UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agroindustrias

TEMA:

"EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN UN BIODIGESTOR TIPO BATCH UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CAMAL DEL CANTÓN SAN JOSÉ DE CHIMBO"

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias.

Autores:

Armijo Hidalgo Johanna Tatiana

Vera Sanchez Jordy Andres

Tutor:

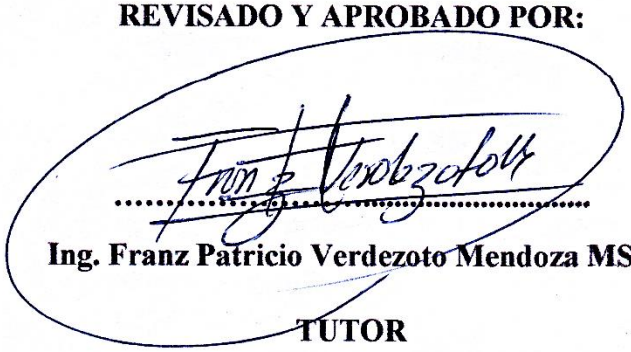
Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

Guaranda - Ecuador

2024

"EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN UN BIODIGESTOR TIPO BATCH UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CAMAL DEL CANTÓN SAN JOSÉ DE CHIMBO"

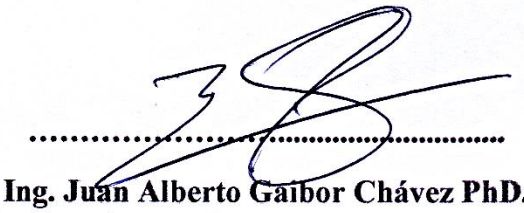
REVISADO Y APROBADO POR:



.....

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

TUTOR



.....

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

PAR LECTOR



.....

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.

PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Johanna Tatiana Armijo Hidalgo con C.I: 1718400466 y Jordy Andres Vera Sanchez con C.I: 0202458352, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Johanna Tatiana Armijo Hidalgo
e-mail: joharmijo@mailes.ueb.edu.ec
Cédula: 1718400466

Jordy Andres Vera Sanchez
e-mail: jordvera@mailes.ueb.edu.ec
Cédula: 0202458352

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.
e-mail: fverdezoto@ueb.edu.ec
Cédula: 0201668043

Notaría Tercera del Cantón Guaranda
Msc.Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario

NOTARIA TERCERA
Msc. Ab. Henry Rojas Narváez
GUARANDA - ECUADOR

No. ESCRITURA	20240201003P01581

DECLARACION JURAMENTADA
OTORGADA POR:
JORDY ANDRES VERA SANCHEZ
JOHANNA TATIANA ARMIJO HIDALGO
FACTURA: 001-002-000013107
DI: 2 COPIAS

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día diecisiete de junio de dos mil veinticuatro, **ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda**, comparecen los señores JORDY ANDRES VERA SANCHEZ, soltero, domiciliado en la Avenida Elisa Mariño de Carvajal de la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, con celular número 0985219031, correo electrónico verajordy31@gmail.com; JOHANNA TATIANA ARMIJO HIDALGO, soltera, domiciliada en el cantón San José de Chimbo, provincia Bolívar y de paso por este lugar, con celular número 0962851815, correo electrónico johannatatiana@outlook.com, por sus propios derechos. Los comparecientes son de nacionalidad ecuatoriana, mayores de edad, hábiles e idóneos para contratar y obligarse a quienes de conocerlos doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana, bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertidos de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presentan su declaración Bajo Juramento que dicen: **DECLARAMOS QUE EL PRESENTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DENOMINADO: "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN UN BIODIGESTOR TIPO BATCH UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS DEL CAMAL DEL CANTÓN SAN JOSÉ DE CHIMBO", previo la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, de la Universidad Estatal de Bolívar,** es de nuestra autoría, este documento no ha sido previamente presentado por ningún grado de calificación profesional y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas por los autores. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hacemos para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue a los comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, aquellos se afirman y se ratifican de todo lo expuesto y firman conmigo en unidad de acto, quedando incorporado al protocolo de esta Notaria, la presente declaración, de todo lo cual doy fe.-

JORDY ANDRES VERA SANCHEZ
C.C. 0202458352

JOHANNA TATIANA ARMIJO HIDALGO
C.C. 1718400466

AB. HENRY ROJAS NARVAEZ
NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

NOTARIA TERCERA
GUARANDA - ECUADOR

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

Armijo_J_Vera_J_Tesis_Biogas_Tutor_Verdezoto_F.docx

AUTOR

Jordy Vera Sánchez

RECUENTO DE PALABRAS

14662 Words

RECUENTO DE CARACTERES

77502 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

70 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

810.7KB

FECHA DE ENTREGA

Jun 13, 2024 3:06 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 13, 2024 3:07 PM GMT-5

2% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de trabajos entregados

.....

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

Cédula: 0201668043

TUTOR

DEDICATORIA

El trabajo de investigación, lo dedico principalmente a Dios y a la Virgen del Guayco, por qué siempre han estado conmigo guiándome, cuidándome y dándome fuerzas para continuar, han sido fundamentales para superar cada obstáculo y alcanzar mis sueños.

A mis padres, Luis y Fabiola ya que han sido una fuente constante de amor, sabiduría y apoyo en mi vida, quienes, a lo largo de mi vida siempre han estado para mí, velando por mi bienestar y educación, dándome ánimos para no darme por vencida en cada reto que se me ha presentado sin dudar un solo momento en mi inteligencia y capacidad,

A mi hermana, Joselyn, has sido mi confidente, mi amiga y mi inspiración a lo largo de toda mi vida. Tu apoyo incondicional, tu sabiduría y tu alegría han iluminado mi camino en los momentos más oscuros y han sido un faro de esperanza en cada desafío, a mis abuelitos por darme sus Bendiciones, ya que siempre han estado ahí para animarme y alentarme en cada paso del camino su generosidad, me han inspirado a alcanzar mis metas.

Es por ellos, que he podido ir avanzando y llegar a cumplir esta meta.

Johanna Armijo

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios, a mis padres, a mis abuelitos y a mis tías por ser mi impulso de superación.

A Dios por ser mi fortaleza y guiarme por el camino del bien para poder alcanzar mi objetivo. A mi tía Olivia Sanchez quien siempre ha velado por mi bienestar, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba. A mi tía Lorena Vera por su comprensión y apoyo constante durante todos estos años y en especial en el trayecto de mi carrera universitaria.

A mis abuelitos Mamita Clara Mejía, Mamita Fanny Chango y Papito Ángel Sanchez quienes han sido mi impulso de superación por enseñarme, que con trabajo, perseverancia y constancia los sueños se cumplen. A mi papá Luis Vera que desde el cielo sé que estará orgulloso del logro que he alcanzado. A mí padre Hipólito Gaibor quien me acogió como un hijo más y no dudo un solo momento de mi inteligencia y capacidad.

Y de manera muy especial a mi madre amada Karina Sanchez por todo su apoyo, su sacrificio constante, además de ser mi motivo de superación, de salir adelante cada día, a ella le dedico este proyecto con todo mi amor y cariño.

Jordy Vera

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Luis y Fabiola cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi camino hacia la culminación de esta tesis. Desde el principio, han estado a mi lado, brindándome aliento incondicional, orientación sabia y un amor que trasciende cualquier obstáculo. Mi más sincero agradecimiento a mis tíos ustedes han estado presentes para ofrecerme su guía, consejo y aliento en cada paso del camino, su confianza en mí ha sido un impulso constante para alcanzar mis metas. A mi hermana, esta tesis es, en parte, tu logro también, y cada página lleva impresa la influencia de nuestra relación y conexión única. Agradezco sinceramente todo lo que has hecho por mí y por ser la hermana más amorosa y comprensiva.

Agradezco a mis queridos abuelitos, Octavio, Zoila y Jesús, desde mi infancia ustedes han estado a mi lado, brindándome aliento en los momentos difíciles, celebrando mis logros y compartiendo su invaluable sabiduría conmigo. Su presencia ha sido una fuente de amor y consuelo para mí. A mi prima Estefanía por siempre estar ahí conmigo, por no dejarme sola y brindarme un consejo también por darme un niño hermoso que es mi chiquito bello Dylan. A mi compañero de Tesis Jordy, que a pesar de nuestras discusiones productivas y nuestra capacidad para superar juntos los desafíos que encontramos en el camino hemos logrado culminar este proyecto.

Mi más sincero agradecimiento a mi respetado tutor de tesis, Ing. Franz Verdesoto, ya que su orientación experta y sus comentarios constructivos, han sido fundamentales en la culminación de este proyecto. A la Universidad Estatal de Bolívar, así como a todos los departamentos y programas que han contribuido a mi formación. Su compromiso con la excelencia educativa y la innovación ha sido una fuente constante de inspiración y motivación para mí. A mis mejores amigos cuyo apoyo incondicional, amistad genuina y aliento constante han sido una fuente invaluable de inspiración y fortaleza en mi vida y en la realización de esta tesis, desde el primer día que nos conocimos, han estado a mi lado, compartiendo risas, consuelo y aventuras.

Johanna Armijo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas, por darme la salud y fuerza para salir adelante y por poner en mi vida personas valiosas.

Agradezco a mis padres quienes me han apoyado arduamente día a día y a toda mi familia paterna Vera Mejía y materna Sanchez Chango porque de una u otra forma me han alentado, apoyado y respaldado durante mi formación universitaria.

También quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis profesores quienes me han impartido todos sus conocimientos y me han orientado para formarme como un profesional, quiero mencionar y agradecer al Ing. Franz Verdezoto como tutor de este trabajo de investigación quien nos orientó, apoyo y ayudo a culminar con éxito está investigación.

Agradezco también a mi compañera de tesis Johanna Armijo y a su familia Luis Armijo, Fabiola Hidalgo, Joselyn Armijo por cada concejo, por su apoyo moral y aliento de superación.

Y a todas las personas que de mayor a menor grado me dieron ánimos para seguir adelante con mis estudios y contribuyeron felizmente a la culminación del presente trabajo.

Jordy Vera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Página
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.2.1. Formulación del problema	4
1.2.2. Sistematización del problema	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. HIPÓTESIS	6
1.4.1. Hipótesis nula (Ho)	6
1.4.2. Hipótesis alterna (Hi)	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Residuos	7
2.1.1. Conceptos generales sobre residuos	7
2.1.2. Clasificación de los residuos	7
2.2. Biodigestión	8
2.2.1. Fisiología de los microorganismos en la biodigestión	8
2.2.2. Proceso de descomposición	8
2.2.3. Cultivo microbiano	9
2.3. Proceso de biodigestión anaeróbica	11
2.3.1. Acidogénesis	13
2.4. Factores que influyen en la biodigestión anaeróbica	14
2.4.1. Temperatura	14
2.4.2. Tiempo de retención	15

2.4.3. Nutrientes 16
2.4.4. Alcalinidad y pH 17
2.4.5. Toxicidad 18
2.4.6. Agitación 19
2.4.7. Otros factores 19
2.5. Aproximaciones teóricas de la producción de biogás 19
2.5.1. Caracterización y la biodigestión anaerobia en desechos orgánicos 20
2.6. Biodigestores 21
2.6.1. Biodigestores de flujo discontinuo 22
2.6.2. Biodigestores de flujo semicontinuo 22
2.6.3. Biodigestores de flujo continuo 23
2.7. Biogás 24
CAPÍTULO III 26
3. MARCO METODOLÓGICO 26
3.1. Ubicación de la investigación 26
3.1.1. Localización de la investigación 26
3.1.2. Situación geográfica y climática de la localidad 26
3.1.3. Zona de vida 27
3.2. Metodología 27
3.2.1. Material en estudio 27
3.2.2. Factores en estudio 29
3.2.3. Tratamientos 29
3.2.4. Características del experimento 30
3.2.5. Tipo de diseño experimental 30
3.3. Manejo de la investigación 32
3.3.1. Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos 32
3.3.2. Análisis elemental de los desechos orgánicos 33

3.3.3. Análisis químico de los desechos orgánicos. 33
3.3.4. Preparación de los biodigestores a nivel laboratorio 34
3.3.5. Diseño del biodigestor tubular 34
3.3.6. Modelos matemáticos para el rendimiento y volumen de CH_4 37
3.3.7. Análisis químico del biol 38
3.3.8. Análisis costo de producción de biogas y biol 38
3.4. Análisis estadístico 39
CAPÍTULO IV 40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40
4.1. Caracterización de los desechos orgánicos del camal 40
4.1.1. Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos 40
4.1.2. Análisis elemental de los desechos orgánicos 42
4.1.3. Análisis químico de los desechos orgánicos 43
4.1.4. Cantidad de residuos orgánicos generados por el camal 44
4.2. Proporción óptima de la composición de la biomasa 46
4.2.1. Resultados de la cantidad alcanzada de CH_4 (%) 46
4.2.2. Resultados del volumen de gas producido (ml) 48
4.2.3. ANOVA del rendimiento del gas metano a partir de residuo orgánicos 50
4.2.4. Coeficiente de regresión y optimización de respuesta del rendimiento 51
4.2.5. Anova del volumen de gas metano a partir de residuos orgánicos 54
4.2.6. Coeficiente de regresión y optimización de respuesta del volumen 55
4.3. Rendimiento del biogas y biol en un biodigestor tipo batch 58
4.3.1. Diseño de biodigestor 58
4.3.2. Modelamiento matemático de la producción de gas metano 60
4.3.3. Modelos matemáticos para el rendimiento de gas metano del T6 62
4.3.4. Modelos matemáticos para el volumen de gas metano del T6 64
4.4. Análisis químico del biol 65

4.5. Relación costo de producción del gas metano 67
4.5.1. Costo de residuos orgánicos utilizados 67
4.5.2. Materiales de campo para diseño de biodigestor tipo batch 68
4.5.3. Costos estimados de alquiler de equipos por 1 mes 69
4.5.4. Resumen del costo total para el proyecto 69
4.5.5. Cálculo de beneficio de biogas y biol 70
4.6. Comprobación de hipótesis 70
CAPÍTULO V 71
5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71
5.1.1. Conclusiones 71
5.1.2. Recomendaciones 72
BIBLIOGRAFÍA 73
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

N.º Tabla		Página
1.	Temperatura para el desarrollo de las baterías metanogénicas	14
2.	pH óptimo de algunas bacterias metanogénicas	18
3.	Biogás esperado de desechos	20
4.	Cálculo del porcentaje de metano de materia orgánica	20
5.	Rangos de C: N, nitrógeno y fósforo en residuos bovinos	21
6.	Tipos de digestores anaeróbicos conforme a su característica	24
7.	Propiedades del biogás	24
8.	Componentes del biogás	25
9.	Localización de la investigación	26
10.	Aspectos generales del territorio	26
11.	Equipos utilizados en la experimentación	28
12.	Factores de estudio para la investigación	29
13.	Tratamientos de estudio	29
14.	Características de la experimentación	30
15.	Modelo ANOVA para el diseño experimental 2^3	31
16.	Parámetros del análisis físico y proximal	32
17.	Parámetros del análisis físico y proximal	33
18.	Modelos matemáticos de crecimiento microbiano	37
19.	Parámetros químicos de calidad del biol	38
20.	Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos	40
21.	Análisis elemental de los desechos orgánicos	42
22.	Análisis químico de los desechos orgánicos	43
23.	Composición elemental de residuos de poda	44
24.	Cantidad de residuos generados por el camal en kg	45
25.	Valores obtenidos de la cantidad de CH_4	46

26. Valores obtenidos del volumen de gas producido 48
27. Anova del rendimiento del metano CH_4 50
28. Valores de estimación para el coeficiente de regresión del rendimiento 51
29. Optimización de respuesta 52
30. Anova del volumen de gas producido 54
31. Valores de estimación para el coeficiente de regresión del volumen 55
32. Optimización de respuesta 56
33. Concentración de la mezcla 59
34. Valores del rendimiento y volumen obtenido del gas metano del T6 61
35. Modelos matemáticos comprobados para el rendimiento del T6 62
36. Modelos matemáticos comprobados para el volumen del T6 64
37. Resultados químicos del biol 66
38. Costos para experimento con residuos orgánicos 67
39. Costos para diseño de biodigestor tipo batch 68
40. Costos de alquiler de equipos 69
41. Resumen de costos para el proyecto 69
42. Beneficio estimado de la producción de biogás y biol 70

ÍNDICE DE FIGURAS

N.º Figura		Página
1.	Crecimiento bacteriano de un cultivo discontinuo	9
2.	Constante de velocidad media de Monod	11
3.	Degradación anaeróbica de la materia orgánica	12
4.	Rangos de temperatura de producción del metano	15
5.	Biodigestor de cúpula fija	22
6.	Biodigestor de domo flotante	23
7.	Cantidad de residuos orgánicos generados por día	45
8.	Valores obtenidos de la cantidad de CH_4	47
9.	Valores obtenidos del volumen de gas producido	49
10.	Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento de gas metano	51
11.	Gráfico de efectos principales para el rendimiento de gas metano	52
12.	Gráfico de interacción para el rendimiento de gas metano	53
13.	Superficie de respuesta estimada del rendimiento de gas metano	53
14.	Diagrama de Pareto estandarizada para el volumen de gas metano	55
15.	Gráfico de efectos principales para el volumen de gas metano	56
16.	Gráfico de interacción para el volumen de gas metano	57
17.	Superficie de respuesta estimada del volumen	57
18.	Comparación de las curvas de los diferentes modelos matemáticos	63
19.	Comparación de las curvas de los diferentes modelos matemáticos	65

ÍNDICE DE ANEXOS

N.º Anexo

1. Mapa de ubicación de la investigación

2. Datos del proceso de biodigestión de residuos orgánicos

3. Análisis físico de la materia prima

4. Análisis químico de la materia prima

5. Medición de biogás de biodigestores piloto

6. Análisis de laboratorio

7. Implementación del biodigestor

8. Glosario

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la producción de biogás y biol a través de un biodigestor tipo Batch utilizando residuos orgánicos del camal del cantón San José de Chimbo. La materia prima fue caracterizada en los parámetros de humedad, materia seca, cenizas, volátiles, CHONS, C/N, grasa y aceites, arsénico (As), calcio (Ca), cloro activo (Cl), conductividad eléctrica, cromo hexavalente (Cr6), DBO5, DQO, níquel (Ni), pH, potasio (K), sólidos totales, sulfatos (SO4), sodio (Na) y temperatura (°C), de la cual obtuvo que la materia prima no cumple con la relación carbono-nitrógeno, la misma que se ajustó a una relación C:N = 20 mediante la adición de residuos de podas, el factor de biodegradabilidad de 0,48, estando dentro de las Normas para biodigestar. En la parte experimental se aplicó un diseño en arreglo factorial AxBxC del tipo 2^k, el que consta de tres factores cada uno con dos niveles (2^3 = 2x2x2), obteniendo 8 tratamientos, con 3 repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales, los factores evaluados fueron concentración de residuos orgánicos del camal con dos niveles, tiempo de residencia hidráulica con dos niveles y temperatura con dos niveles. Las variables respuestas fueron porcentaje de gas metano (CH_4) y volumen de gas obtenido en ml. Se precisaron las condiciones óptimas del proceso de biodigestión anaerobia, para un tiempo de residencia hidráulica de 20 días y una temperatura de 20 ºC, con lo cual se obtuvo un máximo de biogás acumulado de 56,46% en CH_4 y un volumen de 195,66 ml en el tratamiento T6. Se realizó un análisis químico del biol obtenido en el T6 donde se presentó nitrógeno total (N) (0,83%), fósforo asimilable (P_2O_5) (1,15 mg/kg) y potasio soluble (K_2O) (1,33 mg/kg) demostrando rangos óptimos del 28% de nutrientes garantizados de fertilizantes orgánicos de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98, concluyendo que los residuos del camal en combinación con los residuos de podas a las condiciones de estudio, pueden generar biogás sobre el 50 % de CH_4 requerido en estos procesos y un biol con macronutrientes dentro de la norma técnica.

Palabras clave: Anaerobia, Batch, Biodigestión, Biogás, Biol, Residuos.

SUMMARY

The objective of this work is to evaluate the production of biogas and biol through a Batch type biodigester using organic wastes from the San José de Chimbo canton. The raw material was characterized in terms of moisture, dry matter, ash, volatiles, CHONS, C/N, fat and oils, arsenic (As), calcium (Ca), active chlorine (Cl), electrical conductivity, hexavalent chromium (Cr6), BOD5, COD, nickel (Ni), pH, potassium (K), total solids, sulfates (SO4), sodium (Na) and temperature (°C), from which it was obtained that the raw material does not comply with the carbon-nitrogen ratio, which was adjusted to a C: N = 20 through the addition of pruning residues, the biodegradability factor of 0.48, being within the Standards for biodigesting. In the experimental part, a 2^k type AxBxC factorial design was applied, which consists of three factors each with two levels (2^3 = 2x2x2), obtaining 8 treatments, with 3 replications, with a total of 24 experimental units, the factors evaluated were organic residue concentration in the litter with two levels, hydraulic residence time with two levels and temperature with two levels. The response variables were percentage of methane gas (CH_4) and volume of gas obtained in ml. The optimum conditions of the anaerobic biodigestion process were determined for a hydraulic residence time of 20 days and a temperature of 20 ºC, which resulted in a maximum accumulated biogas of 56,46% CH4 and a volume of 195,66 ml in treatment T6. A chemical analysis of the biol obtained in T6 showed total nitrogen (N) (0.83%), assimilable phosphorus ($P_2 O_5$) (1,15 mg/kg) and soluble potassium ($K_2 O$) (1,33 mg/kg), demonstrating optimal ranges of 28% of guaranteed nutrients of organic fertilizers according to the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 211: 98, concluding that the feedlot residues in combination with pruning residues at the study conditions, can generate biogas over 50% of CH_4 required in these processes and a biol with macronutrients within the technical norm.

Key words: Anaerobic, Batch, Biodigestion, Biogas, Biol, Residues.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La gestión sustentable de residuos es crucial en la actualidad, especialmente con la creciente presión sobre los recursos naturales y la necesidad de mitigar el impacto ambiental (Soberats et al., 2019). A nivel mundial cada año se producen más de 100 mil millones de Tm de residuos biomásicos, una cifra alarmante que plantea desafíos significativos para el planeta. Estos residuos, que incluyen desde desechos agrícolas hasta restos de alimentos, representan una carga considerable para los ecosistemas y pueden contribuir a la contaminación del aire, del agua y del suelo (Cho et al., 2020).

