pastaza: Universidad Estatal Amazónica. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/632/1/T.AGROP.B.UEA.1152>.

QUINTERO, J., GÁMEZ, C. & LOZANO, S., *Produciendo Biogás y Abono en mi Finca* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4943/produciendo_biogas_abono_finca_peq.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RIATIGA, E., *Aprovechamiento Energético de los Residuos Sólidos y Radiación Solar en el*

Colegio Técnico Vicente Azuero [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). (Bucaramanga-Colombia): Universidad de Santander. Disponible en: <https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/2886/1/Aprovechamiento%20energ%C3%A9tico%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20y%20radiaci%C3%B3n%20solar%20en%20el%20colegio%20T%C3%A9cnico%20Vicente%20Azuero.pdf>.

RIBERA, B., *Guía para la preparación y uso del biol* [en línea]. Primera. Bolivia: s.n. vol. 1. Disponible en: <http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bo40.1/documentos/676.pdf>.

RINCÓN, Á., *Factores de Degradación y Tecnología de Recuperación de Praderas en los Llanos Orientales de Colombia* [en línea]. Colombia: s.n. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=HsGPPwb9p8UC&pg=PA56&dq=mani+forrajero+que+es&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiwiNmU8az9AhXOTTABHRIkDJwQ6AF6BAGEEAI#v=onepage&q=mani%20forrajero%20que%20es&f=false>.

RITTENHOUSE, T., Hoja de Datos: Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica. *ATTRA* [en línea]. Disponible en: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Esti%C3%A9rcol%20en%20Sistemas%20de%20Produccion%20Organica.pdf>.

ROMÁN, L., *Diseño de un Biodigestor para la Generación de Biogás a Partir de Desechos Orgánicos de Ganado Bovino y Porcino en la comunidad 25 de Diciembre Parroquia Tres de Noviembre, Cantón Joya de los Sachas, Provincia de Orellana.* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). (Nueva Loja, Ecuador): Universidad Nacional de Loja. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17871/1/TESIS.pdf>.

RUIZ, B., *Diseño de un Biodigestor para la generación de energía a partir del Estiércol de Ganado Vacuno para una Vivienda Rural en el CC.PP. Las Caderas del Distrito de Pátapo-Chiclayo-Lambayeque.* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Pregrado). (Chiclayo-Perú): Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2498/1/TL_RuizPintoBill.pdf.

SABAG, V., PINTO, J., ZABALAGA, S. & CAMACHO, M., Formulación de un fitomedicamento con actividad gastroprotectora a partir de extractos de llantén (*Plantago major*). *BIOFARBO* [en línea], vol. 18, no. 2, Disponible en:

http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rfbf/v18n2/a05_v18n2.pdf.

SALAZAR, J. & ARIAS, J., *Diseño y construcción de un biodigestor para producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca Isabel de la parroquia Taracoa, provincia de Orellana* [en línea]. (Proyecto de Titulación) (Pregrado). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6175/1/236T0220.pdf>.

SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO, SENPLADES, *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021* [en línea]. 13 julio 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>.

SISTEMA BIOBOLSA, *Manual del BIOL* [en línea]. México: s.n. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf.

SORIA, M. de J., FERRERA, R., ETCHEVERS, J., ALCÁNTAR, G., TRINIDAD, J., BORGES, L. & PEREYDA, G., Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana* [en línea], vol. 19, no. 4, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>.

TORTOSA, G., Materiales para compostar: estiércol de vaca. *Compostando Ciencia* [en línea]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2019/08/materiales-para-compostar-estiercol-de-vaca/>.

VALLS & SIMPSON, *Taxonomía, Distribución Natural y Atributos de Arachis*. Colombia-Cali: s.n.

VARNERO, M., 2011a. *Manual de Biogás*. Santiago de Chile, Chile: s.n. ISBN 978-95-306892-0.

VARNERO, M., 2011b. *Manual de Biogás* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.

VARNERO, M., 2011c. *Manual de Biogás* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.