Los sistemas de tratamiento y reutilización de residuos, como los biodigestores juegan un papel importante en este ámbito. Los biodigestores son reactores que realizan la digestión anaerobia de material orgánico, transformándolo en biogás y fertilizantes valiosos, contribuyendo a la producción de energía y la reducción de la contaminación ambiental (Camarena et al., 2023). El biogás producido contiene principalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), donde el metano es un potente combustible y un gas de efecto invernadero. Su utilización en biodigestores ayuda a reducir emisiones de gases de efecto invernadero y proporciona una fuente de energía renovable (Kabeyi & Olanrewaju, 2022).

Al final del proceso de digestión anaerobia, se obtiene un subproducto conocido como biol o digestato, rico en nutrientes y útil para la agricultura que ayuda al mejoramiento de la estructura y actividad microbiológica del suelo promoviendo la salud de las plantas, aumentando su resistencia a enfermedades y plagas (Martínez et al., 2022).

La gestión de residuos orgánicos mediante biodigestores responde a directrices y normativas internacionales sobre gestión sustentable de residuos y promoción de energía limpia y asequible (Huayapa & Riveros, 2022). En particular, los camales o mataderos son una fuente significativa de residuos orgánicos, en el cantón San José de Chimbo, el camal local produce una cantidad considerable de desechos orgánicos diariamente, tanto sólidos como líquidos, exclusivamente de origen porcino (Martínez et al., 2022). Estos residuos representan tanto un desafío en términos de disposición y tratamiento como una oportunidad para la producción de biogás y biol, aportando energía y nutrientes a la comunidad (Alcalde & Cubas, 2020).

San José de Chimbo un cantón con una notable actividad agrícola, cuenta con su propio camal. Este camal faena únicamente animales de origen porcino, produciendo una cantidad significativa de aproximadamente 92,75 kg de residuos orgánicos (sólidos y líquidos) por semana de martes a sábado. Estos residuos como viseras, estiércol y sangre, representan un desafío en términos de disposición y tratamiento, también constituyen una oportunidad. Mediante su procesamiento en biodigestores, estos desechos pueden transformarse en biogás y biol, aportando energía y nutrientes a la comunidad.

En este contexto, la tecnología de biodigestión ofrece una solución innovadora y sustentable para la gestión de residuos, especialmente en la transformación de desechos orgánicos de camales en recursos valiosos. La investigación y desarrollo de biodigestores adaptados a las particularidades de cada fuente de residuo, como los de origen porcino en este caso, son de suma importancia para lograr un impacto positivo tanto económico como ambiental.

1.2. PROBLEMA

Los residuos son materiales descartados que ya no tienen uso para su dueño original y pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Pueden ser de origen doméstico, industrial, restaurante, podas, mercados, agrícola o comercial, y su gestión adecuada es crucial para prevenir impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Alba & Quilo, 2023).

El adecuado manejo y disposición de los residuos orgánicos según Paccelli & Fanelli (2020), ha sido una preocupación constante en la sociedad contemporánea. Los residuos orgánicos, cuando no se gestionan adecuadamente, pueden contribuir significativamente a la contaminación del suelo, aire y fuentes hídricas, además de representar una pérdida de recursos potencialmente valiosos.

En el ámbito global, diversas localidades enfrentan retos similares en lo que respecta a la gestión de residuos. Estos desafíos adquieren características particulares dependiendo de la naturaleza y origen de los residuos generados (Saidakbarovich, 2021). Un tipo de residuo que ha suscitado especial atención son aquellos provenientes de camales o mataderos. Dada la naturaleza de estas instalaciones, los residuos generados poseen características específicas en cuanto a su composición y potencial contaminante (Arratia, 2022).

Los camales, en su función principal de procesar animales, que generan una amalgama de desechos que incluyen sangre, vísceras, tejidos y otros componentes orgánicos. La acumulación y mala disposición de estos desechos pueden llevar a la proliferación de enfermedades, la contaminación de cuerpos hídricos y la emanación de olores desagradables. Estos impactos no solo afectan el medio ambiente, sino también la salud y bienestar de las comunidades cercanas.

San José de Chimbo, como muchas localidades con actividad de crianza de animales, cuenta con un camal que produce diariamente una cantidad considerable de residuos. Esta situación plantea interrogantes fundamentales: ¿Cuál es la mejor manera de gestionar estos residuos?, ¿Es posible convertir estos desechos en recursos valiosos para la comunidad?, ¿Qué tecnologías y métodos se pueden emplear para este propósito?

1.2.1. Formulación del problema

De acuerdo a lo mencionado, en la presente investigación se planteó la siguiente pregunta general:

¿Es viable la producción eficiente de biogás y biol mediante un biodigestor tipo batch utilizando residuos orgánicos del camal del Cantón San José de Chimbo, y cuál sería su impacto ambiental y económico en la comunidad?

1.2.2. Sistematización del problema

Para el abordaje de la pregunta general de investigación, se planteó las siguientes preguntas específicas que ayudarán al cumplimiento del objetivo general:

¿Cuáles son las características físicas y químicas que presenta los desechos orgánicos del camal del Cantón San José de Chimbo?

¿Qué cantidad y tipo de residuos es la óptima en la biodigestión anaeróbica?

¿Cómo diseñar un biodigestor tipo batch para la producción de biogás y biol?

¿Cómo se establecerá la relación costo-beneficio para la producción de biogás y biol obtenido a partir de los desechos orgánicos del Cantón San José de Chimbo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la producción de biogás y biol a través de un biodigestor tipo Batch utilizando residuos orgánicos del camal del cantón San José de Chimbo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar de forma física-química los desechos orgánicos del camal.
- Encontrar la proporción óptima de la composición de la biomasa para la biodigestión a nivel laboratorio, controlando tiempo y temperatura.
- Diseñar un biodigestor tipo Batch con el mejor tratamiento para la producción de biogás y biol, evaluando su calidad.
- Determinar el costo beneficio de la producción de biogás y biol obtenidos a partir de los desechos orgánicos del camal del cantón San José de Chimbo.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis nula (Ho)

H_o: La producción de biogás y biol a partir de los residuos orgánicos del camal en el cantón San José de Chimbo no alcanza los niveles óptimos mediante los factores de estudio tiempo de residencia hidráulica, porcentaje de residuos y la temperatura durante el proceso de biodigestión.

1.4.2. Hipótesis alterna (Hi)

H_i: La producción de biogás y biol a partir de los residuos orgánicos del camal en el cantón San José de Chimbo alcanza los niveles óptimos mediante los factores de estudio tiempo de residencia hidráulica, porcentaje de residuos y la temperatura durante el proceso de biodigestión.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Residuos

Los residuos son materiales descartados por haber perdido su utilidad, se clasifican según su origen (residenciales, comerciales, industriales, agrícolas o sanitarios) y composición (orgánicos, inorgánicos, peligrosos o inertes) (Atehortúa, 2020). Sin embargo, estos residuos son un aspecto importante de la actividad humana y su adecuada gestión es fundamental para proteger el medio ambiente y la salud pública (Sacatoro, 2020).

2.1.1. Conceptos generales sobre residuos

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) describe "residuos" como materiales resultantes de procesos de producción y consumo que, dentro de su contexto de origen, carecen de valor económico (Pazmiño, 2022). Esto se debe a dos factores principales: la falta de tecnología apropiada para su reutilización o reciclaje efectivo, y la ausencia de un mercado que demande los productos que podrían obtenerse de estos residuos. Sin embargo, los residuos son subproductos no aprovechados de actividades económicas, limitados por restricciones tecnológicas y de mercado (Vargas et al., 2021).

2.1.2. Clasificación de los residuos

El estado físico de los residuos, según Ramos & Quinte (2022), puede ser sólidos, líquidos, gaseosos y pastosos. Además, en conformidad a la estructura química, el origen y el destino final, los residuos se puede clasificar en:

- **Residuos orgánicos:** son aquellos que provienen de un organismo vivo como plantas o animales, estos pueden ser putrescibles y no putrescibles.
- **Residuos inertes:** son los biodegradables e incombustibles. Provienen de la extracción o empleo de los recursos naturales, como es el caso de la construcción, demolición, etc.
- **Residuos peligrosos:** aquellos que no se los pueden utilizar en procesos de recuperación o transformación convencionales.

Para este trabajo, los residuos involucrados son desechos orgánicos del camal de San José de Chimbo, los mismos que se convertirán en la fuente de energía y sustrato para los microorganismos.

2.2. Biodigestión

Es un proceso biológico en el cual la materia orgánica, como residuos de alimentos, estiércol animal o residuos vegetales, se descompone en ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico) por la acción de microorganismos (Huayapa & Riveros, 2022). Estos microorganismos descomponen la materia orgánica en un ambiente cerrado y sin oxígeno, generando biogás (principalmente metano y dióxido de carbono) y un residuo orgánico estabilizado conocido como digestato (Guerra & Páez, 2022).

2.2.1. Fisiología de los microorganismos en la biodigestión

En el proceso de biodigestión, los microorganismos desempeñan un papel crucial, ya que, al igual que otros seres vivos, necesitan energía y carbono para su crecimiento y desarrollo. Estas bacterias extraen su energía del carbono, y utilizan nitrógeno para formar sus estructuras celulares (Chamoro, 2022).

Cortez & Serrano (2023), señala que la proporción óptima de carbono a nitrógeno (C: N) para este proceso es de 30:1. Sin embargo, una disminución en el contenido de nitrógeno en la mezcla puede ralentizar la producción de biogás. Por otro lado, un exceso de nitrógeno puede llevar a una producción excesiva de amoníaco, lo cual es tóxico y puede inhibir el proceso de biodigestión.

2.2.2. Proceso de descomposición

En el proceso de descomposición de desechos orgánicos, los microorganismos, específicamente células bacterianas, juegan un rol esencial. Estas células interactúan con los residuos orgánicos a través de su capa celular más externa, iniciando un proceso de degradación (Chamoro, 2022).

Vázquez (2022), indica que este proceso es una cadena de reacciones metabólicas que comienza con el transporte del material orgánico (sustrato) al interior de la célula bacteriana. Una vez dentro, las enzimas intracelulares de la bacteria forman complejos con este sustrato. Por otro lado, Cortez & Serrano (2023), mencionan que estas enzimas catalizan diversas reacciones que son fundamentales tanto para la generación de energía como para la creación de nuevos materiales celulares.

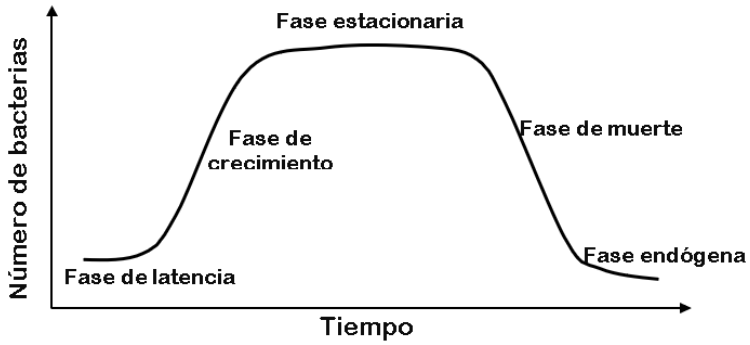
Dentro de una célula, se llevan a cabo dos tipos fundamentales de procesos metabólicos. Primero, están los procesos anabólicos, responsables de la síntesis de protoplasma, que es una mezcla compleja de sustancias como proteínas, carbohidratos, ADN y otros componentes celulares (Pedraza & Poveda, 2020). Este protoplasma se caracteriza por estar compuesto en un 75% de agua, mientras que su fracción sólida se divide en 90% de material orgánico y 10% de material inorgánico (Alcantara et al., 2019).

2.2.3. Cultivo microbiano

Además, Caycedo et al. (2021) señalan que se han desarrollado estudios de laboratorio mediante cultivo discontinuo en un medio líquido que se inicia inoculando una pequeña cantidad de bacterias en particular, a una solución que contiene elevada concentración de un sustrato único, que atraviesa cinco fases en relación con el número de células y tiempo.

Figura 1

Crecimiento bacteriano de un cultivo discontinuo



Nota. La figura indica la curva de crecimiento de una población bacteriana. Tomado y acoplado de *Revista NOVA*, por (Caycedo et al., 2021).

- **Fase de latencia:** consiste en un periodo de adaptación de las bacterias al nuevo medio.
- **Fase de crecimiento exponencial:** las células se dividen a una velocidad constante, provocando el crecimiento exponencial de la biomasa.
- **Fase estacionaria:** se da cuando el sustrato empieza a agotarse, la cantidad de células muertas compensa a las células nuevas (González et al., 2022).
- **Fase de muerte:** también llamada lisis, debido a que no existe adición de sustrato, el número de células que mueren excede al de células nuevas.

- **Fase endógena:** esta fase es ocasional, la velocidad de disminución de la población se reduce debido a que las células muertas aportan de sustrato para que se produzca la división de células que sobreviven (Caycedo et al., 2021).

Sin embargo, el ritmo al que se multiplican las células se conoce como la tasa específica de crecimiento. Esta tasa se puede calcular de dos maneras: una es contando el número de veces que las células se dividen en un periodo específico, y la otra es mediante el cálculo del inverso del tiempo que toma para que una generación de células se divida (Tandazo, 2020). Para describir matemáticamente este comportamiento de crecimiento celular, se utiliza un modelo ideado por Thomas Malthus que proporciona un marco para entender y predecir la dinámica de la división celular bajo ciertas condiciones (Gallegos, 2020).

$$dk$$

$$dk = \mu d$$

Donde:

μ: coeficiente cinético de crecimiento específico [tiempo^{-1}].

k: concentración de microorganismo [masa / unidad de volumen].

d: tiempo.

También, Monod presentó una expresión para definir el efecto de un sustrato o nutriente limitante sobre el crecimiento específico bacteriano.

$$\boldsymbol{\mu} = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S}$$

Donde:

$\mu_{máx}$: coeficiente de crecimiento específico máximo [tiempo^{-1}].

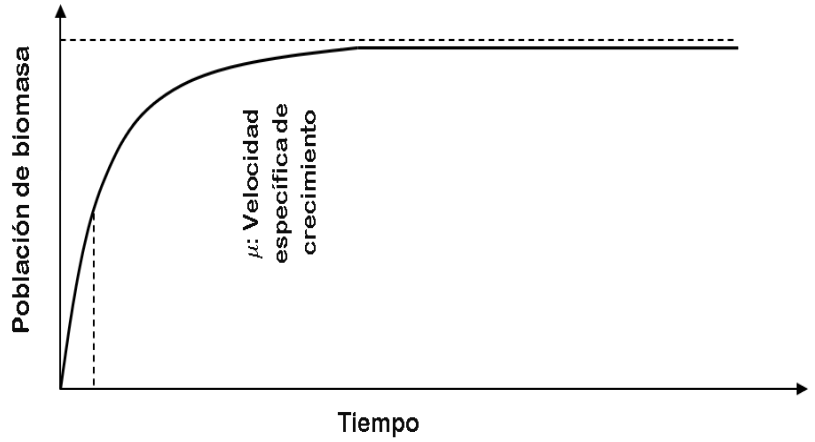
S: concentración de sustrato limitante en solución la [masa / unida de volumen].

K_S: constante de semi-saturación; es decir concentración de S a la cual μ es la mitad de $\mu_{máx}$ [masa/volumen] (Martínez, 2020).

El modelo matemático de crecimiento microbiano de Monod describe la observación general de que la velocidad específica de crecimiento es casi linealmente dependiente de la concentración de sustrato para los rangos más bajos y aproximadamente independiente para las concentraciones más altas (Gallegos, 2020).

Figura 2

Constante de velocidad media de Monod



Nota. La figura muestra la velocidad de crecimiento microbiano en relación al tiempo empleado. Tomado de *Revista de Investigaciones Altoandinas*, por (Colque et al., 2023).

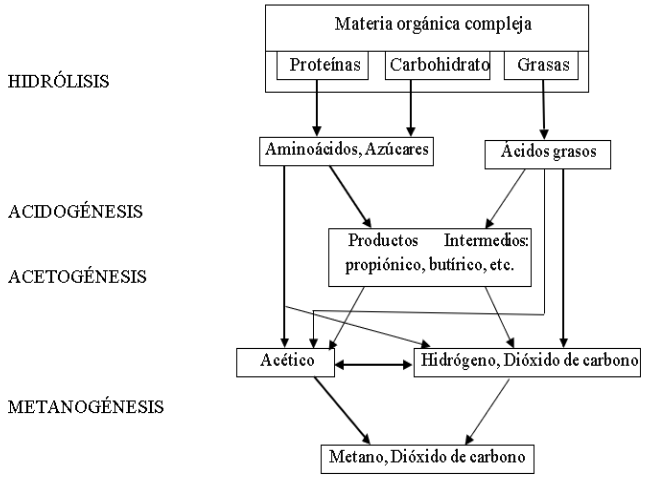
2.3. Proceso de biodigestión anaeróbica

La digestión anaeróbica se refiere a un proceso biológico que ocurre espontáneamente, en el cual diversas bacterias desintegran materia orgánica en un ambiente desprovisto de oxígeno (Ariza et al., 2019). Este proceso implica la actuación de bacterias especializadas que son capaces de llevar a cabo su función metabólica en ausencia de oxígeno, descomponiendo compuestos orgánicos (Ariza et al., 2019).

García et al. (2020), sobre la digestión anaeróbica, menciona que existe cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, a cetogénesis y metanogénesis (en la que se produce biogás con 60% metano y 40% de dióxido de carbono).

Figura 3

Degradación anaeróbica de la materia orgánica



Nota. Se indica las etapas de la degradación de la materia orgánica.

La fase de hidrólisis, también conocida como licuefacción en el proceso de digestión anaeróbica, se caracteriza por la ruptura de polímeros orgánicos complejos, como proteínas, carbohidratos y grasas (Ariza et al., 2019). Este proceso es llevado a cabo por microorganismos aeróbicos facultativos esenciales para descomponer y simplificar la materia orgánica compleja en componentes más básicos, como Alcides, y diversas bacterias celulíticas, entre las que se incluyen *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Thermomonospora, Ruminococcus, Bacteroides, Erwinia, Acetovibrio, Microbispora y Streptomyces* (Estrada & Weber, 2022).

El paso de la degradación en la etapa de hidrólisis de la materia orgánica cruda se da de la siguiente manera:

Proteínas - aminoácidos lípidos (grasas) - ácidos grasos carbohidratos - azúcares.

$$C_6H_{10}O_5NH_3 \rightarrow C_6H_{10}O_5 + NH_3$$

La hidrolización en la digestión anaeróbica ocurre gracias a las exoenzimas que son secretadas por las bacterias. Este proceso se ve influenciado en gran medida por varios factores ambientales y de los sustratos involucrados (Navarrete, 2020). Entre estos factores se encuentran el pH del medio, la temperatura, la naturaleza específica de la materia orgánica presente, y el tamaño de las partículas de esta materia, estos elementos juegan un papel crucial en la eficiencia y el ritmo de la reacción de hidrolización (Arcila, 2023).

2.3.1. Acidogénesis

En la acidogénesis los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis, son convertidos en ácidos orgánicos de cadenas cortas y alcoholes provocados por la intervención de endoenzimas; los ácidos grasos más relevantes son: ácido acético (CH_3COOH), propiónico (CH_3CH_2COOH), butírico ($CH_3CH_2CH_2COOH$), y etanol (C_2H_5OH), estos compuestos son productos de la fermentación generada por los microorganismos *Clostridium*, *Acetobacterium*, *Clostridium*, *Sporomusa*, *Clostridium*, *Butyribacterium* (Fernández, 2023).

La reacción acetogénesis mediante Robles (2023), se la conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, se define la acetogénesis mediante la ecuación:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

En la etapa final de la digestión anaeróbica, conocida como metanogénesis, Fernández (2023), señala que se produce metano (CH_4) principalmente a través de la descomposición del ácido acético o mediante la reacción de mezclas de hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2). Además, este metano puede generarse a partir de otros sustratos, incluyendo el ácido fórmico y el metanol.

Según la investigación de Vázquez (2020), las bacterias metanogénicas pueden ser *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* y *Methanosarcina*. Por tanto, la reacción metanogénica se expresa:

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

$$2C_2H_5OH + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Donde el ácido acético (CH_3COOH) mediante el proceso de digestión anaeróbica, se transforma en metano (CH_4) y agua (H_2O). La biodigestión anaeróbica es un proceso que se puede llevar a cabo en distintos rangos de temperatura, clasificados en tres categorías principales (Gómez et al., 2022).

La primera, conocida como rango psicrófilo, ocurre a temperaturas inferiores a 20 ºC. La segunda categoría, el rango mesófilo, se sitúa entre los 25 ºC y 40 ºC. Finalmente, el rango termófilo abarca temperaturas más elevadas, de 50 ºC a 70 ºC. Cada uno de estos rangos de temperatura influye de manera significativa en el proceso de biodigestión, afectando tanto la actividad de las bacterias involucradas como la eficiencia del proceso (Saidakbarovich, 2021; Solano et al., 2022).

2.4. Factores que influyen en la biodigestión anaeróbica

2.4.1. Temperatura

Uno de los desafíos principales en el proceso de biodigestión anaeróbica es mantener una temperatura constante dentro del digestor para crear un entorno propicio que favorezca el crecimiento y la actividad de las bacterias en la formación de gas metano (García et al., 2020). En este proceso, operan principalmente en dos rangos de temperatura: el mesofílico, que va de 30 ºC a 40 ºC, y el termofílico, que oscila entre 50 ºC y 60 ºC, es importante tener en cuenta que estos rangos de temperatura pueden variar dependiendo del tipo específico de bacterias metanogénicas (Gómez et al., 2022).

Tabla 1

Temperatura para el desarrollo de las baterías metanogénicas

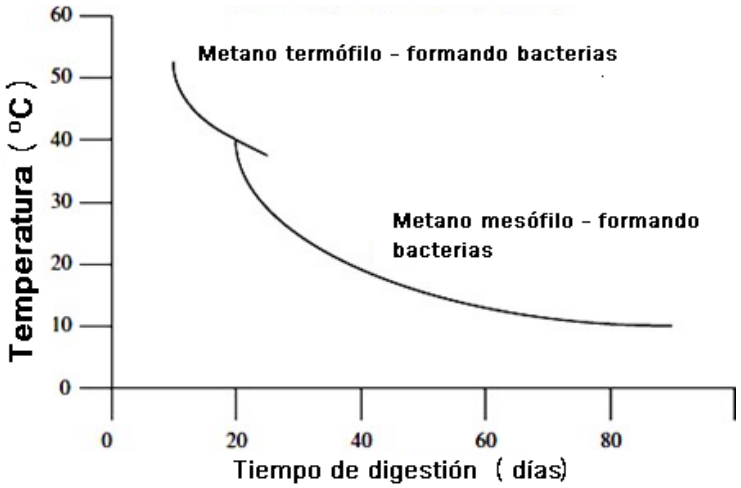
Grupo de bacteria	Temperatura ºC
Psicrófilo	5 a 25
Mesófilo	30 a 35
Termófilo	50 a 60
Hipertermófilo	> 65

Nota. Se muestra las diferentes temperaturas para el desarrollo de diferentes grupos de bacterias en la obtención de gas metano. Tomado y modificado de *Universidad Distrital*, por (Español & Osorio, 2022).

La producción de metano se desarrolla a través de una relativa amplia gama de valores de temperatura. La mayoría de los digestores anaeróbicos, especialmente aquellos en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, operan en el rango mesofílico de temperatura (Colque et al., 2023).

Figura 4

Rangos de temperatura de producción del metano



Nota. Rangos de temperatura de la producción de metano en dos fases: termófilo y mesófilo. Tomado de *Published by Jhon Wiley & Sons*, por (Gerardi, 2003).

Según la FAO (2019), debido a este proceso se entiende que la temperatura es uno de los factores de mayor importancia que afectan a la actividad microbiana dentro de un biodigestor; por lo que la producción de metano es fuertemente dependiente de la temperatura. La temperatura también afecta el desarrollo de las bacterias formadoras de ácidos volátiles (bacterias acetanogénicas).

2.4.2. Tiempo de retención

Existen dos tiempos de retención en los biodigestores anaeróbicos: tiempo de retención de sólidos (TRS), que es el tiempo promedio en que las bacterias (sólidos) están en el digestor y el tiempo de retención hidráulico (TRH) que hace referencia al tiempo en que las aguas residuales o lodo están en el digestor anaeróbico. Para un digestor sin recirculación, estos tiempos son iguales (Colque et al., 2023).

Si se presenta reciclaje en el digestor, estos tiempos pueden variar de forma significativa (Camarena et al., 2023). Los TRS típicos para los digestores anaeróbicos son mayores a 12 días, siendo este tiempo de mayor importancia que el TRH y que no es afectado por la naturaleza de las aguas residuales o lodos, a menos que tengan elementos tóxicos para las bacterias (Guerra & Páez, 2022). El TRS afecta a la población bacteriana y a la capacidad del volumen del digestor. El TRH afecta a la conversión de sólidos volátiles en productos gaseosos (Colque et al., 2023).

2.4.3. Nutrientes

Se ha determinado dos tipos de nutrientes para el desarrollo de bacterias en el tratamiento biológico, Altamirano & Alvarado (2023); Véliz & Seni (2022), mencionan a los macronutrientes y micronutrientes como los fundamentales para este proceso de biodigestión.

Macronutrientes

Los macronutrientes, como el nitrógeno y el fósforo según Di (2020), son cruciales para el funcionamiento óptimo de las bacterias, ya que las necesitan en cantidades significativas. En un digestor anaeróbico, garantizar el suministro adecuado de estos nutrientes es fundamental para mantener un rendimiento eficiente. Los investigadores Huayapa & Riveros (2022), aluden que existen dos enfoques para gestionar esto: uno implica asegurar la presencia adecuada de estos nutrientes en el material que se introduce en el digestor, añadiendo más si es necesario; el otro implica monitorear y ajustar las concentraciones de estos nutrientes en el efluente del digestor, agregando más si las concentraciones son bajas. Es crucial mantener un nivel óptimo de nitrógeno, ya que esto afecta directamente la velocidad de producción del proceso.

Micronutrientes

Los micronutrientes, como el cobalto, hierro, níquel y sulfuro, son requeridos en menores cantidades; pero son requeridos de forma obligatoria por las bacterias metanogénicas. La presencia adecuada de estos micronutrientes ayuda a minimizar los trastornos que se presentan en el biodigestor ocasionados por la acumulación de ácidos grasos volátiles (Di, 2020).

El cobalto juega un rol crucial en el proceso de biodigestión anaeróbica, actuando como un activador de los sistemas enzimáticos de las bacterias metanogénicas. Su presencia contribuye a una conversión más eficiente del acetato en metano (García et al., 2020). Por otro lado, el hierro, aunque esencial, presenta dificultades en su asimilación por parte de las bacterias formadoras de metano, ya que necesita estar en solución, una condición que no se cumple fácilmente en el entorno natural de estas bacterias. Además, una deficiencia de níquel en el digestor puede llevar a una disminución notable en la tasa de producción de metano, afectando negativamente la eficiencia de la conversión enzimática del acetato a metano (Di, 2020; Gallegos, 2020).

2.4.4. Alcalinidad y pH

La presencia de suficiente alcalinidad en un digestor anaeróbico es fundamental para mantener un control adecuado del pH, actuando como un "amortiguador" que evita fluctuaciones abruptas en este parámetro. Esto es crucial, ya que tanto la actividad enzimática como el rendimiento general del digestor son sensibles a variaciones en el pH (Caballero, 2021). Las bacterias acetogénicas indican un desarrollo de actividad óptima en un ambiente con un pH superior a 6,50, mientras que las bacterias metanogénicas requieren un pH mayor a 6,20 para funcionar eficientemente. En general, la mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan de manera eficaz en un rango de pH entre 6,80 y 7,20 (Saidakbarovich, 2021).

La alcalinidad es el resultado de la liberación de grupos amino (-NH2) y producción de amoníaco (NH_3) cuando los residuos proteicos se degradan. La alcalinidad está presente principalmente en la forma de bicarbonatos que están en equilibrio con el dióxido de carbono en el biogás a un pH dado. Los compuestos orgánicos cuando se degradan liberan dióxido de carbono (Granzotto et al., 2023). Cuando los aminoácidos y las proteínas son degradadas, el dióxido de carbono y amoniaco se liberan. La relación de los resultados de dióxido de carbono en la producción de ácido carbónico, la alcalinidad de bicarbonato, y la alcalinidad de carbonato están dadas en la siguiente ecuación (Alvarado, 2022).

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO^- \leftrightarrow H^+ + CO^{2-}$$

La relación de los resultados de amoniaco en la producción de iones de amonio mediante la ecuación:

$$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$$

El balance de pH o alcalinidad en un digestor anaeróbico es resultado de la interacción entre varios componentes químicos. Este equilibrio se establece entre el ácido carbónico, la alcalinidad proveniente de bicarbonatos y carbonatos, y los iones de amonio y amoniaco (Marín, 2021). Estos elementos pueden introducirse a través de la alimentación de sustratos o como resultado de la producción de compuestos ácidos y alcalinos durante la descomposición de materia orgánica (Alvarado, 2022).

El proceso de degradación de estos compuestos orgánicos conlleva la liberación de nitrógeno y la producción de dióxido de carbono, factores que también influyen en el pH del sistema (Di, 2020). Es importante tener en cuenta que los valores óptimos de pH

varían según el tipo específico de bacterias metanogénicas presentes en el proceso, como se detalla en la (Marín, 2021).

Tabla 2

pH óptimo de algunas bacterias metanogénicas

Género	pH
Methanosphaera	6,80
Methanothermus	6,50
Methanogenium	7,00
Methanolacinia	6,60 – 7,20
Methanomicrobium	6,10 – 6,90
Methanospirillium	7,20 – 7,50
Methanococcoides	7,01 – 7,46
Methanohalobium	6,50 – 7,50
Methanolobus	6,51 – 6,78
Methanothrix	7,12 – 7,78

Nota. Los valores óptimos de pH varían según el tipo específico de bacterias metanogénicas presentes en el proceso. Tomado de *Universidad de Cundinamarca*, por (Marín, 2021).

Para mejorar los valores de pH y alcalinidad se suele adicionar bicarbonato de sodio y bicarbonato de potasio debido a su solubilidad, fácil manipulación y no ocasiona mayores efectos negativos en el digestor (Montes & Pocasangre, 2019).

2.4.5. Toxicidad

La toxicidad en el biodigestor puede ser causada por una variedad de desechos inorgánicos y orgánicos; como alcoholes, amoniaco, inhibidores químicos empleados como conservantes de alimentos, hidrocarburos clorados, cianuro, detergentes, desinfectantes, metales pesados, oxígeno y productos farmacéuticos (Roldán et al., 2022). Es importante mencionar que todo digestor tiene cierto grado de toxicidad por la ausencia de hidrógeno, ausencia de metano, disminución de alcalinidad y pH, aumento de la concentración de ácido volátil (Chamoro, 2022).

2.4.6. Agitación

La agitación en reactores anaeróbicos es un factor clave para optimizar la eficiencia de la producción porque se facilita el contacto entre el sustrato fresco y las bacterias, lo que es esencial para el proceso (Rueda, 2021). Este mecanismo también previene la formación de espuma o capas superficiales sólidas, reduce la sedimentación de partículas y ayuda a mantener una temperatura homogénea en todo el reactor, evitando así la estratificación térmica (Montes & Pocasangre, 2019).

En el proceso de agitación es recomendable que las palas utilizadas para la agitación estén hechas de materiales como acero inoxidable o PVC, para resistir la corrosión causada por el ácido sulfhídrico (Cortez & Serrano, 2023). Además, se aconseja que estas palas giren a velocidades bajas, en torno a 30 RPM (revoluciones por minuto), para ser efectivas sin ser disruptivas (Montes & Pocasangre, 2019).

2.4.7. Otros factores

También se conoce sobre los factores importantes para que el desarrollo de la biodigestión anaeróbica sea exitoso. La relación de carbono y nitrógeno C: N cuyo valores óptimos son de 20 a 30 (Marín, 2021). Además, el estiércol y rumen de vaca cumplen con el rango para el proceso de biodigestión anaeróbica, no así la sangre que se encuentra por debajo del rango especificado, C: N = 4. Otros factores son el pH alrededor de 5,00 a 6,50 para la acidogénesis y alrededor de 6,60 para la metanogénesis, DQO (demanda química de oxígeno), tiempo de retención que varía del tipo de reactor y de la mezcla pudiendo ser de 10 a 60 días, y porcentaje de humedad de 30% a 95% según los autores (Galarza, 2020; Roldán et al., 2022).

2.5. Aproximaciones teóricas de la producción de biogás

Los desechos orgánicos pueden emplearse para la producción de biogás, trabajos desarrollados presentan una aproximación de esta producción que es un proceso sostenible que aprovecha los residuos orgánicos para generar energía renovable, reduciendo al mismo tiempo la contaminación ambiental y los impactos negativos asociados con la gestión de residuos orgánicos (Alcalde & Cubas, 2020).

Tabla 3

Biogás esperado de desechos

Desecho de matadero	Gas total [m^3/kg]	Metano [m^3/kg]
Excremento	0,20 a 0,40	0,10
Sangre	0,16	0,08
Víscera	0,09	0,04
Contenido intestinal	0,47	0,35

Nota. Los desechos orgánicos del matadero bobino presenta un % significativo de biocombustible. Tomado de *Universidad de Ciencias Pedagógicas*, por (Galarza, 2020).

Las ecuaciones estequiométricas propuestas por Buswell, son útiles para predecir teóricamente la producción de metano en la fermentación de diversos sustratos. Estas ecuaciones toman en cuenta la cantidad de carbono, hidrógeno y oxígeno (representados por n, a y b respectivamente) presentes en las moléculas de la materia orgánica que está siendo degradada (Darré, 2020).

Tabla 4

Cálculo del porcentaje de metano de materia orgánica

Materia	Fórmula química	Resultado de la reacción	% CH_4
Lípidos	$C_{57}H_{104}O_6$	$28H_2O + 17CO_2 + 40CH_4$	70,20
Proteínas	$C_5H_7O_2$	$2H_2O + 2CO_2 + 3CH_4$	57,54
Carbohidratos	$C_6H_{10}O_5$	$H_2O + 3CO_2 + 3CH_4$	50,05

Nota. Los porcentajes de metano de la materia orgánica en lípidos, proteínas y carbohidratos son abundantes. Tomado y modificado de *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, por (Martin & Castañeda, 2021).

2.5.1. Caracterización y la biodigestión anaerobia en desechos orgánicos

Los métodos de caracterización de los desechos orgánicos están tomando nuevos matices, que consiste en analizar física y químicamente los desechos para conocer la humedad, la cantidad de sólido volátil, la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno y los componentes químicos (Vega & Silva, 2020).

La caracterización de los desechos, según Marín (2021); Pazmiño (2022) son importantes para calcular la cantidad y composición de biogás producido en el proceso de digestión anaeróbico siendo el pH alrededor de 7 y la relación carbono-nitrógeno C: N de 10 a 30.

Tabla 5

Rangos de C: N, nitrógeno y fósforo en residuos bovinos

Residuo	C/N	N[g/kgS]	P[g/kgSV]
Estiércol de vaca	15 – 25	60 – 90	10 – 25
Rumen de vaca	15 – 25	60 – 90	10 – 20
Sangre de vaca (Oriente)	10 – 20	90 – 140	10 – 20
Sangre de vaca (Altiplano)	10 – 20	90 – 140	10 – 15
Residuo de mercado	15 – 30	50 – 80	10 – 20

Nota. La tabla indica los porcentajes de C: N, nitrógeno y fósforo presentes en el residuo bovino. Tomado y modificado de *ESPE*, por (Arellano & Calle, 2014).

Se han empleado inóculos preparados con baterías desarrolladas para la biodigestión en la etapa metanogénicas, a pesar de esto la cantidad de agua que debe tener la mezcla para la biodigestión se producen con la menor presencia de agua (Pazmiño, 2022). Sin embargo, lo más efectivo es aplicar alrededor del 30% al 50% de agua por lo que se ha obtenido resultados positivos al implementar un proceso de preparación previa de los desechos antes de someterlos a biodigestión (Marín, 2021).

2.6. Biodigestores

Un biodigestor, utilizado para procesar desechos orgánicos es un recipiente sellado, hermético y a prueba de fugas, construido con una variedad de materiales como vidrio, cerámica, plástico o metal. En su interior se coloca material orgánico para fermentar, como residuos animales o humanos y desechos vegetales, mezclados en una proporción específica con agua (Ramos et al., 2021). Este entorno facilita la fermentación anaeróbica, resultando en la producción de gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, este proceso ayuda a reducir el impacto contaminante de los excrementos (Cruz & Egas, 2023).

2.6.1. Biodigestores de flujo discontinuo

Conocidos como biodigestores batch o intermitentes, son sistemas que permiten la producción de biogás a partir de materia orgánica mediante un proceso de fermentación anaeróbica (Moposita, 2022). En este tipo se carga la totalidad del material a fermentar al inicio del proceso hasta finalizar el proceso, cuando se realiza la descarga del efluente. Por lo general, es mayormente utilizado en pruebas de laboratorio para realizar nuevos análisis del proceso o comportamiento de elementos a fermentar (Navarrete, 2020).

2.6.2. Biodigestores de flujo semicontinuo

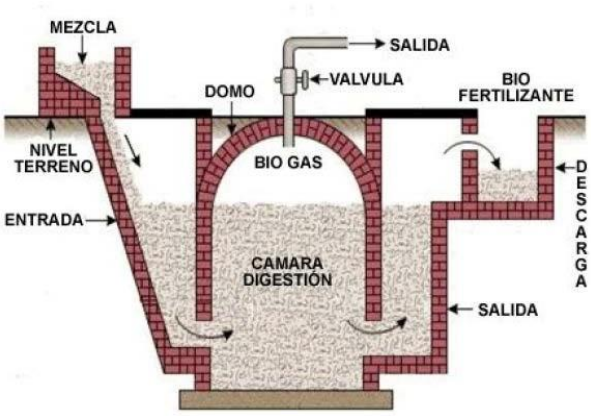
Moposita (2022), indica que la carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realizan de manera continua o por pequeños baches, que puede ser cada día o cada 12 horas mientras dure el proceso. Estos modelos son los mayormente difundidos a nivel mundial, y los más empleados en las zonas rurales, entre ellos se tienen:

De cúpula fija, modelo chino

El digestor está construido por ladrillos, piedra y hormigón; la superficie interior es cubierta por una capa delgada de mortero o cemento para hacerlo firme (Figura 5). El gas producido es guardado o almacenado en la cúpula, como la cúpula es fija, los volúmenes del efluente varían debido a la presión variable desarrollada por la producción de metano con valores alrededor de 1 y 1,5 m de agua (1 metro de agua = 0,09670 atmósferas).

Figura 5

Biodigestor de cúpula fija



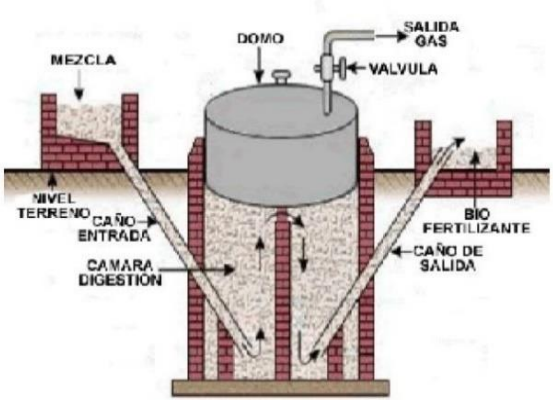
Nota. Cámara de digestión con cúpula fija, biodigestores anaeróbicos utilizando tecnológica combinada de biomasa y solar térmica para el montaje de un novedoso y autosustentable sistema de generación de energía. Tomado de *Revista Científica de FAREM-Estelí,* por (Reyes, 2018).

De cúpula móvil o domo flotante

El modelo opera a presión constante. El digestor se alimenta una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantiene a condiciones óptimas de operación.

Figura 6

Biodigestor de domo flotante



Nota. Biodigestores anaeróbicos utilizando tecnológica combinada de biomasa y solar térmica para el montaje de un novedoso y autosustentable sistema de generación de energía. Tomado de *Fundación Universidad de América*, por (Hernández & Ramírez, 2019).

2.6.3. Biodigestores de flujo continuo

En este tipo de biodigestor la carga se mantiene de forma regular. Se requiere que la biomasa a procesar esté diluida antes de la alimentación para que facilite la circulación. Se usan generalmente para tratamiento de aguas residuales y su producción de Biogás es mucho mayor (Martín, 2020). Un biorreactor anaeróbico debe ser diseñado para soportar una carga orgánica elevada de manera constante y sostenible. Además, se enfatiza la importancia de un corto período de retención hidráulica, con el objetivo de maximizar la producción de metano, por lo que el diseño busca optimizar la eficiencia y productividad del biorreactor (Hernández & Ramírez, 2019).

Tabla 6

Tipos de digestores anaeróbicos conforme a su característica

Característica	Aplicación
Sistema de crecimiento bacteriano	Suspendido Fijo
Temperatura	Psicrofílico Mesofílico Termofílico
Configuración	Simple etapa (fase), Doble etapa (fase)

Nota. Comparación de una variedad de nuevos diseños de biorreactores que se han desarrollado en los últimos años. Tomado de *Universidad del Bío-Bío*, por (Martin, 2020).

2.7. Biogás

El biogás resulta del proceso metabólico en el cual la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno. Este gas se compone principalmente de metano y dióxido de carbono, aunque contiene otros compuestos en menores cantidades. El metano, componente clave del biogás, es un combustible que posee un valor calórico que oscila entre 4700 y 5500 kilocalorías por metro cúbico (Zelaya, 2022).

Tabla 7

Propiedades del biogás

Propiedad	CH_4	CO_2	H_2-H_2S	otros	Biogás 60/40
% volumen	55 – 70	27 – 44	1	3	100
Valor calórico (kcal/m^3)	8600	---	2581	5258	5140
Ignición % aire	5 – 15	---	---	---	6 – 12
Temperatura ignición (°C)	650 – 750	---	---	---	650 – 750
Presión crítica (MPa)	4,71	7,50	1,20	8,9	7,50 – 8,90
Densidad nominal (g/l)	0,72	1,90	0,08	---	1,20
Densidad relativa	0,55	2,51	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad vol. % aire	5 – 15	---	---	---	6 – 12

Nota. Las propiedades del biogás fuente de energía versátil y sostenible con diversas aplicaciones. Tomado de *Universidad Andina Simón Bolívar*, por (Espinosa, 2021).

El biogás es un combustible renovable que se produce mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas, estiércol animal, lodos de depuradoras de aguas residuales, restos de alimentos y otros materiales biodegradables. La proporción de metano en el biogás determina su calidad y su potencial energético, ya que el metano es el componente principal que se quema para generar energía (Chamorro, 2019; Cho et al., 2020).

- **Fuente de energía renovable:** el biogás es una fuente de energía renovable que puede ser utilizada para generar electricidad y calor, sustituyendo a combustibles fósiles como el gas natural o el petróleo (FAO, 2019).
- **Gestión de residuos:** el proceso de producción de biogás permite tratar y valorizar residuos orgánicos, reduciendo la contaminación ambiental y los problemas asociados con la acumulación de desechos.
- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:** al capturar y utilizar el metano producido durante la descomposición de materia orgánica, el biogás contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a mitigar el cambio climático (Zelaya, 2022).
- **Beneficios económicos:** la producción y utilización de biogás pueden generar ingresos adicionales para los agricultores, empresas de tratamiento de residuos y comunidades locales a través de la venta de electricidad, la reducción de costos energéticos y la generación de empleo (Martin, 2020).