ZEA, J., BERNAL, J. & CARVAJAL, D., *Biodigestores de escala a 50 litros, una solución para la producción de gas, abono y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.* [en línea]. Proyecto de Grado, (Tecnología), [En línea]. Soacha: Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Ingeniería. Disponible en: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/3969/TTL_ZeaBeltranJakiAlexander_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ZEGERS, G., CÁRCAMO, J., ÁGUILA, K. & LEOD, C., 2021. Elaboración y usos del BIOL un abono natural en la agricultura sostenible. *PortalFrutícola.com* [en línea]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/09/29/elaboracion-y-usos-del-biol-un-abono-natural-en-la-agricultura-sostenible/>.



ANEXOS

ANEXO A: AVAL DE LA INVESTIGACIÓN

Santo Domingo de los Tsáchilas, 28 de julio 2021

Doctor

Fausto Yaulema Garcés

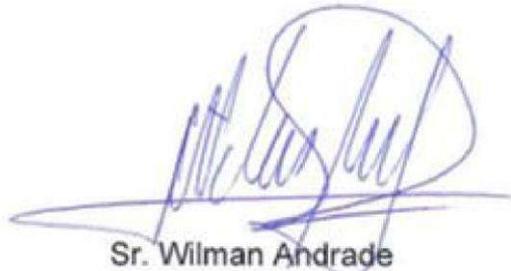
Director de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental

Presente

De mi consideración:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para poner en su conocimiento que el tema de investigación “Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca “San José”, recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas” presentado por las estudiantes Stefany Ramírez y Leslie Suquillo cuenta con el aval, ingreso y autorización de la construcción del biodigestor.

Atentamente,



Sr. Wilman Andrade

PROPIETARIO DE LA FINCA “SAN JOSÉ”

ANEXO B: RECONOCIMIENTO DE LA FLORA DE LA FINCA "SAN JOSÉ".

Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	Guanábana (<i>Annona muricata</i>)
		
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	Naranjilla (<i>Solanum quitoense</i>)	Limón (<i>Citrus limon</i>)
		
Mate (<i>Crescentia cujete</i>)	Calabaza (<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne)	Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)
		
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	Palo de brasil (<i>Dracaena fragrans</i>)	Flor del borrachero (<i>Brugmansia candida</i>)
		

ANEXO C: RECONOCIMIENTO DE LA FAUNA DE LA FINCA "SAN JOSÉ".

Gallinas (<i>Gallus gallus</i>)	Perros (<i>Canis lupus familiaris</i>)	Colibrí (<i>Trochilidae</i>)
		
Hormigas	Moscas negras	Mosquitos
		

ANEXO D: TEMPERATURA REGISTRADA DURANTE EL MUESTREO EN LA FINCA "SAN JOSÉ".

NOIA DE REGISTRO DE LA TEMPERATURA EN LA FINCA "SAN JOSÉ" DURANTE EL MUESTREO							
DÍA	FECHA	TEMPERATURA EN °C		TEMPERATURA PROMEDIO	CONDICIONES CLIMATICAS		
		M	T		S	N	LL
1	11/02/2022	22	24	23		NIT	
2	12/02/2022	23	28	25,5	NIT		
3	13/02/2022	24	26	25	NIT		
4	14/02/2022	22	27	24,5	T	M	
5	15/02/2022	23	28	25,5	NIT		
				PROMEDIO TOTAL	24,7		
M: MAÑANA				T: TARDE			
S: SOLEADO		N: NUBLADO		LL: LLUVIOSO			

ANEXO E: TOMA DE LA MUESTRA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO.

Homogenización del estiércol

Toma de la muestra de estiércol

Muestras para el análisis físico-químico


ANEXO F: RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE ESTIÉRCOL PRE-TRATAMIENTO.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO

Solicitado por: Srtas. Stefany Ramírez, Leslie Suquillo

Fecha de entrega de resultados: 21 de noviembre del 2022

Tipo de muestra: Estiércol bovino

Localidad: Recinto Florida del Toachi

Tema: Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogas a partir de estiércol vacuno en la finca "San José", recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de lo Tsachilas

Temperatura de la muestra: 25°C

Determinaciones	Unidades	Resultados
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	7.88
<i>Conductividad</i>	<i>μ Siemens/cm</i>	2224.0
<i>Materia orgánica (base seca)</i>	%	68.05
<i>Carbono orgánico(base seca)</i>	%	39.6
<i>Nitrógeno total</i>	<i>mg/L</i>	10.0
<i>Sólidos totales</i>	%	13.59
<i>Fósforo</i>	<i>mg/L</i>	0.95
<i>Calcio</i>	%	1.12
<i>Humedad</i>	%	86.53