Tabla 8

Componentes del biogás

Componente	Rangos (%)
Metano (CH_4)	55 a 70
Anhídrido carbónico (CO_2)	35 a 40
Nitrógeno (N_2)	0,58 a 4,86
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	0,10
Hidrógeno (H_2)	1 a 3

Nota. Los componentes del biogás principalmente son el metano y el dióxido de carbono. Tomado y modificado de *Instituto Politécnico Nacional*, por (Zelaya, 2022).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en los Laboratorios de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar - Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente y en los laboratorios de E.P – EMAPA-G Guaranda y en el Camal de San José de Chimbo.

3.1.1. Localización de la investigación

Tabla 9

Localización de la investigación

Ubicación	Localidad
Provincia	Bolívar
Cantón	San José de Chimbo
Parroquia	Chimbo, cabecera cantonal
Sector	Camal municipal
Dirección	San José de Chimbo (vía Guaranda-Chimbo Km. 2 ½)

3.1.2. Situación geográfica y climática de la localidad

Tabla 10

Aspectos generales del territorio

Parámetros	Valores
Altitud promedio	2750 msnm
Latitud	01º 36' 52" sur
Longitud	78º 59' 54" oeste
Temperatura máxima	21 ºC
Temperatura mínima	7 ºC
Temperatura media	14,40 ºC
Precipitación media anual	980 mm

Nota. Tomado de Estación Meteorológica Laguacoto II. UEB 2023.

3.1.3. Zona de vida

La ubicación del lugar donde se desarrolló la investigación se encuentra en la zona de vida según Holdridge, L. bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

3.2. Metodología

3.2.1. Material en estudio

- Residuo orgánico del camal el cual es una mezcla de sangre, vísceras y agua utilizada en la limpieza.

3.2.1.1. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación
- Filtros de papel
- Piseta
- Probeta
- Crisoles y tapas
- Pipeta con pera
- Sellador de goma
- Tapas de aluminio
- Frascos de color ámbar de 311 ml
- Sellador
- Espátulas
- Pinzas
- Guantes de látex
- Guantes de resistencia a temperaturas de hasta 1000 °C

3.2.1.2. Materiales de campo

- Plástico, tubos, codos, uniones, T para manguera y manguera de agua PVC
- Pegamento (Goma Blanca, Flex tape), pistola de silicona, tijera, cuchillo
- Cinta industrial, chova, marcador
- Metro, plomada, piola, teflón, fósforos
- Abrazaderas, clavos, desarmador, rosca universal y matillo
- Caucho de bicicleta y automóvil
- Plástico de invernadero

- Madera, serrucho
- Carretilla, azadón, pala, machete
- Tina de 250 l, baldes de 20 l

3.2.1.3. Equipos

Tabla 11

Equipos utilizados en la experimentación

Nombre	Marca	Función
Incubadora-Esterilizador	Nplus / sfplus – memmert	• Esterilizar • Secar • Incubar biodigestores
Mufla	F47915 Thermo scientific	• Incineración de muestras orgánicas para los análisis
Balanza analítica	DHAUS (0,001 g)	• Pesar muestras
Medidor de gases	Biogás 5000 Gas Analyser	• Medición de CH_4 • Medición de CO_2
Manómetro-termómetro	OHM HD 2124,2	• Medición de presión de 10 a 500 bar
Potenciómetro	HACH HQ 40D	• Lecturas de pH y conductividad
Cámara extractora de gases	-	• Extraer gases luego de su medición CH_4 - CO_2
Espectrofotómetro	HANNA	• Identificar los diferentes análisis químicos: As, Ni, Ca, Cl, DQO, Na, SO4, K
Extractor de soxhlet	LAB CLASS	• Extracción de compuestos mediante la utilización de disolventes.
Fotómetro	HANNA	• Medir los fotones en un haz de luz.

Nota. La ubicación de estos equipos se encuentra distribuidos en el Laboratorio del Departamento de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

3.2.2. Factores en estudio

Para la presente investigación sobre la evaluación de biogás en un biodigestor tipo Batch, se consideró como factores de estudio al Factor A: Residuos orgánicos del camal, Factor B: Tiempo de residencia hidráulica y Factor C: Temperatura.

Tabla 12

Factores de estudio para la investigación

Factores	Código	Nivel
Residuos orgánicos del camal	A	a_1: 5% CS – 95% H_2O a_2: 15% CS – 85% H_2O
Tiempo de residencia hidráulica	B	b_1: 20 días b_2: 30 días
Temperatura	C	c_1: 14 ºC c_2: 20 ºC

Nota: CS: concentración de sólidos.

3.2.3. Tratamientos

Los tratamientos constituyen la combinación de cada uno de los niveles de los factores A, B y C aplicados en la investigación.

Tabla 13

Tratamientos de estudio

Tratamiento	Niveles			Interacciones		
	A	B	C	A	B	C
1	5% CS - 95% H_2O	20 días	14 °C	-1	-1	-1
2	15% CS - 85% H_2O	30 días	20 °C	1	-1	-1
3	5% CS - 95% H_2O	20 días	14 °C	-1	1	-1
4	15% CS - 85% H_2O	30 días	20 °C	1	1	-1
5	5% CS - 95% H_2O	20 días	14 °C	-1	-1	1
6	15% CS - 85% H_2O	30 días	20 °C	1	-1	1
7	5% CS - 95% H_2O	20 días	14 °C	-1	1	1
8	15% CS - 85% H_2O	30 días	20 °C	1	1	1

3.2.4. Características del experimento

Tabla 14

Características de la experimentación

Características del diseño experimental	
Factores experimentales	3
Factor A	2
Factor B	2
Factor C	2
Réplicas	3
Unidades experimentales	24
Tamaño de la muestra	250 g
Variable respuesta	2

Nota. Las variables respuestas son: rendimiento de CH_4 y volumen de gas.

3.2.5. Tipo de diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 2^k, donde se estudia el efecto de tres factores con dos niveles cada uno (2^3 = 2x2x2) con 3 repeticiones a nivel de laboratorio.

$$\boldsymbol{Y_{ijk}} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ: media general del experimento.

α_i: efecto debido al i-ésimo nivel del factor A.

β_j: efecto del j-ésimo nivel del factor B.

γ_k: efecto del j-ésimo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}$: efecto de interacción doble en los niveles *ij*, *ik*, *jk*.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: efecto de interacción triple en la combinación *ijk*.

ε_{ijk}: error aleatorio en la combinación *ijk*.

3.2.5.1. Modelo de análisis de varianza ANOVA

Tabla 15

Modelo ANOVA para el diseño experimental 2^3

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_o	Valor-p
A	SC_A	1	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0)$
B	SC_B	1	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0)$
C	SC_C	1	CM_C	CMC/CM_E	$P(F > F_0)$
AB	SC_{AB}	1	CM_{AB}	$CMAB/CM_E$	$P(F > F_0)$
AC	SC_{AC}	1	CM_{AC}	$CMAC/ CM_E$	$P(F > F_0)$
BC	SC_{BC}	1	CM_{BC}	$CMBC/CM_E$	$P(F > F_0)$
ABC	SC_{ABC}	1	CM_{ABC}	CM_{ABC}/CM_E	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	$2^3(n-1)$	CM_E		
Total	SC_T	$n2^3-1$			

Nota. Tomado de *Análisis y diseño de experimentos*, por (Gutiérrez & Salazar, 2008).

Sean A, B y C los factores que se quieren estudiar y sean (*I*), a, b, ab, c, ac, bc y abc, los totales observados en cada uno de los ocho tratamientos escritos en su orden estándar. Los efectos en este diseño se pueden calcular a partir de:

$$contraste\ A = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$contraste\ B = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$contraste\ C = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$contraste\ AB = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c]$$

$$contraste\ AC = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$contraste\ BC = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

$$contraste\ ABC = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

3.2.5.2. Estimación del error estándar de un efecto

El CM_{error} es una estimación de su desviación estándar, y ésta a su vez es una estimación de la variación muestral o experimental que tiene dicho estimador. Así, en el diagrama de Pareto estandarizado se grafica la estimación de los efectos estandarizados:

$$efecto\ estadarizado = \frac{efecto}{\sqrt{\frac{CM_{error}}{n2^{k-2}}}}$$

Donde:

CM_E: cuadrado medio del error.

n: número de observaciones.

3.3. Manejo de la investigación

A continuación, se presenta las diferentes metodologías que se aplicó para realizar la presente investigación:

3.3.1. Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos

Tabla 16

Parámetros del análisis físico y proximal

Parámetros	Unidad de medida	Método
Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3:2023
Ceniza	%	UNE-EN ISO 18122:2022
Conductividad eléctrica	uS/cm	Conductivimétrico
Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123:2023
Temperatura	ºC	Calculo (termómetro)
pH	-	pH-metro de electrodo
Materia seca	%	Calculada
Sólidos totales	mg/l	Gravimétrico

3.3.2. Análisis elemental de los desechos orgánicos

El análisis elemental se refiere a la determinación de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S) en una muestra. Comúnmente, se utiliza la técnica de microanálisis elemental aplicando la Norma UNE-EN ISO 15104, que consiste en quemar completamente la muestra en presencia de oxígeno para convertir todos los elementos en sus formas gaseosas detectables: CO_2, H_2O, N_2, y SO_2.

3.3.3. Análisis químico de los desechos orgánicos.

- **Caracterización de la materia prima, residuos de podas**

Para este parámetro se tomó datos y porcentajes a partir de referencias bibliográficas, ya que las podas se las adiciono al conocer los análisis planteados de la materia prima, por lo que la relación C: N era muy baja para poder obtener biogás en condición anaerobia.

Tabla 17

Parámetros del análisis físico y proximal

Parámetro	Unidad de medida	Método
Grasa y aceite	mg/l	Extracción de Soxhlet
Arsénico	mg/l	Espectrofotómetro
Niquel	mg/l	Espectrofotómetro
Calcio	mg/l	Espectrofotómetro
Cloro active	mg/l	Espectrofotómetro
DBO5	mg/l	Fotométrico
DQO	mg/l	Espectrofotómetro
Sodio	mg/l	Espectrofotómetro
Cromo hexavalente (Cr^{+6})	mg/l	Espectrofotómetro
Sulfato	mg/l	Espectrofotómetro
Potasio	mg/l	Espectrofotómetro

3.3.4. Preparación de los biodigestores a nivel laboratorio

Para este estudio se utilizó 24 prototipos con 8 tratamientos y 3 repeticiones de las cuales se realizaron 12 prototipos a 20 °C por 20 días y 30 días, y los otros 12 prototipos a 14 °C por 20 días y 30 días, cada uno cuenta con un volumen total de 311 ml y para el montaje se tomó en cuenta la relación 80% de sustrato y 20% de gas, cabe indicar que los prototipos son de una sola carga, la descarga se la realizó una vez que haya dejado de producir gas.

Para sellar los prototipos de biodigestores se utilizó un tapón de goma y para evitar fugas de gas se colocó arandelas metálicas que rodea todo el tapón en la entrada del biodigestor fijando las arandelas con un sellador industrial. Para la medición de los gases generados en los biodigestores se utilizó una válvula de 3 vías como se muestra en la siendo la vía inferior (1) la salida del gas, la vía superior (2) fue dirigida para la medición de presión y la vía lateral (3) se usó a medir el volumen de gas generado en el digestor.

3.3.5. Diseño del biodigestor tubular

- **Relación C/N**

La relación entre el carbono y el nitrógeno del sustrato a digerir se encuentre entre 20:1 y 30:1. Esta relación tomará distintos valores en función a la clase de material que se introduzca e incluso, en ocasiones, podrá variar en el caso de que fueran distintas muestras de un mismo material. Para el cálculo de la relación C: N es necesario determinar el carbono orgánico total, para lo cual se lleva a cabo oxidaciones catalíticas a altas temperaturas de la muestra. El nitrógeno total se analiza mediante el método Kjeldahl.

$$\frac{C}{N} = 20 = \frac{Mpo \times \%S.T \times C + Mpcésped \times \%ST \times C}{Mpo \times \%S.T \times N + Mpcésped \times \%ST \times N}$$

Donde:

Mpo: peso de la materia prima orgánica.

$Mpcésped$: peso de la materia prima césped.

$S.T$: porcentaje de sólidos totales.

C: porcentaje de carbono.

N: porcentaje de nitrógeno

- **% Concentración de la mezcla**

Una buena dilución de la mezcla asegura que el biodigestor funcione de manera continua, evitando bloqueos por exceso de materiales sólidos en el mismo. La dilución recomendada es de 0,5% a 10% del total de sólidos, por lo que la cantidad de agua necesaria se estima mediante la siguiente ecuación:

$$\%CM = \frac{M\ prima\ seca}{M\ prima\ total} \times 100$$

Donde:

$M\ prima\ seca$: peso de la Mpo más peso de la Mp césped.

$M\ prima\ total$: la suma total de Mpo más Mp césped.

Y para reducir el porcentaje de la concentración de la mezcla al 10% utilizamos la ecuación:

$$10 = \frac{Mps}{Mpt + W} \times 100$$

Donde:

Mps: peso de la Mpo más peso de la Mp césped.

Mpt: la suma total de Mpo más Mp césped.

W: agua (H_2O).

- **Carga Diaria**

La carga diaria es la cantidad de sustrato y agua que se mezclan para meter en el biodigestor cada día, para los cálculos se hace referencia a 1 kg de estiércol con 1 litro de estiércol, entonces la CD se calcula mediante la ecuación:

$$CD = Mpo + Mp\ césped + w\left(\frac{L}{dia}\right)$$

Donde:

Mpo: peso de la materia prima orgánica.

$Mp\ césped$: peso de la materia prima césped.

w: agua.

Para el volumen líquido se calcula con la ecuación:

$$VL = CD \times TR \rightarrow 30dias$$

Donde:

CD: carga diaria.

TR: tiempo de retención.

Los biodigestores tubulares deberían operar con una proporción de 80% volumen de líquido (sustrato) y 20% de volumen del gas, entonces se calcula el volumen total con la ecuación:

$$VT = VL + VG$$

Para calcular el volumen del gas tenemos:

$$VG = \frac{VL}{4}$$

Donde:

VL: volumen líquido.

VG: volumen de gas.

- **Diseño del biodigestor**

Para el diseño de un biodigestor debe definirse la relación optima entre la longitud (L) y el diámetro (D), para lo cual aplicamos:

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

Donde:

π: constante de pi.

r^2: radio al cuadrado.

L: longitud.

3.3.5.1. Adaptación para residuos porcinos del camal de San José de Chimbo

Considerando que el camal en cuestión maneja exclusivamente porcinos, la naturaleza y consistencia de los residuos a procesar serán relativamente homogéneas, influyendo directamente en las dimensiones y operación del biodigestor. La cantidad de residuos

generados, su composición y la deseada capacidad de producción de biogás y biol deben ser determinantes en la selección del volumen del biodigestor. Es pertinente aquí recalcar que la densidad y composición de los desechos porcinos pueden requerir ajustes en las dimensiones y proporciones presentadas previamente.

3.3.5.2. Diseño de la zanja para el biodigestor

Las dimensiones de la zanja necesitarán ser adaptadas basadas en las condiciones del suelo de San José de Chimbo, las cuales se tomará en cuenta una perspectiva sobre la inclinación del talud (ángulo α) y las dimensiones: ancho superior [a], ancho inferior [b] y profundidad [p], pueden ser diseñadas para diferentes suelos y ángulos de inclinación.

3.3.6. Modelos matemáticos para el rendimiento y volumen de CH_4

Los datos obtenidos de la cantidad de rendimiento y volumen de CH_4 en un intervalo de tiempo de 1 día, se los ajustó a ocho modelos matemáticos que nos explican el crecimiento microbiano del sustrato.

Tabla 18

Modelos matemáticos de crecimiento microbiano

Modelo	Ecuación
Monod	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}$
Teissier	$u = u_{max}\left(1 - e^{\frac{-t}{k_s}}\right)$
Gompertz	$u = u_{max} - e^{(-e^{-k_s t+b})}$
Moser	$u = \frac{u_{max} * t^n}{k_s + t^n}$
Haldane	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t + t^2 * k_i}$
Hinshelwood	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}(1 + k_i)$
Powell	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t + k_i}$
Logistic Law	$u = u_{max} * \left(1 - \frac{t}{k_s}\right)$

La relación de los modelos de crecimiento está dada por, u: velocidad especifica de crecimiento, u_{max}: coeficiente de crecimiento específico máximo, k_s, b: constante de velocidad de crecimiento, *t*, *n*: concentración del sustrato resultante (tiempo empleado) y k_i: constante de velocidad de crecimiento máxima.

3.3.7. Análisis químico del biol

Para detectar los macronutrientes y micronutrientes presentes en el biol se utilizó la Normativa INEN NTE211:98 Primera revisión, para ello se tomará en consideración al mejor tratamiento que mayor porcentaje y volumen de CH_4 presente.

Tabla 19

Parámetros químicos de calidad del biol

Parámetros	Método	Unidad de medida
Nitrógeno total	AN-EMAPAG-50	%
Fósforo	AN-EMAPAG-58	mg/kg
Potasio	AN-EMAPAG-64	mg/kg

3.3.8. Análisis costo de producción de biogas y biol

Costo total (CT). el costo total se compone de dos partes: costo de inversión (CI) y costo operativo (CO). Entonces:

$$CT = CI + CO$$

Donde:

CI: es todo lo que gastas para poner en marcha tu proyecto.

CO: incluye todos los gastos para mantenerlo en funcionamiento.

Beneficio Total (BT). sumamos el valor económico de los productos generados (biogás y biol) y restamos el costo total.

$$BT = (PBiogas * VB) + (PBiol * VBiol) - CT$$

Beneficio neto (BN). este sería simplemente el beneficio total menos el costo total.

$$BN = BT - CT$$

Retorno de la inversión (ROI). porcentaje de la inversión inicial hemos recuperado (o ganado) a través de los beneficios netos:

$$ROI = (BN / CI) * 100$$

Periodo de retorno de la inversión (PRI). nos indica cuánto tiempo tardaremos en recuperar nuestra inversión inicial:

$$PRI = CI / BN$$

3.4. Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva diferencial, análisis de varianza, coeficiente de regresión, optimización de respuesta, gráfico de Pareto estandarizado, graficas de interacciones y grafica de superficie de respuesta con ayuda del software Statgraphics, modelos matemáticos con STATISTICA y Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los desechos orgánicos del camal

Se detallan los datos obtenidos del análisis físico y químico de los desechos orgánicos del camal que fueron realizados en el Laboratorio de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

4.1.1. Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos

Tabla 20

Análisis físico y proximal de los desechos orgánicos

Parámetro	Resultado	Método
pH	7,85	pH-metro de electrodo
Conductividad eléctrica (uS/cm)	458,62	Conductivimétrico
Temperatura (ºC)	14,74	Calculada (termómetro)
Materia seca (%)	20,98	Calculada
Humedad (%)	79,02	UNE-ISO 18134-3
Volátiles (%)	95,79	UNE-ISO 18123
Cenizas (%)	5,35	UNE-ISO 18122
Sólidos totales (mg/l)	2000	Gravimétrico

La tabla 20 enseña los valores del análisis físico y proximal realizado a los desechos orgánicos del camal del Cantón San José de Chimbo.

El valor de pH 7,85 del residuo indica que la muestra se encuentra ligeramente alcalina. Aguilar (2020), reportó un pH similar de 7,58 en el análisis de residuos orgánicos. Por otros autores Bayas & García (2022), reportaron un pH superior alejados a la neutralidad de 8,52 y 9,05 en residuos orgánicos de una finca ganadera.

La conductividad eléctrica resultante fue de 458,62 uS/cm, este valor es similar al reportado por Jordán & Pizarro (2020) con 453,05 uS/cm. Sin embargo, Vallejo & Yumbay (2021) reportaron un valor inferior de 401,55 uS/cm de conductividad eléctrica en sus residuos orgánicos.

Se consiguió un resultado de 14,74 ºC en la medición de la temperatura, que podría considerarse dentro de un rango normal para ambientes acuáticos. En las investigaciones de Jordán & Pizarro (2020), presentaron una temperatura mínima de 24,20 ºC y máxima de 30,18 ºC en sus residuos. Sin embargo, Bayas & García (2022), reportaron una temperatura de 31,33 ºC.

El 20,98% de materia seca obtenida indica que la composición significativa de sólidos orgánicos permite una óptima circulación de fluidos y facilitando el contacto entre los microorganismos y el sustrato orgánico. Espuelas (2023); Jordán & Pizarro (2020), mencionan la importancia de este parámetro en el proceso de biodigestión, porque influye en la producción de biogás, la eficiencia del proceso, calidad del digestato y la sostenibilidad del sistema de biodigestión. Por ello, es esencial monitorear y controlar adecuadamente los niveles de materia seca en los sustratos utilizados en los biodigestores.

La humedad alcanzada fue de 79,02%, este valor es inferior al reportado por Jordán & Pizarro (2020), quienes reportaron una humedad de 95,00% en sus residuos orgánicos bovinos. Por otro lado en las investigaciones de Arízaga & Fernández (2023); Bayas & García (2022), consiguieron valores inferiores de humedad de 58,00% y 36,55% respectivamente.

La cantidad de volátiles obtenido fue del 95,79% este valor al ser contrastado con Boggiano (2021); Jiménez (2021), es superior por lo que informan valores de 70,65% y 86,05% de volátiles en sus residuos orgánicos respectivamente. Los valores obtenidos por Vallejo & Yumbay (2021), son similares por lo que presentan valores de 39,15%, 76,05%, 78,95% y 80,52% en el análisis de sus residuos orgánicos para la producción de biogás.

En cenizas se reportó 5,35%, en el análisis de ceniza presentado por Espuelas (2023), se informó 0,97% de ceniza de residuos bovinos. En la investigación de Jiménez (2021), se consiguió valores superiores de 6,64% y 23,67% de ceniza.

Se obtuvo 2000 gm/l en el análisis de sólidos totales. Pérez & Velandia (2020), consiguieron un valor superior de 5700 gm/l y 5545 gm/l de sólidos totales en la obtención de biogás y Muñoz et al. (2021), con 4511 gm/l en sólidos totales de residuos orgánicos. Aguilar (2020), informó un valor similar de 2422 gm/l de sólidos totales. Sin embargo los valores encontrados por Espuelas (2023), son inferiores con 1744 gm/l en el análisis de sólidos totales.

4.1.2. Análisis elemental de los desechos orgánicos

Tabla 21

Análisis elemental de los desechos orgánicos

Parámetro	Resultado	Método
Carbono (%)	17,81	UNE-EN-15104
Hidrógeno (%)	9,13	
Oxígeno (%)	65,42	
Nitrógeno (%)	2,25	
Azufre (%)	0,04	
Ratio carbono/nitrógeno	7,91	

La tabla 21 indica los valores obtenidos conforme a los análisis elementales del desecho orgánico realizo mediante el método UNE-EN-15104 para CHONS.

Para este análisis se puede mencionar que Espuelas (2023), encontró un valor superior de 39,15% en carbono, valores inferiores de 5,48% para hidrógeno, 55,38% en oxígeno y 0% para nitrógeno y azufre. De igual forma, los autores Alba & Quilo (2023), reportaron valores superiores de 39,41% en carbono, valores inferiores de 6,50% en hidrógeno, 0,71% en nitrógeno y 0% para oxígeno y azufre. Marques (2020), reporto datos superiores de carbono 42,1%, y un valor inferior en hidrógeno de 1,3%, nitrógeno 0,77% y azufre 0,05%. En la investigación de Sánchez et al. (2023), reportan un valor superior de 38,48% en carbono, 2,55% en hidrógeno, 17,06% en carbono/nitrógeno y valores inferiores en oxígeno con 0,60%. En otros estudios realizados por Barnossi et al. (2021); Rojas & Flórez (2019), reportaron resultados superiores en carbono con 56,05% y 49,14%, azufre 0,61% y 0,41% y valores inferiores en hidrógeno con 6,02% y 1,30% respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio no difieren con los resultados reportados por los autores mencionados.

4.1.3. Análisis químico de los desechos orgánicos

Tabla 22

Análisis químico de los desechos orgánicos

Parámetro	Resultado	Límite máximo	Método
Grasa y aceite (mg/l)	10,62	11,9	Extracción de Soxhlet
Arsénico (mg/l)	0,11	0,26	Espectrofotómetro
Niquel (mg/l)	0,98	1,02	Espectrofotómetro
Calcio (mg/l)	15,36	---	Espectrofotómetro
Cloro activo (mg/l)	0,11	0,50	Espectrofotómetro
DBO5 (mg/l)	4500	---	Fotométrico
DQO (mg/l)	9280	---	Espectrofotómetro
Sodio (mg/l)	0,21	0,55	Espectrofotómetro
Sulfato (mg/l)	400	1000	Espectrofotómetro
Cromo hexavalente (Cr^{+6}) (mg/l)	0,39	0,50	Espectrofotómetro
Potasio (mg/l)	1,02	2,37	Espectrofotómetro

En la tabla 22 se muestra los resultados encontrados en relación al análisis químico de los desechos orgánicos del camal de San José de Chimbo.

En la investigación de Bonilla et al. (2020), reportaron valores de 1,16 mg/l en calcio, 2,37 mg/l en potasio, 0,55 mg/l en sodio y 542 mg/l en sulfato. Moisés et al. (2022), encontraron valores de 11,71 mg/l para grasa, 0,77 mg/l para níquel, 0,16 mg/l para sodio, 0,26 mg/l para arsénico y 1,88 mg/l para potasio. Por otro lado Biyada et al. (2020), reportaron valores significativos de 0,44 (mg/l) en cromo hexavalente, 3422 mg/l en DBO5, 7589 mg/l en DQO y 0,16 mg/l en cloro activo. Cabe mencionar que los datos reportados se encuentran dentro de los límites máximos permitidos.

El índice de biodegradabilidad (DBO5/DQO) es fundamental para optimizar el proceso de biodigestión, desde la selección de sustratos hasta el diseño y operación del digestor, pasando por la maximización de la producción de biogás y la gestión eficiente de residuos (Bhatt & Tao, 2020). La relación DBO5/DQO reportada es de 0,48 este valor nos facilitó conocer y controlar la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de la biodigestión. El índice

de biodegradabilidad superior a 0,46 indica una concentración satisfactorio para tratarse en sistemas convencionales como son las fosas sépticas y biodigestores, para lo cual sería de fácil remoción por acción bacteriana y oxigenación adecuada (Sánchez & García, 2018).

- **Residuos de podas (CHON-ST-SV)**

Para incrementar el proceso de biodigestión se modificó la relación C: N=20 con adición de podas, sin embargo, cabe mencionar que no se realizó una caracterización de su composición, este análisis fue realizado a través de revisión de literatura científica.

Tabla 23

Composición elemental de residuos de poda

Elemento	Resultado
Temperatura (ºC)	24,34
Carbono (%)	51,17
Hidrógeno (%)	6,29
Oxígeno (O)	41,15
Nitrógeno (mg/g)	0,86
Humedad (%)	36,07
Sólidos totales (%)	63,93
Sólidos volátiles (%)	100,00
Fosfato (mg/g)	1,22

Nota. La tabla indica presenta la composición elemental de residuos de podas. Tomado de *CRAI UAO*, por (Aponza, 2019).

4.1.4. Cantidad de residuos orgánicos generados por el camal

El número de animales faenados proporciona una estimación directa de la biomasa disponible para los procesos de biodigestión. En el camal de San José de Chimbo la variabilidad semanal en el número de animales procesados impacta la cantidad y la calidad de los residuos orgánicos generados, los cuales pueden utilizarse como insumo para la producción de biogás.

La integración de datos estadísticos del número de animales faenados porcinos en el diseño y operación de biodigestores permite una gestión más eficiente de los residuos de la industria cárnica, y también una producción de biogás más sostenible y predecible. Esto contribuye al desarrollo de un sistema de biodigestión que maximiza la conversión de residuos en energía, alineándose con los principios de economía circular.

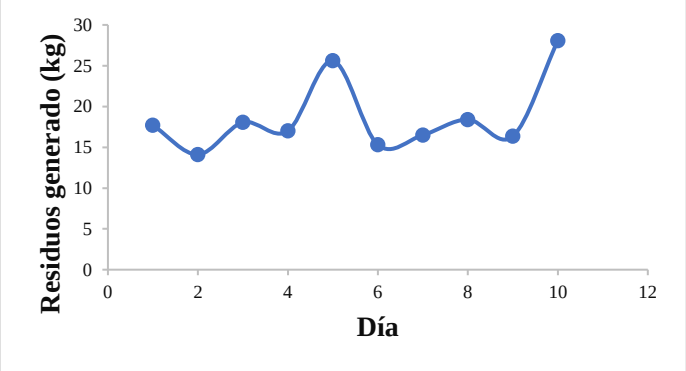
Tabla 24

Cantidad de residuos generados por el camal en kg

Día	Animales faenados	Residuo generado (kg)
1	8	17,70
2	5	14,12
3	8	18,05
4	7	17,00
5	12	25,60
6	6	15,30
7	7	16,50
8	8	18,40
9	7	16,35
10	14	28,06
Total	82	187,08
Promedio por día		18,55
Promedio por semana		92,75

Figura 7

Cantidad de residuos orgánicos generados por día



4.2. Proporción óptima de la composición de la biomasa

Para la producción de CH_4 y biol, se precisaron las condiciones óptimas del proceso de biodigestión anaerobia, para un tiempo de retención hidráulica de 30 días, presión de 0,74 atmosferas y una temperatura de 20 ºC. Sin embargo, los residuos orgánicos del camal no cumplen con la relación C: N, la misma que se ajustó a una relación C: N = 20 mediante la adición de residuos de podas. De esta manera se alcanzó generar biogás sobre el 50 % de CH_4 requerido en estos procesos y un biol con macronutrientes dentro de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98.

4.2.1. Resultados de la cantidad alcanzada de CH_4 (%)

Tabla 25

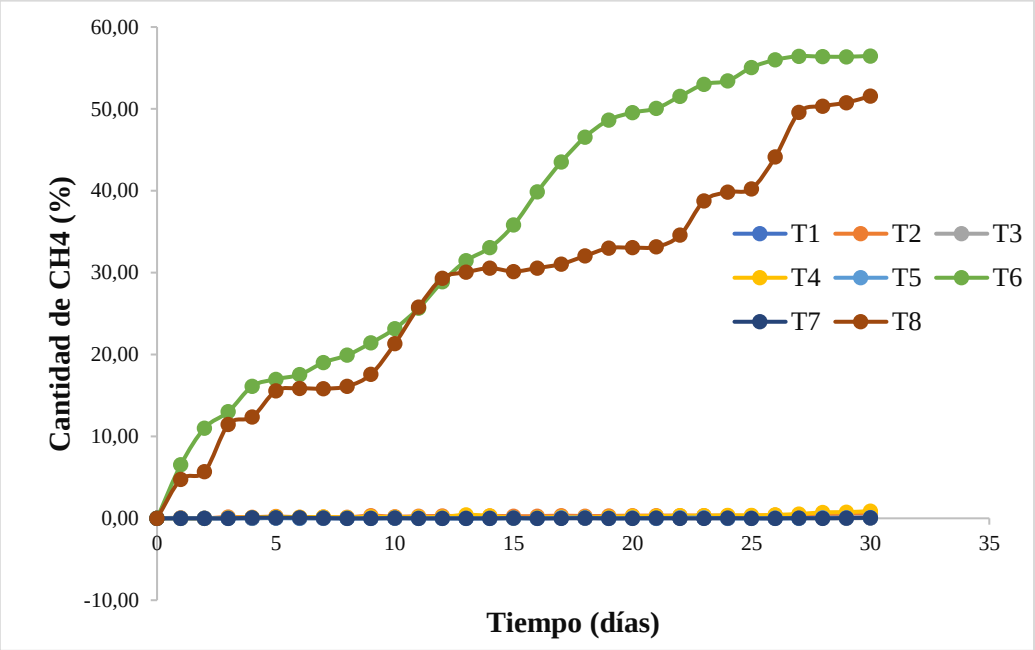
Valores obtenidos de la cantidad de CH_4

Tiempo (día)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	6,54	0,00	4,77
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,03	0,00	5,70
3	0,00	0,17	0,00	0,07	0,00	13,02	0,00	11,47
4	0,00	0,13	0,00	0,10	0,03	16,13	0,07	12,37
5	0,07	0,23	0,03	0,17	0,03	16,99	0,07	15,57
6	0,03	0,13	0,00	0,13	0,00	17,55	0,07	15,87
7	0,00	0,17	0,00	0,17	0,03	19,03	0,03	15,83
8	0,00	0,13	0,00	0,10	0,00	19,93	0,00	16,13
9	0,00	0,33	0,00	0,20	0,00	21,43	0,00	17,60
10	0,03	0,20	0,00	0,13	0,03	23,17	0,03	21,33
11	0,00	0,27	0,00	0,17	0,00	25,67	0,00	25,80
12	0,00	0,28	0,00	0,17	0,00	28,89	0,00	29,33
13	0,00	0,30	0,00	0,43	0,00	31,46	0,00	30,06
14	0,00	0,30	0,00	0,30	0,00	33,06	0,00	30,54
15	0,03	0,27	0,00	0,07	0,03	35,83	0,03	30,15
16	0,00	0,27	0,00	0,10	0,00	39,89	0,00	30,57
17	0,03	0,33	0,03	0,17	0,07	43,52	0,00	31,06
18	0,03	0,28	0,00	0,13	0,07	46,56	0,03	32,05
19	0,00	0,30	0,00	0,17	0,00	48,65	0,00	33,01
20	0,03	0,33	0,00	0,27	0,03	49,55	0,00	33,05

21	0,00	0,34	0,00	0,26	0,00	50,07	0,03	33,16
22	0,03	0,34	0,00	0,32	0,07	51,55	0,00	34,59
23	0,03	0,34	0,00	0,32	0,07	53,01	0,00	38,77
24	0,00	0,34	0,00	0,37	0,00	53,43	0,03	39,85
25	0,03	0,33	0,00	0,36	0,00	55,07	0,00	40,25
26	0,00	0,40	0,00	0,43	0,03	55,99	0,00	44,13
27	0,03	0,40	0,00	0,53	0,00	56,44	0,03	49,57
28	0,05	0,46	0,00	0,73	0,07	56,38	0,00	50,33
29	0,05	0,57	0,00	0,76	0,07	56,37	0,04	50,77
30	0,07	0,57	0,03	0,88	0,10	56,47	0,07	51,57

Figura 8

Valores obtenidos de la cantidad de CH_4



En la tabla 25 y figura 8 se muestra los valores de CH_4 de los tratamientos, se evidencia que el tratamiento T6 y T8 presentan mayor concentración de CH_4 a lo largo del tiempo con 56,46% y 51,57% respectivamente, lo que indica potencial para optimización. Cabe resaltar que los tratamientos restantes presentan poca o ninguna producción de metano, resaltando la importancia de la selección de biomasa y el ajuste de parámetros operacionales para mejorar la eficiencia de la biodigestión.

Los datos indican que los tratamientos T6 y T8 han logrado optimizar la producción de gas metano, alcanzando concentraciones significativamente altas hacia el final del período de observación. Esta tendencia propone que la composición de la biomasa y las condiciones controladas como temperatura, presión, tiempo de retención hidráulica en estos tratamientos son particularmente favorables para la biodigestión.

4.2.2. Resultados del volumen de gas producido (ml)

Tabla 26

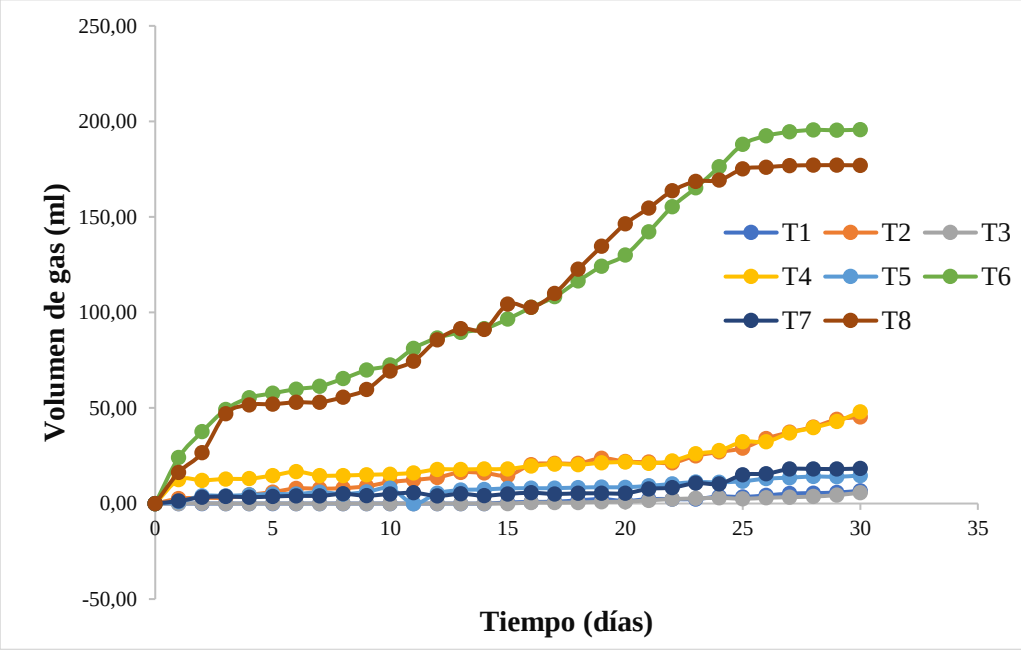
Valores obtenidos del volumen de gas producido

Tiempo (día)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	0,00	2,55	0,00	12,46	0,86	24,16	1,33	16,33
2	0,00	2,99	0,11	12,16	4,00	37,65	3,33	26,67
3	0,00	3,02	0,00	12,85	4,03	49,25	3,67	47,00
4	0,00	4,55	0,00	13,00	4,53	55,34	3,33	51,67
5	0,00	6,02	0,05	14,67	5,00	57,68	3,67	52,00
6	0,00	7,89	0,00	16,67	4,95	59,89	4,05	53,00
7	0,00	7,80	0,00	14,67	5,96	61,37	4,02	53,00
8	0,00	8,03	0,00	14,67	5,00	65,36	5,05	55,67
9	0,00	9,06	0,00	15,07	6,05	69,89	4,12	59,67
10	0,01	11,26	0,01	15,37	8,00	72,55	5,03	69,33
11	0,00	12,33	0,00	16,06	0,00	81,25	5,62	74,56
12	0,00	13,67	0,00	17,85	5,33	86,66	4,02	85,67
13	0,00	16,33	0,00	17,85	7,06	89,54	5,05	91,54
14	0,00	16,00	0,00	18,03	7,36	91,46	4,12	91,06
15	0,55	14,67	0,00	18,11	7,95	96,55	5,03	104,33
16	0,85	20,33	0,48	19,67	8,00	102,67	5,62	102,67
17	0,96	21,00	0,45	20,67	8,05	108,25	5,01	110,00
18	1,67	21,00	0,56	20,33	8,37	116,54	5,33	122,67
19	2,33	23,67	0,89	21,33	8,54	124,24	5,33	134,67
20	1,33	22,00	0,99	21,67	8,53	130,01	5,33	146,33

21	2,33	21,67	1,67	21,00	9,25	142,26	7,67	154,67
22	2,33	21,33	2,33	22,33	10,25	155,36	8,33	163,67
23	2,33	25,00	2,67	26,00	11,26	165,26	10,67	168,54
24	3,67	27,00	2,97	27,67	11,06	176,25	10,33	169,25
25	3,46	29,00	2,48	32,33	11,67	187,95	15,03	175,13
26	4,27	34,00	3,00	32,33	13,03	192,46	15,62	176,06
27	5,20	37,33	3,33	37,00	13,52	194,55	18,07	176,85
28	5,46	40,00	3,67	39,67	14,15	195,54	18,14	177,06
29	5,76	44,00	4,42	43,00	14,00	195,36	18,03	177,11
30	6,67	45,33	5,67	48,00	14,67	195,67	18,33	177,00

Figura 9

Valores obtenidos del volumen de gas producido



En la tabla 26 y figura 9 se muestra los valores del volumen de gas producido de los tratamientos, de igual forma se evidencia que el Tratamiento T6 y T8 presentan mayor concentración a lo largo del tiempo con 195,66 ml y 177,00 ml respectivamente, lo que indica potencial para optimización.

Cabe resaltar que los tratamientos restantes presentan poca o ninguna producción de metano, resaltando la importancia de la selección de biomasa y el ajuste de parámetros operacionales para mejorar la eficiencia de la biodigestión.

4.2.3. ANOVA del rendimiento del gas metano a partir de residuo orgánicos

El gas metano (CH_4), obtenido a partir de los residuos orgánicos con la adición de podas, en relación C: N=20, ayudó a tener un mayor rendimiento por lo que los tratamientos varían en diferentes composiciones de biomasa, condiciones iniciales de presión atmosférica y tiempo de retención hidráulica.

Tabla 27

Anova del rendimiento del metano CH_4

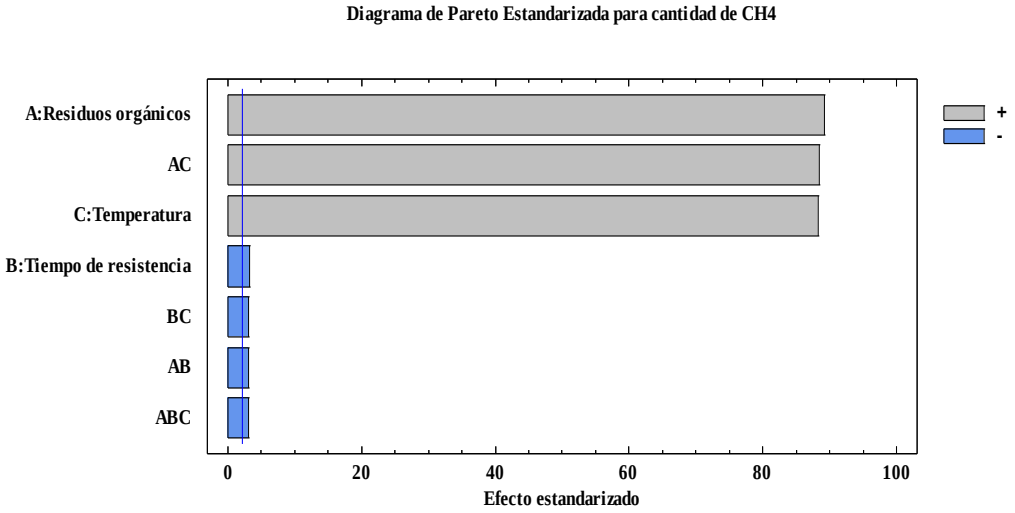
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Residuos orgánicos	4496,34	1	4496,34	7958,97	0,000 **
B: Tiempo de residencia	6,10	1	6,10	10,80	0,005 **
C: Temperatura	4403,75	1	4403,75	7795,07	0,000 **
AB	5,51	1	5,51	9,75	0,008 **
AC	4409,17	1	4409,17	7804,66	0,000 **
BC	5,70	1	5,70	10,10	0,007 **
ABC	5,51	1	5,51	9,75	0,008 **
Error total	7,91	14	0,56		
Total (corregido)	13342,00	23			

Nota. **: diferencia altamente significativa.

La tabla 27 ANOVA, indica la variabilidad del gas metano (CH_4), separado por los diferentes niveles de cada factor en estudio. Se evidencia diferencia altamente significativa de cada efecto, donde se muestra que 7 de ellos presentan un valor-p menor que 0,05 demostrando que todos los tratamientos son significativamente diferentes unos de otros en relación a los valores reportados de gas metano con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 10

Diagrama de Pareto estandarizada para el rendimiento de gas metano



La figura 10 indica los valores primordiales de la diferencia significativa, demostrando que los niveles del Factor A ayudan a proporcionar mayor cantidad de metano, sin embargo, cabe resaltar que la temperatura cumple un papel fundamental durante esta descomposición por lo que al combinar los efectos del Factor A y Factor C el incremento de gas metano es muy eficaz.