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS

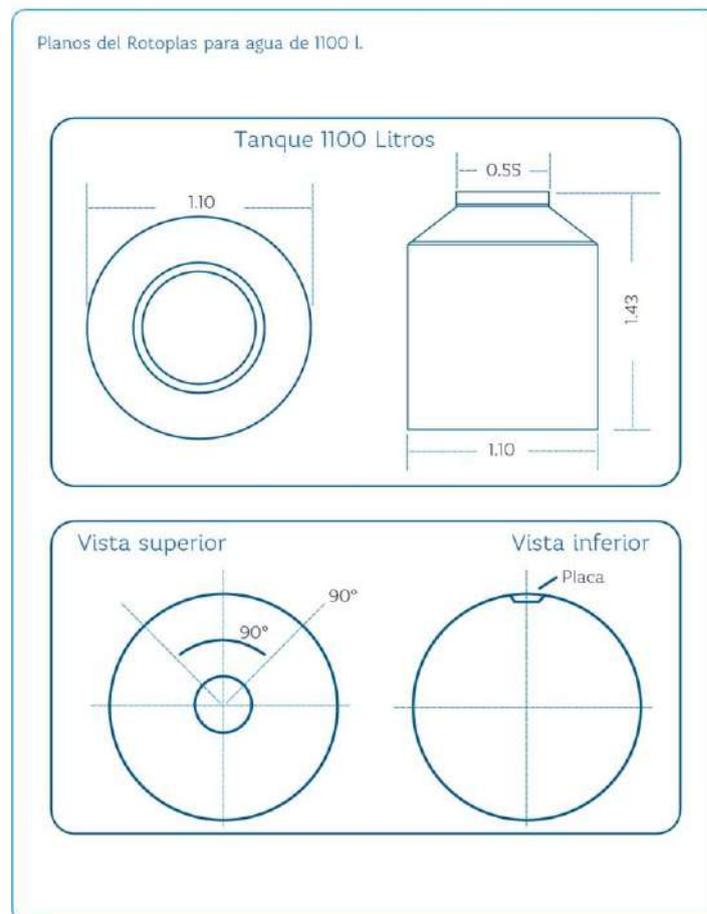
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO G: CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DIARIA.

<p>Muestreo aleatorio simple</p> 	<p>Pesado de la carga diaria</p>
--	----------------------------------

ANEXO H: FICHA TÉCNICA DE LA CÁMARA DE DIGESTOR.

Ficha técnica
Tanque Rotoplas
Fecha: 20/11/2017



ANEXO I: TEMPERATURA REGISTRADA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.

HOJA DE REGISTRO DE LA TEMPERATURA EN LA FINCA "SAN JOSÉ"							
DÍA	FECHA	TEMPERATURA EN °C		TEMPERATURA PROMEDIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		M	T		S	N	LL
1	28/11/2022	19	23	21	T	H	
2	29/11/2022	18	25	21,5	T	H	
3	30/11/2022	18	27	22,5	T	H	
4	31/12/2022	20	25	22,5	H/T		
5	2/12/2022	22	26	24	H/T		
6	3/12/2022	18	23	20,5		H/T	
7	4/12/2022	25	30	27,5	H/T		
8	5/12/2022	20	25	22,5	H/T		
9	6/12/2022	24	29	26,5	H/T		
10	7/12/2022	23	26	24,5	H/T		
11	8/12/2022	25	28	26,5	H/T		
12	9/12/2022	20	26	23	H/T		
13	10/12/2022	25	30	27,5	H/T		
14	11/12/2022	21	28	24,5	H/T		
15	12/12/2022	19	22	20,5		H/T	
16	13/12/2022	20	25	22,5		H/T	
17	14/12/2022	23	26	24,5	H/T		
18	15/12/2022	22	28	25	H/T		
19	16/12/2022	21	27	24	H/T		
20	17/12/2022	22	26	24	H/T		
21	18/12/2022	25	30	27,5	H/T		
22	19/12/2022	22	26	24	H/T		
23	20/12/2022	25	30	27,5	H/T		
24	21/12/2022	26	28	27	H/T		
25	22/12/2022	25	31	28	H/T		
26	23/12/2022	26	30	28	H/T		
27	24/12/2022	25	31	28	H/T		
28	25/12/2022	23	29	26	H/T		
29	26/12/2022	23	28	25,5	H/T		
30	27/12/2022	25	29	27	H/T		
31	28/12/2022	26	33	29,5	H/T		
32	29/12/2022	24	28	26	H/T		
33	30/12/2022	26	30	28	H/T		
34	31/12/2022	24	29	26,5	H/T		
35	1/10/2023	26	30	28	H/T		
36	2/10/2023	25	30	27,5	H/T		
37	3/10/2023	25	26	25,5	H/T		
38	4/10/2023	23	28	25,5	H/T		
39	5/10/2023	25	30	27,5	H/T		
40	6/10/2023	26	30	28	H/T		
				PROMEDIO TOTAL	25,4		
M: MAÑANA				T: TARDE			
S: SOLEADO		N: NUBLADO		LL: LLUVIOSO			