4.2.4. Coeficiente de regresión y optimización de respuesta del rendimiento

Tabla 28

Valores de estimación para el coeficiente de regresión del rendimiento

Coeficiente	Estimado
Constante	13,73
A: Residuos orgánicos	13,69
B: Tiempo de residencia	-0,50
C: Temperatura	13,55
AB	-0,48
AC	13,55
BC	-0,49
ABC	-0,48

La tabla 28 indica el despliegue de la ecuación de regresión la cual se ajusta a los datos obtenidos sobre el gas metano, se muestra la siguiente ecuación:

$$CH4 = 13{,}7292 + 13{,}6875 * A - 0{,}504167 * B + 13{,}5458 * C - 0{,}479167 * A * B + 13{,}5542 * A * C - 0{,}4875 * B * C - 0{,}479167 * A * B * C$$

Para lo cual los valores se ajustan a R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,90% y un error estándar de 0,75%, demostrando un equilibrio óptimo durante el incremento del gas metano en relación al tiempo y temperatura.

Tabla 29

Optimización de respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Residuos orgánicos	-1	1	1
Tiempo de residencia	-1	1	-1
Temperatura	-1	1	1

Valor óptimo = 56,4667%.

La tabla 29 indica la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la cantidad de CH_4 sobre la región indicada, donde el punto óptimo del gas metano es de 56,46% que corresponde a la combinación de los niveles 1, -1, 1 (15% Concentración de sólidos + 85% H_2O + 20 días + 20 °C).

Figura 11

Gráfico de efectos principales para el rendimiento de gas metano

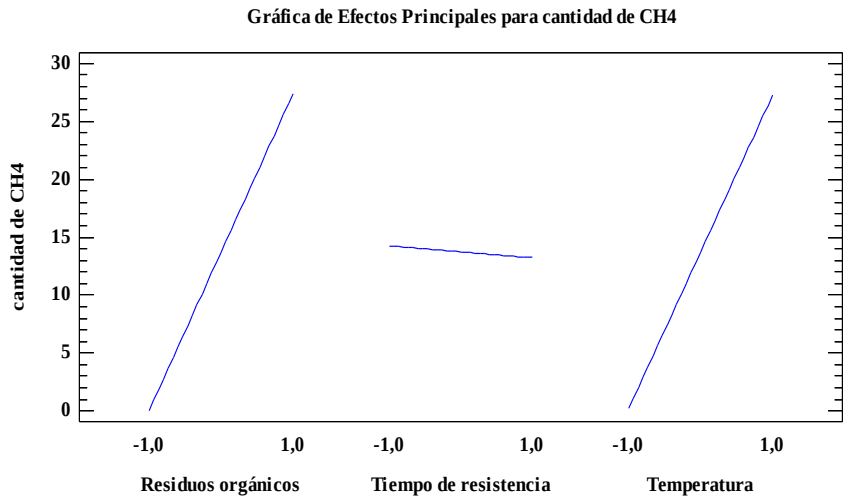
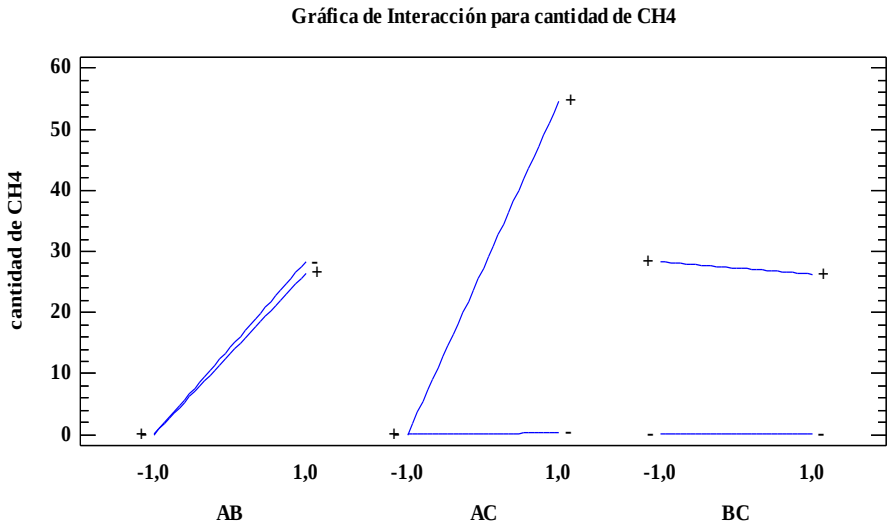


Figura 12

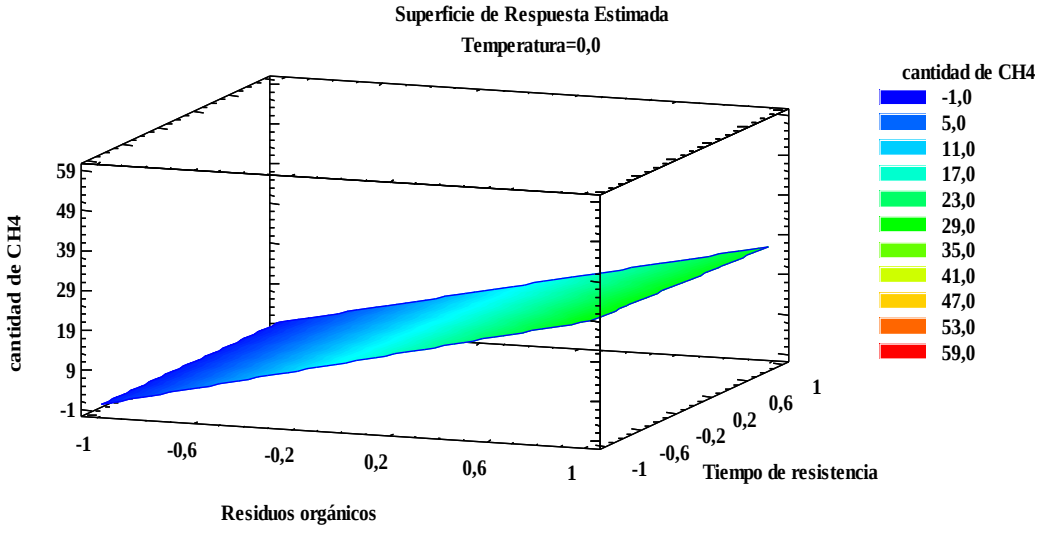
Gráfico de interacción para el rendimiento de gas metano



Las figuras 11 y 12, demuestran los efectos principales e interacciones de cada efecto principal en donde se observa que el Factor A y Factor C en la obtencion de gas metano son indicios de un mayor rendimiento de la misma. Por otro lado la interacción 1, -1, 1 ($a_2b_2c_2$), correspondiente a la combinación de 15% CS + 85% H_2O + 20 días + 20 °C es la óptima por lo que representa un valor de 56,46% de gas metano.

Figura 13

Superficie de respuesta estimada del rendimiento de gas metano



La figura 13 muestra la pronosticación de la superficie de respuesta estimada del Factor A, Factor B y Factor C sobre el rendimiento del gas metano indicando que la cantidad de CH_4 inicial es de -1,00% y logra alcanzar un estimado de rendimiento de máximo de 59,00% con la combinación de los niveles de cada factor mencionado.

4.2.5. Anova del volumen de gas metano a partir de residuos orgánicos

De acuerdo al proceso de biodigestión se realizó una toma de muestras para determinar el volumen que se va consiguiendo, es importante mencionar que este volumen va en relación al rendimiento del CH_4 obtenido. La relación C: N = 20, ayudó a incrementar un volumen de 12,33 ml, hasta alcanzar un volumen máximo de 195,66 ml

Tabla 30

Anova del volumen de gas producido

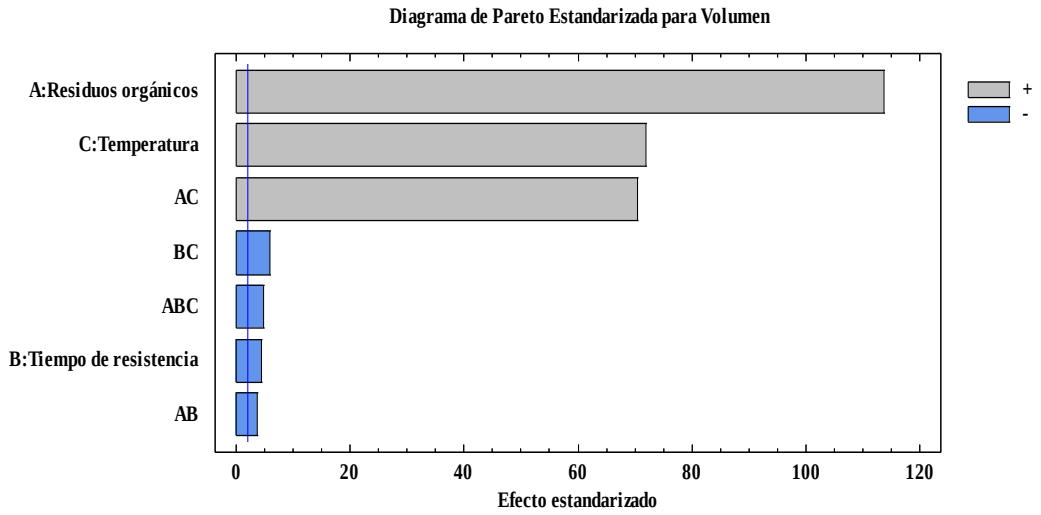
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Residuos orgánicos	74705,00	1	74705,00	12911,98	0,000 **
B: Tiempo de residencia	117,04	1	117,04	20,23	0,001 **
C: Temperatura	29892,00	1	29892,00	5166,53	0,000 **
AB	77,04	1	77,04	13,32	0,003 **
AC	28635,00	1	28635,00	4949,27	0,000 **
BC	210,04	1	210,04	36,30	0,000 **
ABC	135,38	1	135,38	23,40	0,000 **
Error total	81,00	14	5,79		
Total (corregido)	133855,00	23			

Nota. **: diferencia altamente significativa.

La tabla 30 ANOVA, indica la variabilidad del volumen de gas metano, separado por los diferentes niveles de cada factor. Se evidencia diferencia altamente significativa de cada efecto, donde 7 de ellos presentan un valor-p menor que 0,05 indicando que todos los tratamientos son significativamente diferentes en relación a la obtención del volumen de gas metano con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 14

Diagrama de Pareto estandarizada para el volumen de gas metano



La figura 14 indica los valores primordiales de la diferencia significativa, demostrando que los efectos principales mayoritarios son la combinación los niveles de los factores A y C, en el cual se muestra un mayor volumen de gas metano.

4.2.6. Coeficiente de regresión y optimización de respuesta del volumen

Tabla 31

Valores de estimación para el coeficiente de regresión del volumen

Coeficiente	Estimado
Constante	60,71
A: Residuos orgánicos	55,79
B: Tiempo de residencia	-2,21
C: Temperatura	35,29
AB	-1,79
AC	34,54
BC	-2,96
ABC	-2,38

La tabla 31 muestra el despliegue de los coeficientes que intervienen para obtener la ecuación de regresión la cual se ajusta a los datos obtenidos sobre volumen del gas metano, se muestra la siguiente ecuación:

$$v = 60{,}7083 + 55{,}7917 * A - 2{,}2083 * B + 35{,}2917 * C - 1{,}7916 * A * B + 34{,}5417 * A * C - 2{,}9583 * B * C - 2{,}3750 * A * B * C$$

Para lo cual los valores se ajustan a R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,90% y un error estándar de 2,40%, demostrando un equilibrio óptimo durante el incremento eficiente de volumen de gas metano en relación al tiempo y temperatura.

Tabla 32

Optimización de respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Residuos orgánicos	-1	1	1
Tiempo de residencia	-1	1	-1
Temperatura	-1	1	1

Valor óptimo = 195,667

La tabla 32 indica la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza volumen sobre la región indicada donde el punto óptimo máximo del gas metano es de 195,66% que corresponde a la combinación de los niveles 1, -1, 1 (15% Concentración de sólidos + 85% H_2O + 20 días + 20 °C).

Figura 15

Gráfico de efectos principales para el volumen de gas metano

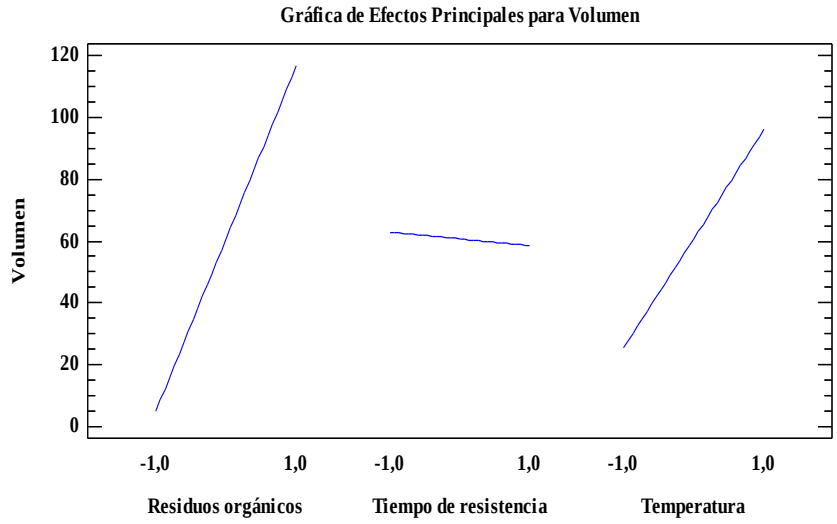
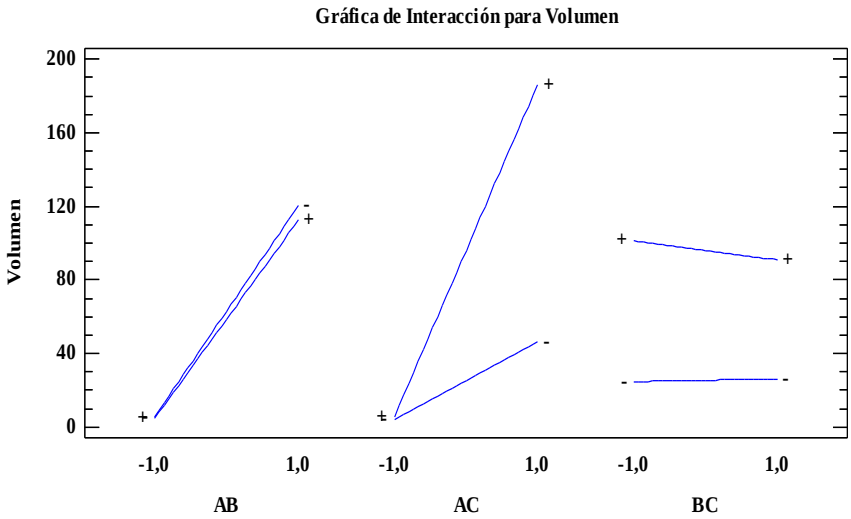


Figura 16

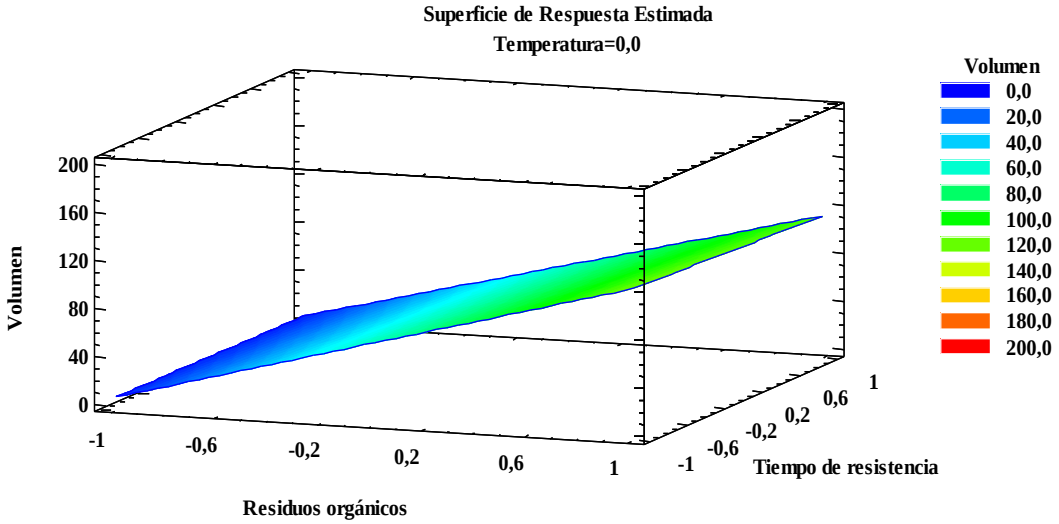
Gráfico de interacción para el volumen de gas metano



La figura 15 y 16, demuestran los efectos principales e interacciones de cada efecto principal en donde se observa que el Factor A y Factor C al combinarse se obtiene un volumen máximo de gas metano. Cabe mencionar que la interacción 1, -1, 1 ($a_2b_2c_2$), correspondiente a la combinación de 15% CS + 85% H_2O + 20 días + 20 °C es el punto óptimo por lo que presenta un volumen de 195,66 ml de gas metano.

Figura 17

Superficie de respuesta estimada del volumen



La figura 17 muestra la pronosticación de la superficie de respuesta estimada del Factor A, Factor B y Factor C sobre el volumen del gas metano indicando que la cantidad de CH_4 inicial es de 0,00 ml y logra alcanzar un estimado de volumen de máximo de 200,00 ml con la combinación de los niveles de cada factor mencionado.

4.3. Rendimiento del biogas y biol en un biodigestor tipo batch

4.3.1. Diseño de biodigestor

Para el diseño del biodigestor luego de haber obtenido los resultados a nivel de laboratorio, procedemos a calcular las condiciones a nivel de campo para su instalación en el camal de San José de Chimbo.

Relación C/N

En vista de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio con una relación C: N de 7,91 se tomó en consideración los residuos de las podas de las áreas verdes del cantón San José de Chimbo en donde obtuvimos una relación C: N de 51,5, para lo cual se considera una relación de entre 20 a 30, entonces calculamos la cantidad de césped que necesitamos:

$$20 = \frac{(18{,}55)(0{,}2098)(17{,}8) + \ césped\ (0{,}6393)(51{,}17)}{(18{,}55)(0{,}2098)(2{,}27) + \ césped\ (0{,}6393)(0{,}86)}$$

$$20 = \frac{69{,}27 + \ césped\ (32{,}71)}{8{,}83 + \ césped\ 0{,}55}$$

$$20(8{,}73 + \ 0{,}55\ césped) = \ 69{,}27 + 32{,}71\ césped$$

$$176{,}60 + 11\ césped = 69{,}27 + 32{,}71\ césped$$

$$11\ césped - 32{,}71\ césped = 69{,}27 - 176{,}60$$

$$-21{,}71\ césped = -107{,}33$$

$$césped = \frac{107{,}33}{21{,}71} = 4{,}94\frac{kg}{día}$$

Porcentaje de concentración de la materia prima

$$\%CM = \frac{(18{,}55)(0{,}2098) + (4{,}94)(0{,}6393)}{18{,}55 + 4{,}94} \times 100$$

$$\%CM = \frac{3{,}89 + 3{,}16}{23{,}49} \times 100$$

$\%CM = 30\%$

Como resultado obtenemos una concentración de materia prima alto para lo cual debemos trabajar entre un rango de 6,50 a 10, entonces:

$$\frac{10}{100} = \frac{(18{,}55)(0{,}2098) + (4{,}94)(0{,}6393)}{18{,}55 + 4{,}94 + w}$$

$0{,}1(23{,}49 + w) = 7$

$$23{,}49 + w = \frac{7}{0{,}1}$$

$$w = 70 - 23{,}49$$

$$w = 46{,}51\ kg/dia$$

Con estos valores se conoce el porcentaje y cantidad de cada componente.

Tabla 33

Concentración de la mezcla

Ítem	C	N	% H	% ST	M.P (kg/día)	% M.P
M.P.O	17,80	2,27	79,02	20,98	18,55	26,50
Césped	51,17	0,86	36,07	63,93	4,94	7,06
Agua					46,51	66,44
Total (%)					70	100

Carga diaria

$$CD = 18{,}55\frac{kg}{d} + 4{,}94\frac{kg}{d} + 46{,}51\frac{kg}{d}$$

$$CD = 23{,}49\frac{kg}{d} + 46{,}51\frac{kg}{d}$$

$$CD = 18{,}55\frac{kg}{d} \times\ 1\frac{l}{kg} \times \frac{1\ m^3}{1000l}\ \times 46{,}51\frac{kg}{d} \times \frac{1\ m^3}{1000kg}$$

$$CD = 0{,}06506\frac{m^3}{d} = 65\ L$$

Volumen líquido

$VL = CD \times TRH \rightarrow 30dias$

$VL = 0{,}0681\ \frac{m^3}{d} \times 30dias$

$VL = 0{,}0681\ \frac{m^3}{d} \times 30dias$

$VL = 2{,}043\ m^3$

$VL = 2043\ l$

Volumen total

$VT = VL + VG$

$VG = \frac{VL}{4} = \frac{2{,}043}{4} = 0{,}51m^3$

$VG = 0{,}51\ m^3$

$VT = 2{,}043 + 0{,}51$

$VT = 2{,}55\ m^3$

Resultado final de la producción de biogas

V = 2,55 m^3

L = 5,10 m

AR =1,25 m

4.3.2. Modelamiento matemático de la producción de gas metano

La medición de gases de biodigestores fue a partir del séptimo día de experimentación, con énfasis en la producción de metano (CH_4) como indicador de la actividad de biodigestión. En la biodigestión de los residuos orgánicos del camal con adición de podas, se utilizó una relación 20:30 de C/N, donde se obtuvo dos etapas diferentes. Una primera etapa corresponde a la cantidad de biogás expresada en porcentaje (%) y la segunda al volumen alcanzado expresado en mililitros (ml). Esta toma de datos se lo realizó 1 vez por día, durante 20 días, para lograr asimilar una curva de crecimiento bacteriano.

Tabla 34

Valores del rendimiento y volumen obtenido del gas metano del T6

Tiempo (días)	Rendimiento (%)	Volumen (ml)
0	0,00	0,00
1	6,54	24,16
2	11,03	37,65
3	13,02	49,25
4	16,13	55,34
5	16,99	57,68
6	17,55	59,89
7	19,03	61,37
8	19,93	65,36
9	21,43	69,89
10	23,17	72,55
11	25,67	81,25
12	28,89	86,66
13	31,46	89,54
14	33,06	91,46
15	35,83	96,55
16	39,89	102,67
17	43,52	108,25
18	46,56	116,54
19	48,65	124,24
20	49,55	130,01
21	50,07	142,26
22	51,55	155,36
23	53,01	165,26
24	53,43	176,25
25	55,07	187,95
26	55,99	192,46
27	56,44	194,55
28	56,38	195,54
29	56,37	195,36
30	56,47	195,67

4.3.3. Modelos matemáticos para el rendimiento de gas metano del T6

Tabla 35

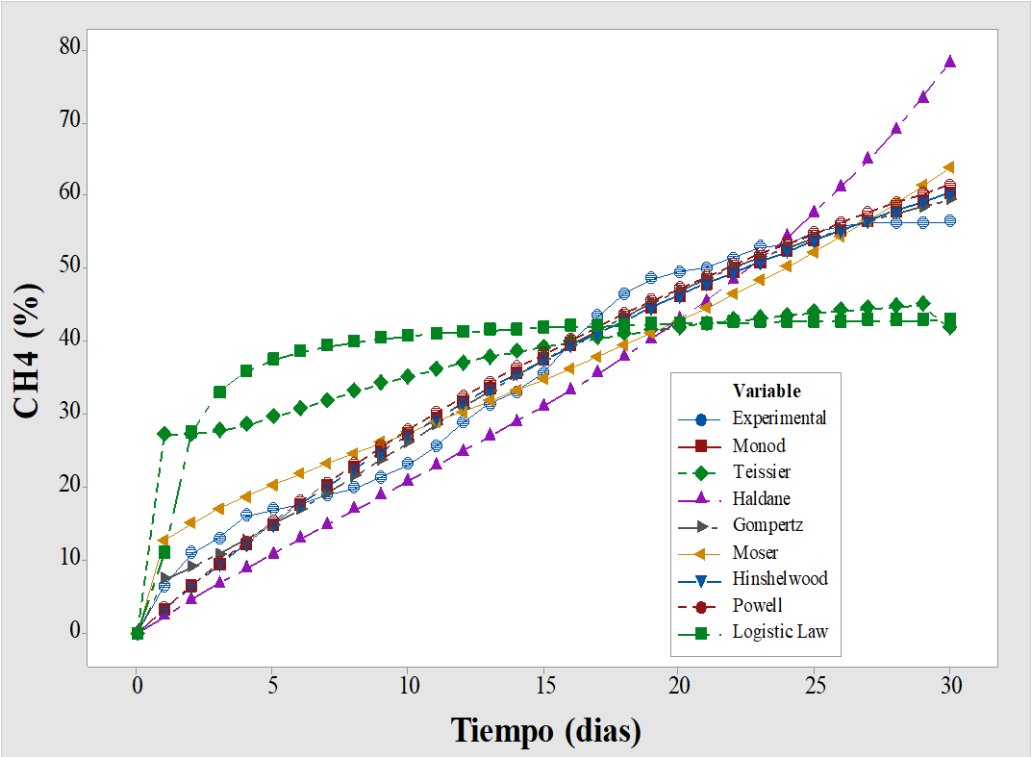
Modelos matemáticos comprobados para el rendimiento del T6

Nombre	Ecuación	Parámetros	Estadística
Monod	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}$	k_s = 46,98 u_{max} = 155,14	R^2 = 0,97 RMSE = 2,84
Teissier	$u = u_{max}\left(1 - e^{\frac{-t}{k_s}}\right)$	k_s = 12,31 u_{max} = 27,29	R^2 = 0,55 RMSE = 11,42
Haldane	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t + t^2 * k_i}$	k_s = 46,67 k_i= 0,03 u_{max} = 110,32	R^2 = 0,79 RMSE = 7,75
Gompertz	$u = u_{max} - e^{(-e^{-k_s t+b})}$	k_s = 0,09 b = 0,89 u_{max} = 69,388	R^2 = 0,98 RMSE = 2,05
Moser	$u = \frac{u_{max} * t^n}{k_s + t^n}$	k_s= 0,95 n = 0,01 u_{max} = 0,54	R^2 = 0,92 RMSE = 4,54
Hinshelwood	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}(1 + k_i)$	k_s = 46,98 k_i = 0,74 u_{max} = 88,72	R^2 = 0,97 RMSE = 2,84
Powell	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t + k_i}$	k_s = 23,49 k_i = 22,12 u_{max} = 155,14	R^2 = 0,97 RMSE = 2,96
Logistic Law	$u = u_{max} * \left(1 - \frac{t}{k_s}\right)$	k_s = 0,75 u_{max} = 44,15	R^2 = 0,32 RMSE = 14,10

La tabla 35, muestra los modelos matemáticos aplicados para predecir el rendimiento del CH_4 obtenido. Se puede distinguir los diferentes coeficientes de determinación (R^2) y error cuadrático medio (RMSE), indicando que el modelo matemático de Gompertz, es el más adecuado para predecir el % de CH_4, por lo que presenta un R^2 = 0,98% y RMSE = 2,05.

Figura 18

Comparación de las curvas de los diferentes modelos matemáticos



En la figura 18 se muestra la comparación de los modelos matemáticos aplicados, para predecir los valores del CH_4 que fueron de 0,00% a 56,46% creando una curva sigmoidea.

En forma individual se plasma la similitud que presenta cada modelo matemático tratando de ajustarse a los datos experimentales. Sim embargo, la apariencia del modelo de Gompertz es el que mayor ajuste alcanzó por lo que su u_{max} = 69,39 y k_s = 0,09 muestran una curva sigmoideal que describe el crecimiento como lento al comienzo y al final de un periodo de tiempo establecido de 30 días, presentado así un R^2 = 0,98% con un RSME = 2,05.

4.3.4. Modelos matemáticos para el volumen de gas metano del T6

Tabla 36

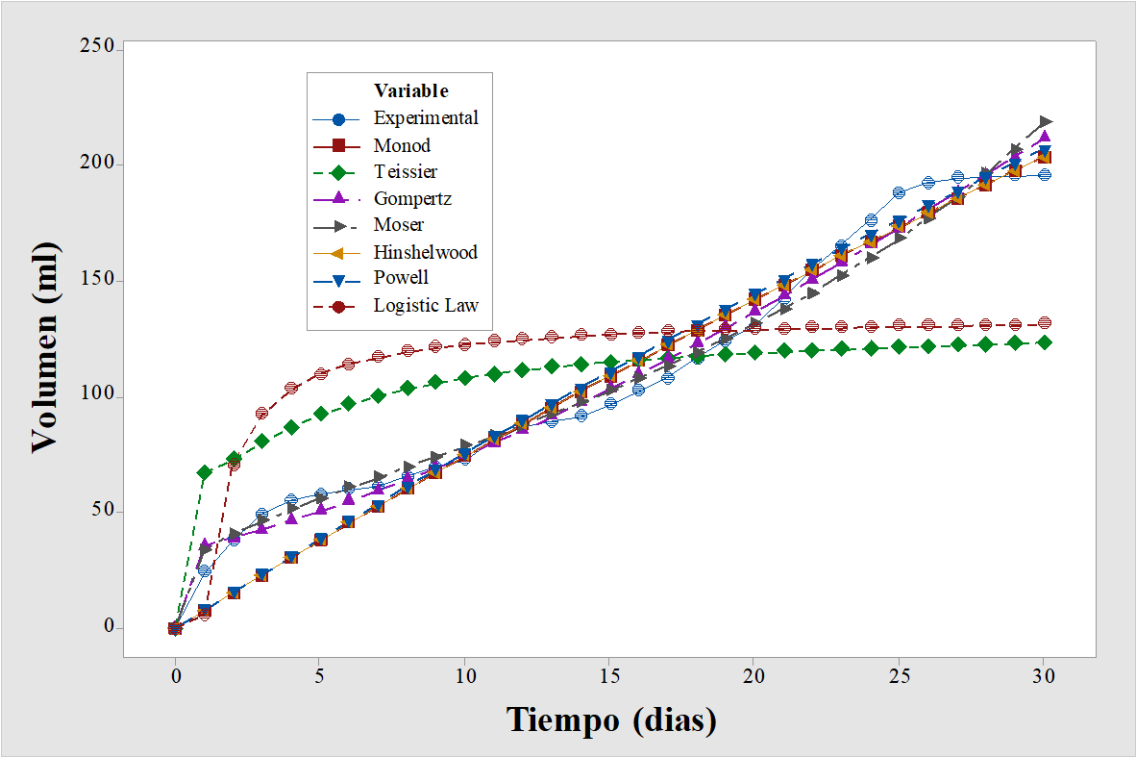
Modelos matemáticos comprobados para el volumen del T6

Nombre	Ecuación	Parámetros	Estadística
Monod	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}$	k_s = 201,30 u_{max} = 1586,26	R^2 = 0,94 RMSE = 12,71
Teissier	$u = u_{max}\left(1 - e^{\frac{-t}{k_s}}\right)$	k_s = 4,72 u_{max} = 66,43	R^2 = 0,38 RMSE = 43,72
Gompertz	$u = u_{max} - e^{(-e^{-k_s t+b})}$	k_s = 0,03 b = 1,10 u_{max} = 656,94	R^2 = 0,98 RMSE = 7,45
Moser	$u = \frac{u_{max} * t^n}{k_s + t^n}$	k_s = 0,93 n = 0,01 u_{max} = 2,22	R^2 = 0,97 RMSE = 9,01
Hinshelwood	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t}(1 + k_i)$	k_s = 201,30 k_i = 0,28 u_{max} = 1218,13	R^2 = 0,94 RMSE = 12,71
Powell	$u = \frac{u_{max} * t}{k_s + t + k_i}$	k_s = 100,64 k_i = 96,65 u_{max}= 1568,26	R^2 = 0,94 RMSE = 12,94
Logistic Law	$u = u_{max} * \left(1 - \frac{t}{k_s}\right)$	k_s = 0,95 u_{max} = 135,63	R^2 = 0,33 RMSE = 45,54

La tabla 36, muestra los modelos matemáticos aplicados para predecir el volumen del gas obtenido. Se puede distinguir los diferentes coeficientes de determinación (R^2) y error cuadrático medio (RMSE), indicando que el modelo matemático de Gompertz, es el más adecuado para predecir dichos valores estadísticos, por lo que presenta un R^2 = 0,98% y RMSE = 7,45. Es importante mencionar que el modelo matemático de Haldane no presento ningún valor para el ajuste matemático.

Figura 19

Comparación de las curvas de los diferentes modelos matemáticos



En la figura 19 se muestra la comparación de los modelos matemáticos aplicados, para predecir los valores del volumen de CH_4 que fueron de 0,00% a 195,66% creando una curva sigmoidea.

En forma individual se plasma la similitud que presenta cada modelo matemático tratando de ajustarse a los datos experimentales. Sim embargo, la apariencia del modelo de Gompertz es el que mayor ajuste alcanzó por lo que su u_{max} = 656,94 y k_s = 0,03 muestran una curva sigmoideal que describe el crecimiento como lento al comienzo y al final de un periodo de tiempo dado, presentado así un R^2 = 0,98%.

4.4. Análisis químico del biol

Se realizó un análisis químico al biol, con el objetivo de conocer los parámetros que presenta la misma (Tolerancia). Se utilizó la Normativa INEN NTE211:98 Primera revisión, para ello se tomó en consideración al Tratamiento T6 porque presento un mayor rendimiento (56,45%) y volumen de CH_4 (195,66 ml). Cabe resaltar que se obtuvo un volumen de biol de 100 ml por 250g de muestra.

Tabla 37

Resultados químicos del biol

Parámetros	Nutriente	Resultado	Relación del 28%	Nutrientes garantizados (28%)	Nutrientes garantizados (22%)
Nitrógeno total (%)		0,83	7,02	0,83	0,75
Fósforo (mg/kg)	2896	1,15	9,72	1,15	1,00
Potasio (mg/kg)		1,33	11,25	1,33	1,55

La tabla 37 indica los resultados obtenidos de nitrógeno, fósforo y potasio presentes en el biol. Con una cantidad de 2896 de nutrientes equivalentes a 28% estos macronutrientes esenciales en los abonos orgánicos cumplen funciones específicas y cruciales en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Dentro de la NTE INEN 211:98 (1998), Primera revisión. Fertilizantes o abonos tolerantes, se presenta rangos de nutrientes garantizados que oscila del 4% al 32% o más. Por tanto, cabe discutir que los resultados presentados se encuentran dentro de los rangos mínimos y máximos de macronutrientes y micronutrientes en relación al 28%.

El nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo, formando parte de la clorofila y proteínas, favoreciendo el crecimiento de hojas y tallos y un color verde saludable. Su deficiencia causa hojas amarillentas y crecimiento débil (Chacha, 2023). El fósforo es esencial para la transferencia de energía y desarrollo radicular, mejora el desarrollo de raíces, floración y fructificación. La deficiencia causa crecimiento lento y hojas verde oscuro a púrpura (Villamar, 2022). El Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica menciona que el potasio regula procesos fisiológicos, incluyendo la apertura de estomas y síntesis de proteínas mejorando la resistencia a enfermedades, calidad de frutos y tolerancia a estrés ambiental. Su deficiencia provoca bordes de hojas amarillentos y necrosis (MAATE, 2023).

4.5. Relación costo de producción del gas metano

Los costos realizados para la producción de biogás son estimaciones genéricas y pueden variar dependiendo de la ubicación, el proveedor, y la calidad de los materiales seleccionados.

4.5.1. Costo de residuos orgánicos utilizados

Tabla 38

Costos para experimento con residuos orgánicos

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Vasos de precipitación	-	5	5
Filtros de papel	50	0,10	5
Piseta	-	3	3
Probeta	-	4	4
Crisoles y tapas	-	15	15
Pera de seguridad	-	2	2
Pipeta	-	5	5
Sellador de goma	-	5	5
Tapas de aluminio	20	0,50	10
Frascos de color ámbar	10	1	10
Sellador	-	10	10
Recipientes de plástico	5	2	10
Espátulas	-	3	3
Pinzas	-	3	3
Guantes de látex	20	0,50	10
Guantes 1000 °C	-	20	20
Alquiler (especificar)	-	-	-
Total, materiales	-	-	120

4.5.2. Materiales de campo para diseño de biodigestor tipo batch

Tabla 39

Costos para diseño de biodigestor tipo batch

Ítem	Costo estimado (USD)	Ítem	Costo estimado (USD)
Biodigestor (2,2x2,2)	799	Desarmador, martillo, serrucho	25
Tuberías y accesorios PVC	50	Caucho de bicicleta y automóvil	15
Marguera de agua PVC	20	Clavos	5
Pegamento (varios tipos)	30	Plástico de invernadero	40
Cinta industrial	10	Madera	30
Choba (no especificado)	10	Carretilla	60
Metro	5	Azadón, pala, machete	30
Marcador	1	Manguera transparente de agua	15
Plomada	3	Fósforos	1
Piola	2	Rosca universal	3
Abrazaderas	5	Silicona y pistola de silicona	20
Teflón	2	Tina de 250 l	50
Geomembrana de alta densidad	75	Baldes de 20 l	15

Nota. El biodigestor de membrana adquirido es de medidas 2,2x2,2 que incluye un kit completo de instalación con 1 año de garantía.

En la tabla 39 se muestra el costo total aproximado de los materiales de campo necesarios utilizados para diseñar el biodigestor tipo batch, el costo fue de $1321 USD. Cabe mencionar que los materiales fueron anotados con recopilaciones de revisiones bibliográficas de implementación de biodigestores y conocimientos de Docentes de la Universidad Estatal de Bolívar.

4.5.3. Costos estimados de alquiler de equipos por 1 mes

Tabla 40

Costos de alquiler de equipos

Equipo	Modelo	Costo de alquiler (USD/mes)
Incubadora-Esterilizador	Nplus / sfplus – Memmert	50
Mufla	F47915 Thermo Scientific	20
Balanza analítica	DHAUS (0,001 g)	15
Medidor de gases	Biogás 5000 Gas Analyser	40
Manómetro-termómetro	OHM HD2124.2	25
Potenciómetro	HACH HQ 40D	10
Cámara extractor de gases	-	30

La tabla 40 indica el costo total estimado de alquiler de los equipos necesarios para la evaluación de la producción de biogás y biol en un biodigestor tipo batch, por un período de 1 mes, es de $190 USD.

4.5.4. Resumen del costo total para el proyecto

Tabla 41

Resumen de costos para el proyecto

Concepto	Costo estimado (USD)
Materiales experimentales	120
Materiales de campo	1321
Alquiler de equipos (1 mes)	190
Imprevistos	50
Total, estimado	1681

La tabla 41 resumen el costo total estimado para llevar a cabo el proyecto de tesis, incluyendo materiales experimentales, materiales de campo, y el alquiler de equipos por 1 mes, es de $1681 USD.

Vamos a asumir algunos valores promedio o estándares para la producción de biogás y biol por kilogramo de residuos orgánicos, ya que estos valores pueden variar ampliamente dependiendo de la composición de los residuos, el diseño y la eficiencia del biodigestor. Para este análisis, consideraremos valores para la conversión:

- Producción de biogás: 0,25 m³ por kg de residuos orgánicos
- Producción de biol: 0,10 litros por kg de residuos orgánicos
- Valor del biogás: $0,05 por m³
- Valor del biol: $0,20 por litro

Con estos valores, podemos calcular los beneficios obtenidos a partir de los residuos procesados durante las dos semanas mencionadas.

4.5.5. Cálculo de beneficio de biogas y biol

Tabla 42

Beneficio estimado de la producción de biogás y biol

Producto	Producción total	Valor unitario	Beneficio total (USD)
Biogás	46,375 m³	$0,05/m³	$2,32
Biol	18,55 litros	$0,20/litro	$3,71
Total, beneficio			$6,03

La tabla 42 muestra el beneficio total estimado de la producción de biogás y biol a partir de los desechos orgánicos del camal del Cantón San José de Chimbo, durante el período de dos semanas del 14 al 25 de noviembre, dando como resultado un costo de $6,03 USD.

4.6. Comprobación de hipótesis

Una vez realizado el estudio, se halló que el proceso de digestión de los residuos orgánicos en la obtención de biogás alcanzó niveles óptimos del 56,46% en rendimiento, 195,66 ml en volumen y en biol se obtuvo 100 ml a partir de 250g de muestra, todo esto fue mediante la aplicación de parámetros de tiempo de resistencia hidráulica de 20 días, relación C: N=20, temperatura de 20 ºC y presión de 0,74 atmosferas. Aseveraciones que las respaldan los análisis de laboratorios reportados. Dicho lo anterior se procede a rechazar la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha).

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1. Conclusiones

- Se caracterizó exitosamente los residuos orgánicos donde se obtuvo resultados positivos en los análisis físicos, proximales, elementales y químicos lo que demuestra que el residuo utilizado es susceptible de ser potencial biocombustible, por ello, estas materias primas fueron utilizadas para realizar la carga en el proceso de biodigestión anaerobia a nivel de campo.
- Es importante mencionar que la diferencia entre los resultados de gas metano de cada tratamiento se debe a la relación C: N =20, por lo que al adicionar residuos de poda el proceso mantiene una digestión estable y eficiente ya que los microorganismos anaeróbicos en los residuos ricos en carbono (podas, residuos de camal) proporcionan una mayor eficiencia en el proceso de digestión.
- Se precisaron las condiciones óptimas del proceso de biodigestión anaerobia, siendo para un tiempo de retención de 20 días, presión de 0,74 atmosferas y una temperatura de 20 ºC, con el cual se alcanzó el rendimiento máximo de 56,46% y volumen de 195,66 ml de biogás acumulado en el tratamiento T6.
- De acuerdo a la modelación matemática realizada, la ecuación de Gompertz fue la que mejor se ajustó a los valores del rendimiento con una R^2 = 0,98% y RMSE = 5,86 y volumen de biogás con una R^2 = 0,97% y RMSE = 9,20.
- Se logró diseñar un biodigestor tipo batch para una capacidad de un volumen de carga de 2,55 m^3, el biodigestor construido tiene medidas de 5,1 m de longitud y AR de 1,25 m.
- Se obtuvo un volumen 100 ml de biol por 250g de muestra de residuos orgánicos, este biol presentó resultados positivos en nitrógeno (0,83%), fósforo (1,15 mg/kg) y potasio (1,33 mg/kg) demostrando un 28% de nutrientes acorde a la Normativa INEN NTE211:98 demostrando que este abono orgánico cumple funciones específicas y cruciales en el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- El análisis del costo total de producción de biogás y biol e implementación del biodigestor fue de $1681 USD, del cual se calculó el beneficio total estimado dando como resultado un costo de $6,03 USD. Este beneficio se obtiene al procesar 187,08 kg de residuos orgánicos recogidos en este período.