ANEXO J: TEMPERATURA REGISTRADA DENTRO DEL BIODIGESTOR.

HOJA DE REGISTRO DE LA TEMPERATURA DENTRO DEL BIODIGESTOR							
DÍA	FECHA	TEMPERATURA EN °C		TEMPERATURA PROMEDIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		M	T		S	N	LL
1	29/11/2022	33	34	33,5	T	H	
2	29/11/2022	32	28	30	T	H	
3	30/11/2022	25	34	29,5	T	H	
4	1/12/2022	20	30	30	HIT		
5	2/12/2022	20	32	31	HIT		
6	3/12/2022	28	30	34		HIT	
7	4/12/2022	20	30	30	HIT		
8	5/12/2022	33	35	34	HIT		
9	6/12/2022	32	32	32	HIT		
10	7/12/2022	34	33	33,5	HIT		
11	8/12/2022	26	40	38	HIT		
12	9/12/2022	33	41	37	HIT		
13	10/12/2022	34	33	33,5	HIT		
14	11/12/2022	39	36	37,5	HIT		
15	12/12/2022	35	32	33,5		HIT	
16	13/12/2022	29	38	33,5		HIT	
17	14/12/2022	32	36	34	HIT		
18	15/12/2022	33	39	36	HIT		
19	16/12/2022	32	42	37	HIT		
20	17/12/2022	36	36	36	HIT		
21	18/12/2022	32	38	35	HIT		
22	19/12/2022	29	37	33	HIT		
23	20/12/2022	32	36	34	HIT		
24	21/12/2022	35	36	35,5	HIT		
25	22/12/2022	33	41	37	HIT		
26	23/12/2022	35	38	36,5	HIT		
27	24/12/2022	36	35	35,5	HIT		
28	25/12/2022	30	39	34,5	HIT		
29	26/12/2022	32	40	36	HIT		
30	27/12/2022	36	38	37	HIT		
31	28/12/2022	32	39	35,5	HIT		
32	29/12/2022	36	38	37	HIT		
33	30/12/2022	40	36	38	HIT		
34	31/12/2022	36	38	37	HIT		
35	1/01/2023	35	40	37,5	HIT		
36	2/01/2023	31	38	37,5	HIT		
37	3/01/2023	38	37	37,5	HIT		
38	4/01/2023	36	38	37	HIT		
39	5/01/2023	40	42	41	HIT		
40	6/01/2023	37	40	38,5	HIT		
		PROMEDIO TOTAL		35,1			
M: MAÑANA				T: TARDE			
S: SOLEADO		N: NUBLADO		LL: LLUVIOSO			

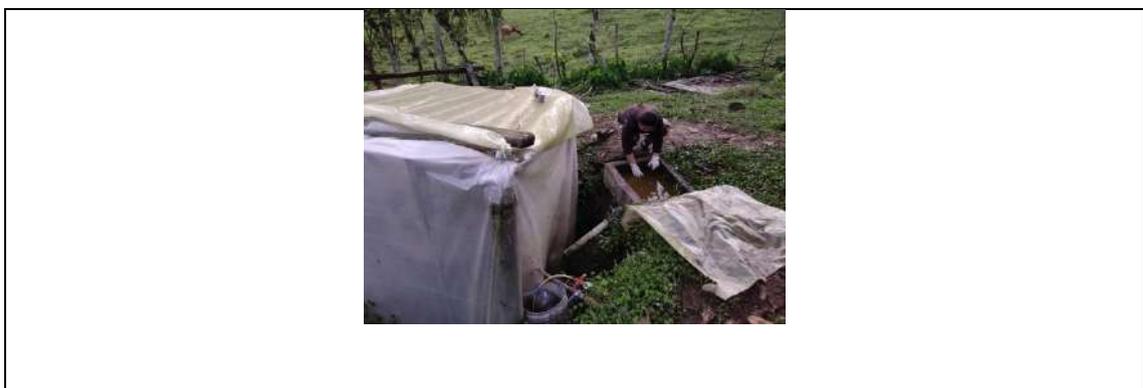
ANEXO K: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR.



ANEXO L: CARGA DIARIA DE LA MATERIA PRIMA.

Mezcla (materia prima+ agua)	Trituración de los residuos orgánicos	Trituración del maní forrajero
		

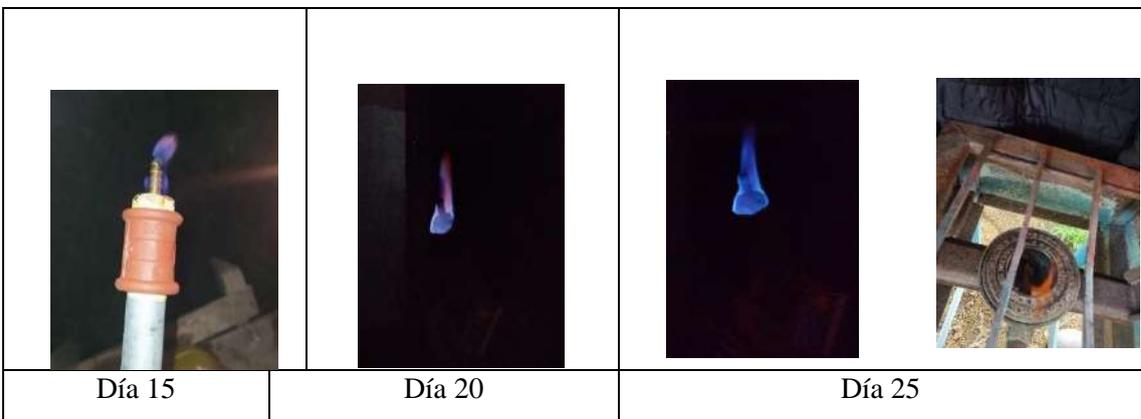
ANEXO M: TOMA DE LA MUESTRA DE BIOL POST-TRATAMIENTO.



ANEXO N: MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.



ANEXO O: QUEMA DE BIOGÁS.



ANEXO P: RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA DE BIOL POST-TRATAMIENTO.



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO

Solicitado por: Srtas. Stefany Ramirez, Leslie Suquillo

Fecha de entrega de resultados: 15 de febrero del 2023

Tipo de muestra: Biol

Localidad: Recinto Florida del Toachi

Tema: Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogas a partir de estiércol vacuno en la finca "San José", recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de lo Tsachilas

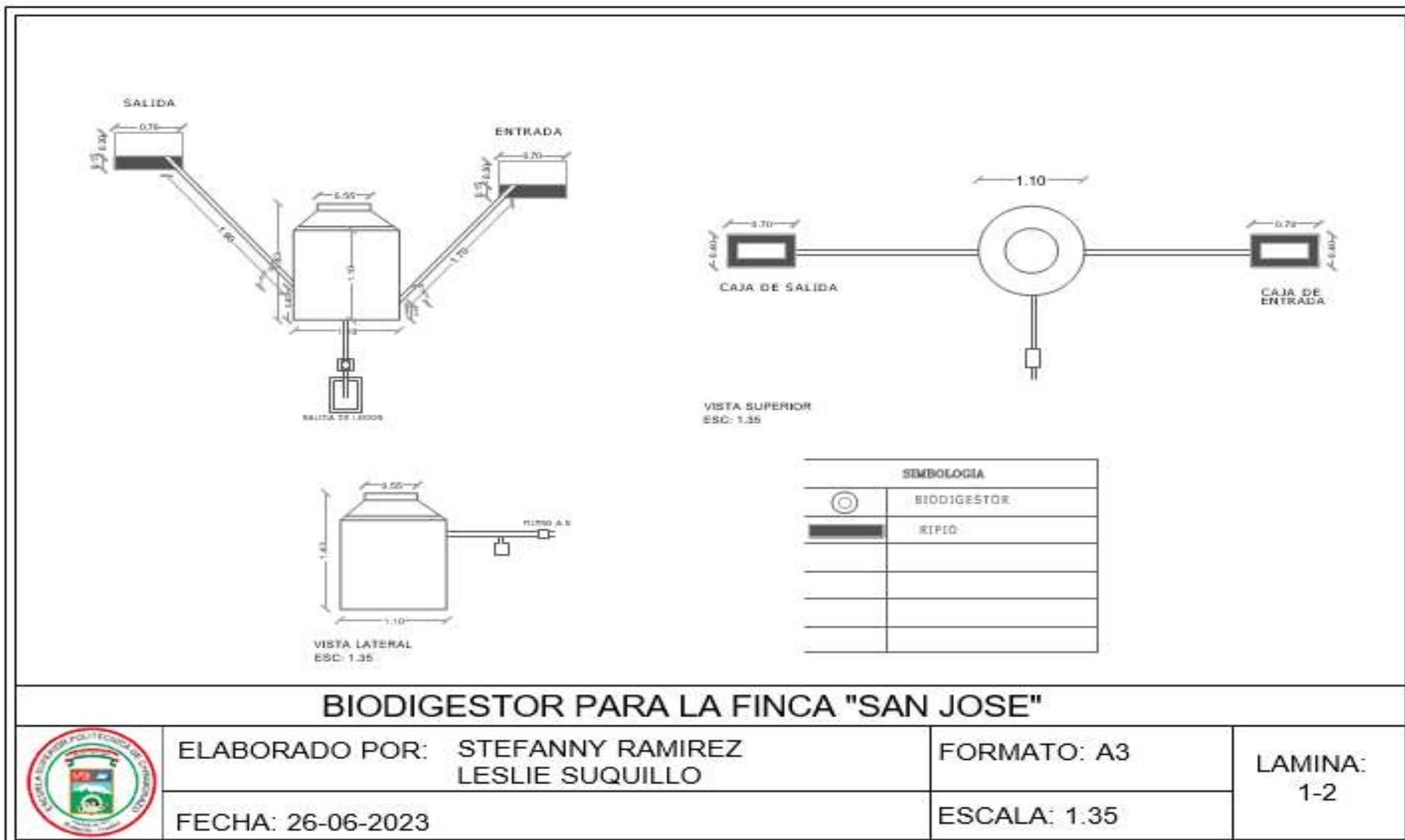
Temperatura de la muestra: 26°C

Determinaciones	Unidades	Resultados
<i>pH</i>	<i>Unid</i>	<i>7.35</i>
<i>Materia orgánica (base seca)</i>	<i>%</i>	<i>1.35</i>
<i>Carbono orgánico(base seca)</i>	<i>%</i>	<i>30.0</i>
<i>Nitrógeno total</i>	<i>mg/L</i>	<i>23.0</i>
<i>Sólidos totales</i>	<i>%</i>	<i>40.23</i>
<i>Fósforo</i>	<i>mg/L</i>	<i>0.90</i>
<i>Calcio</i>	<i>%</i>	<i>1.00</i>

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS

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

ANEXO Q: PLANOS DEL BIODIGESTOR.



BIODIGESTOR PARA LA FINCA "SAN JOSE"



ELABORADO POR: STEFANNY RAMIREZ
LESLIE SUQUILLO

FECHA: 26-06-2023

FORMATO: A3

ESCALA: 1.35

LAMINA:
1-2



esPOCH

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: 18 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Stefany Gisela Ramírez Feijóo Leslie Nicole Suquillo Heras
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1706-DBRA-UPT-2023