5.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda el mejoramiento de equipos dentro de la universidad, en vista que el medidor utilizado para la caracterización del gas marcó constantemente presencia de oxígeno en los biodigestores, sabiendo que el proceso que ocurre dentro de los biodigestores es anaerobio
- Que el laboratorio UEB aplique las normativas para la biodigestión con dispositivos diseñados puramente para este tipo de análisis que se ajusten a las necesidades de la investigación, para el desarrollo de futuras investigación.
- Se recomienda la utilización de la cámara extractora de gases para la medición de gas en los prototipos, evitando la emanación de olores desagradables.
- En el trabajo de campo uno de los puntos más importantes a la hora del montaje del biodigestor, es el sellado entre el digestor y las tuberías de carga. Por este motivo se recomienda utilizar material duro y flexible como el caucho de neumático de automóvil.
- Se recomienda tener fácil acceso a la materia prima para realizar la carga a diaria al biodigestor.
- Se recomienda la instalación del biodigestor en un espacio que reciba directamente los rayos solares además de que sea cercano al lugar de la utilización del gas metano para no perder presión.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Camba, M. A. (2020). Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema mecánico amigable con el ambiente [Universidad Agraria del Ecuador]. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AGUILAR%20CAMBA%20MIGUEL%20ANGEL.pdf

Alba Lechon, J. B., & Quilo Catucuamba, J. E. (2023). Aprovechamiento de residuos biomásicos de la mandarina (Citrus reticulata), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar [Universidad Estatal de Bolívar]. https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/4917

Alcalde Delgado, R. E., & Cubas Avellaneda, A. M. (2020). Revisión de la eficiencia de biodigestores para la producción de biogás con excremento vacuno [Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3283/Ruth_Trabajo_Bachillerato_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Alcantara Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. Nova, 17(32), 109-129. https://doi.org/10.22490/24629448.3639

Altamirano Mendieta, J. E., & Alvarado Alvarado, F. M. (2023). Análisis descriptivo del contenido de micronutrientes y percepción de la importancia de las declaraciones nutricionales de los productos procesados y ultraprocesados en la ciudad de cuenca, Julio-Diciembre 2022 [Universidad de Cuenca]. https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/40854/1/Trabajo-de-titulacion.pdf

Alvarado Rodríguez, J. F. (2022). Producción de carbonato de calcio por organismos incrustantes en arrecifes del Pacífico mexicano [CICESE]. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3799/1/tesis_Alvarado%20Rodr%c3%adguez%20Jos%c3%a9%20Fernando_17%20nov%202022.pdf

Aponza Cantoñi, S. M. (2019). Aprovechamiento de los residuos orgánicos de plazas de mercado, manejo de podas y lodos de la planta de tratamiento de agua residual doméstica generados en el casco urbano del municipio de Guachené [Universidad AutónomadeOccidente]. https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/58fe771c-2d14-46e1-a6d9-22891c1c70b2/content

Arcila Sáenz, J. (2023). Incidencia de la fase hidrolítica/acidogénica y la ruta completa de la digestión anaerobia en la degradación de compuestos farmacéuticos y de cuidado personal [Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/36042/5/ArcilaJennifer_2023_IncidenciaDigestionAnaerobia.pdf

Arellano Arroba, C. D., & Calle Cañizares, J. A. (2014). Caracterización de los desechos orgánicos del camal de Guayaquil [Universidad de las Fuerzas Armadas]. https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10645/1/T-ESPE-048389.pdf

Ariza Calvo, D., Rincón Ravelo, M., Paz Cadavid, C. A., & Gutiérrez-Montero, D. J. (2019). Evaluación de producción de biogás y reducción de carga orgánica de vinazas mediante digestión anaerobia. Revista Colombiana de Biotecnología, 21(2), 118-130. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.79555

Arízaga Gamboa, R., & Fernández Florín, J. V. (2023). Sistema de compostaje automatizado para desechos sólidos orgánicos generados en un mercado. Polo del Conocimiento, 8(8), 226-244. https://doi.org/10.23857/pc.v8i8

Arratia Onofre, N. (2022). Propuesta técnica del diseño del sistema de alcantarillado sanitario empleando biodigestores, en el anexo de Higuerani, distrito de Pachía, provincia de Tacna, departamento de Tacna [Universidad Privada de Tacna]. https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2372

Atehortúa Hernández, M. (2020). La gobernanza ambiental en el manejo integral de residuos sólidos. Caso de estudio en el municipio de La Ceja del Tambo, Antioquia, Colombia [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales]. https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16847/2/TFLACSO-2020MAH.pdf

Barnossi, A., Moussaid, F., & Iraqi Housseini, A. (2021). Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. Biotechnology Reports, 29, 1-44. https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00574

Bayas, Lady, & García, D. (2022). Alternativa sustentable (Takakura) para la minimización de residuos orgánicos en la finca Saltos, cantón Salitre, Ecuador. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales, 16(2), 348-356.

Bhatt, A. H., & Tao, L. (2020). Economic perspectives of piogas production via anaerobic digestion.Bioengineering,7(3),1-19. https://doi.org/10.3390/bioengineering7030074

Biyada, S., Merzouki, M., Elkarrach, K., & Benlemlih, M. (2020). Spectroscopic characterization of organic matter transformation during composting of textile solid waste using UV–Visible spectroscopy, Infrared spectroscopy and X-ray

diffraction (XRD). Microchemical Journal, 159, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105314

Boggiano Burga, M. L. D. (2021). Diagnosis and characterization of solid household waste in the city of Trujillo – Peru, 2019-2020. Revista Ciencia y Tecnología, 17(3), 61-72. https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.03.05

Bonilla Correa, C. R., Díaz, J., Gil, C., Girón, K., León, M., Ortiz, O., & Suarez, A. (2020). Dinámica de la descomposición de residuos orgánicos. Suelos Ecuatoriales, 50(1y2), 31-39. https://doi.org/10.47864/SE(50)2020p31-39_123

Caballero Arbizú, Y. S. (2021). Fluctuaciones del pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y nutriente en Cayos Miskitos, municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN). Revista Torreón Universitario, 10(29), 154-165. https://doi.org/10.5377/rtu.v10i29.12743

Camarena Martinez, R., Baeza Serrato, R., & Lizarraga Morales, R. A. (2023). Optimization of welding process of geomembranes in Biodigesters using design of factorial experiments. Energies, 16(18), 1-28. https://doi.org/10.3390/en16186583

Caycedo Lozano, L., Corrales Ramírez, L. C., & Trujillo Suárez, D. M. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: Una mirada desde la química. Nova, 19(36), 49-94. https://doi.org/10.22490/24629448.5293

Chacha Chucay, J. T. (2023). Respuesta morfológica y productiva de dos variedades de zucchini (Cucurbita pepo l.) mediante la aplicación de tres tipos de abonos líquidos fermentados [Universidad Estatal Amazónica]. https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/1136/1/TESIS%20JESUS%20TARQUINO..pdf

Chamoro Páez, S. S. (2022). Diseño y simulación de un biodigestor de 3.8M3 con capacidad de carga líquida que utiliza materia porcina para la generación de gas metano de uso doméstico [Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23136/1/UPS%20-%20TTS892.pdf

Chamorro García, G. C. (2019). Determinación de métodos de propagación sexual y asexual del mortiño (Vaccinium floribundum) con fines de conservación de la especie [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/423/1/1.%20TESIS%20%28GRACE%20CAROLINA%20CHAMORRO%20GARCIA%29.pdf

Cho, E. J., Trinh, L. T. P., Song, Y., Lee, Y. G., & Bae, H. J. (2020). Bioconversion of biomass waste into high value chemicals. Bioresource Technology, 298, 1-47. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122386

Colque Cruz, E. J., Chambi Rodriguez, A. D., & Pampa Quispe, N. B. (2023). Caracterización y modelado del crecimiento microbiano en el desarrollo de una bebida probiótica no láctea de extracto vegetal de tarwi (Lupinus mutabilis S.). Revista de Investigaciones Altoandinas - Jornal of High Andean Research, 25(1), 41-48. https://doi.org/10.18271/ria.2023.501

Cortez Hernández, M. A., & Serrano López, C. W. (2023). Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante. Revista Multidisciplinaria de Investigación, 2(1), 65-70. https://doi.org/10.5281/ZENODO.8339322

Cruz Herrera, A. D., & Egas Mejia, A. J. (2023). Implementación de un biodigestor a base de residuos orgánicos en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache [Universidad Técnica de Cotopaxi]. https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11453/1/PC-003098.pdf

Darré, S. (2020). Reacciones químicas: Aportes desde la disciplina y la didáctica. Revista electrónica Enseñanza de Química. http://repositorio.cfe.edu.uy/handle/123456789/1415

Di Liscia, L. (2020). Efecto de la suplementación vitamínico mineral sobre los porcentajes de preñez en vaquillonas inseminadas a tiempo fijo. Universidad Nacional de Córdoba, 1, 3-17.

Español Avilez, J. C. E., & Osorio González, J. S. (2022). Propuesta para el diseño de un biodigestor anaeróbico empleando llantas usadas para mejorar el tratamiento de las excretas bovinas [Universidad Distrital]. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/30408/Espa%C3%B1olAvilezJhonCamilo_OsorioGonz%C3%A1lezJhonSmith2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Espinosa Mantilla, K. G. (2021). Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable [Universidad Andina Simón Bolívar]. https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8410/1/T3670-MCCSD-Espinosa-Biogas.pdf

Espuelas Zuazu, S. (2023). Valorización de residuos orgánicos como nuevos combustibles sólidos de biomasa [Universidad Pública de Navarra]. https://doi.org/10.48035/Tesis/2454/45155

Estrada Maya, A., & Weber, B. (2022). Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. Ingeniería Investigación y Tecnología, 23(2), 1-10. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.009

FAO. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf

Fernández Martínez, R. M. (2023). Valorización de residuos y vertidos de matadero mediante codigestión anaerobia en fases de temperatura (TPAD) [Universidad de Cádiz]. https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/29252/TFG_ROSAMARIAFERNANDEZMARTINEZ_32080740H.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Galarza Sainz, S. (2020). Elaboración de un biodigestor a escala de laboratorio. Universidad de Ciencias Pedagógicas, 1, 22. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33561.03681

Gallegos Cevallos, C. D. (2020). Determinación de los parámetros cinéticos en la fermentación ácido-láctica mediante un enfoque termodinámico. [Escuela PolitécnicaNacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20712/1/CD%2010225.pdf

García Elías, O., Marín Peña, O., Alvarado Lassman, A., Vallejo Cantú, N. A., & Rosas Mendoza, E. S. (2020). Efecto de la hidrólisis en la digestión anaerobia en dos etapas de los residuos de frutas y verduras. Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable, 5(2), 463-471.

Gerardi, M. H. (2003). The Microbiology of Anaerobic Digesters (Vol. 1). Published by Jhon Wiley & Sons. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471468967

Gómez Camperos, J. A., Regino Ubarnes, F. J., & Jaramillo, H. Y. (2022). Desarrollo de un sistema de supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biodigestor Anaeróbico. Revista Ingenio, 19(1), 37-42. https://doi.org/10.22463/2011642X.3035

González, R. E., Tarón Dunoyer, A., & Pérez Mendoza, J. (2022). Modelo de crecimiento microbiano para predecir el comportamiento de Salmonella spp. En queso costeño colombiano. Información tecnológica, 33(1), 225-234. https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100225

Granzotto, F., Brächer, E. H., Mayer, F. D., Hoffmann, R., & Da Silveira, D. D. (2023). Actualización de los procesos de digestión anaeróbica de residuos orgánicos. AUGM DOMUS, 10, 007. https://doi.org/10.24215/18522181e007

Guerra Acosta, S. A., & Páez Malquin, I. D. (2022). Diseño y construcción de un biodigestor doméstico para producir biogás [Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23503/1/CD%2012903.pdf

Gutiérrez Pulido, H., & Salazar, R. de la vara. (2008). Análisis y diseño de experimentos (Segunda).McGrawHill. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

Hernández Ramírez, B. A., & Ramírez Saavedra, N. (2019). Especificación de las condiciones de operación de un biodigestor usando como materia prima estiércol bovino y equino en la finca “Villa Italia” ubicada en el municipio paipa (Boyacá) [Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7385/1/6141228-2019-1-IQ.pdf

Huayapa Quispe, L. L., & Riveros Paz, Y. Y. (2022). Revisión sistemática de los diseños de biodigestores utilizados en la producción de biogás y biol en los últimos 5 años [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105210/Huayapa_QLL-Riveros_PYY%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiménez Alvarez, B. J. (2021). Evaluación de un plan de aprovechamiento de residuos solidos orgánicos, provenientes del municipio de choachí por medio de un proceso tecnológico [Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8325/1/6161872-2021-1-IQ.pdf

Jordán Llave, F. D. L., & Pizarro Zegarra, M. Z. (2020). Elaboración de abono tipo bocashi a partir de residuos orgánicos de origen doméstico y de actividad agropecuaria [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10557/1/IV_FIN_107_TI_Jord%c3%a1n_Pizarro_2020.pdf

Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. Journal of Energy, 2, 1-43. https://doi.org/10.1155/2022/8750221

MAATE. (2023). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf

Marín Rodríguez, M. (2021). Evaluación de la dinámica de un biodigestor anaeróbico como una estrategia que permita establecer las condiciones técnicas y operacionales para una mayor producción de biogás [Universidad de Cundinamarca]. https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4886/Mar%c3%adn%20Rodr%c3%adguez%20Laura%20Daniela.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marques, V. da C. (2020). Valorization of tangerine peels in the preparation of adsorbents for removal of Ni(II) from aqueous solutions [Instituto Politécnico de Braganca]. https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/22626/1/Marques_Vitor.pdf

Martin Albi, P. A. (2020). Diseño y construcción de un biorreactor agitado de bajo costo para estudios de digestión anaeróbica a escala de laboratorio [Universidad del Bío-Bío]. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3748/1/Martin_Albi_Pablo_Andr%c3%a9s.pdf

Martin Calvo, J., & Castañeda Gomez, J. (2021). Estimación de metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos en el relleno de Doña Juana en Bogotá, Colombia. Revista de Ciencias Ambientales, 55(2), 326-339. https://doi.org/10.15359/rca.55-2.16

Martín Leguizamón, M. A. (2020). Factibilidad para la construcción, comercialización y mantenimiento de biodigestores en el municipio de solita—Caquetá [Universidad Externado de Colombia]. https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/513e7628-154f-4926-aae9-6fe1248c82d1/content

Martínez Ortega, R. S. (2020). Modelado de las etapas iniciales del proceso de composteo en un biorreactor por lotes [Universidad Autónoma de San Luis de Potosí]. https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/6093/Tesis.FCQ.2020.Modelado.Mart%C3%ADnez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez Sabogal, N. D., Pérez Hincapié, S., Guerrero Guerrero, A. F., & Palacios Yepes, E. (2022). Sistema de calentamiento por inducción para biodigestores anaeróbicos a escala. 1-12. https://doi.org/10.26507/paper.2512

Moisés, J., Martinez, J. M., Duval, M. E., & Galantini, J. A. (2022). Caracterización química y espectrométrica de residuos agroindustriales para su potencial uso como enmienda orgánicas. Revista científica de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 40(2), 236, 20.

Montes Peña, A. G., & Pocasangre Collazos, A. (2019). Evaluación de un reactor anaeróbico con bafles (ABR) para el tratamiento de las aguas residuales de un beneficio húmedo de café. Agua, Saneamiento & Ambiente, 14(1), 61-69. https://doi.org/10.36829/08ASA.v14i1.1172

Moposita Baño, Á. A. (2022). Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor solar cities, en el campus Ceasa, período 2021-2022 [Universidad Técnica de Cotopaxi]. https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8561/1/PC-002186.pdf

Muñoz Villalobos, J. A., Nava Reyna, E., Cerano Paredes, J., Constante García, V., Inzunza Ibarra, M. A., & Macías Rodríguez. (2021). Dinámica del nitrógeno y el carbón orgánico en el proceso de descomposición de una composta con estiércol de bovino y residuos de cosecha. Journal of Environmental and Agroecological Sciences, 3(2), 19-26.

Navarrete Cando, M. R. (2020). Evaluación experimental del potencial de producción de biogás a partir de hígados decomisados [Universidad de las Américas]. https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12072/1/UDLA-EC-TIAM-2020-19.pdf

NTE INEN 211:98. (1998). Fertilizantes o abonos tolerantes. Norma Técnica Ecuatoriana. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_Base%20Legal%20NTE%20INEN%20211%20Fertilizantes%20o%20Abonos%20Tolerancias_1.pdf

Paccelli, M. C., & Fanelli, N. M. (2020). Proyecto de inversión para la producción de biodigestores de uso urbano-rural [Universidad Nacional de Mar del Plata]. http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/454/MCondePacelli%2BNMFanelli-TFG-II-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pazmiño Freire, J. E. (2022). Gestión de residuos sólidos del cantón cevallos, provincia de Tungurahua [Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22766/1/CD%2012239.pdf

Pedraza León, A. L., & Poveda Ladino, D. S. P. (2020). Estimación de parámetros cinéticos de un cultivo mixto microbiano basado en bacterias acumuladoras de pha, procedentes de un sistema de lodos activados [Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7774/1/6142343-2020-I-IQ.pdf

Pérez Peña, S. A., & Velandia Blanco, D. (2020). Evaluación de la producción de biogás en un reactor metanogénico escalonado (rme) usando cenizas de cascarilla de arroz como material adsorbente para diferentes cargas orgánicas (olr) [Fundación Universidad de América]. http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7796/1/6141324-2020-1-IQ.pdf

Ramos Botello, Y. M., Bosch Cabrera, J. A., Arias Hidalgo, R. M., Santana Reyes, A., & Gutiérrez Toledo, D. R. (2021). Dimensionamiento de un biodigestor para el tratamiento de excretas de cerdos Dimensioning of a biodigester for the treatment of pig excreta. Revista Cubana de Ingeniería, 13(1), 1-8.

Ramos Poma, R., & Quinte Soto. (2022). Efecto del manejo de residuos sólidos en la salud de trabajadores de limpieza pública de la Municipalidad Provincial de Huancavelica—2022 [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13372/3/IV_FIN_107_TE_Ramos_Poma_2022.pdf

Reyes Aguilera, E. A. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. Revista Científica de FAREM-Estelí, 4(24), 60-81. https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552

Robles Sandoval, L. Y. (2023). Modelación y simulación de un dispositivo de refinación del biogás empleado para la eliminación del sulfuro de hidrógeno mediante el software COMSOL Multiphysics [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14557/TF9628_BIB_310737_Liz_Yariana_Robles_Sandoval.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rojas Gonzalez, A. F., & Flórez Montes, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. Revista Politécnica, 15(28), 42-53. https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4

Roldán Reascos, G. M. E., Guerrero Alvarez, W. F., Casanova Villarruel, É. J., & Salazar Coyago, R. F. (2022). Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto—Ecuador. Esferas, 3, 134-153. https://doi.org/10.18272/esferas.v3i1.2426

Rueda Ramírez, J. (2021). Producción de energía en un reactor bioelectroquímico [Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.]. https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/476/1/Tesis%20JUANA%20RUEDA%20RAMIREZ%20MAE%202022.pdf

Sacatoro Toaquiza, M. E. (2020). Gestión integral de los residuos sólido urbanos en la Ciudad de Sigchos [Universidad Técnica de Cotopaxi]. https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7253/1/MUTC-000741.pdf

Saidakbarovich, M. M. (2021). Ecological Features of Biogas Production. International Journal on Orange Technologies, 03(03), 214-216.

Sánchez, R. G., & García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales con cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. La Granja, 27(1), 103-111. https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08

Sánchez Roque, Y., Pérez Luna, Y. D. C., Saldaña Trinidad, S., Berrones Hernández, R., & Castillejos Yuca, D. A. (2023). Caracterización fisicoquímica de residuos orgánicos del Estado de Chiapas, México, destinados a la producción de biogás. Revista Politécnica, 19(38), 192-198. https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a12

Soberats Cobos, J., González Santiesteban, I., & González Rodríguez, S. (2019). Valoración de la eficiencia ambiental en biodigestores a nivel territorial. Ciencias Holguín, 25(3), 84-93.

Solano Apuntes, A., Ponce Saltos, W., & Zambrano Gavilanes, F. (2022). Biodigestión anaeróbica de residuos de musáceas: Caso Ecuador. Biotempo, 19(1), 51-63. https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4803

Tandazo Sornoza, W. F. (2020). Modelos matemáticos no lineales como herramienta para la evaluación de los parámetros morfométrico y rendimiento de la canal del bocachico (Ichthyoelephas humeralis) [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/48b42b6e-3fec-4131-b75d-4a4008852116/content

Vallejo Tualombo, C. S., & Yumbay Yallico, R. C. (2021). Obtención de biogás y digestato a partir de la co-digestión anaerobia de residuos agropecuarios en la organización Inti Churi, cantón Guaranda, provincia Bolívar [Universidad Estatal de Bolívar]. https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/4000/1/TESIS%20FINAL.pdf

Vargas Restrepo, C. M., Gutiérrez Monsalve, J. A., Gómez Betancur, M. A., Aguirre Cardona, D. A., Quintero Osorio, L. A., & Franco Montoya, J. C. (2021). Gestión del manejo de residuos sólidos:un problema ambiental en la Universidad. Revista científica Pensamiento y Gestión, 50, 117-152. https://doi.org/10.14482/pege.50.628.445

Vázquez Almanza, W. M. (2022). Modulando los fenotipos y las características membranales de células bacterianas por ingeniería combinatoria de lípidos de ornitina [Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2985/VAAWLN02.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vega Martínez, D. J., & Silva Ariza, F. L. S. (2020). Estudio para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos de búfalo mediante la biodigestión en el municipio de Rionegro, Santander [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/12005/2020_Tesis_David_Julian_Vega.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Véliz Cedeño, C. R., & Seni Pinoargote, O. D. (2022). Determinación de nitrógeno y fósforo en las aguas del Río Chone, Ecuador. Polo del Conocimiento, 7(12), 320-338. https://doi.org/10.23857/pc.v7i12

Villamar Moreira, J. P. (2022). Efectos del biol bovino en rendimientos de biomasa verde y valores nutricionales del pasto saboya (Megathyrsus maximus) [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1881/1/TIC_MV07D.pdf

Zelaya Benavidez, E. A. (2022). Evaluación de biodigestores para la obtención de biogás y biofertilizante a partir de las vinazas del mezcal [Instituto Politécnico Nacional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/664/1/Zelaya%20Benavidez%2C%20E.%20A.%20%282022%29.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la investigación



Anexo 2. Datos del proceso de biodigestión de residuos orgánicos

Tratamiento	Réplica	Presión atmosférica inicial (atm)	Volumen (ml)	Presión atmosférica final (atm)	CH4 (%)
1	1	0.740	0	0.740	0
	2	0.740	0	0.740	0
	3	0.740	0	0.740	0
2	1	0.740	12	0.740	0.1
	2	0.740	11	0.740	0
	3	0.740	14	0.740	0.1
3	1	0.740	0	0.740	0
	2	0.740	0	0.740	0
	3	0.740	0	0.740	0
4	1	0.740	15	0.740	0
	2	0.740	12	0.740	0
	3	0.740	12	0.740	0
5	1	0.784	16	0.740	0
	2	0.823	25	0.740	0
	3	1.078	60	0.740	0
6	1	0.801	39	0.740	15.3
	2	0.852	41	0.740	15.5
	3	0.986	38	0.740	15
7	1	0.877	37	0.740	0
	2	0.883	34	0.740	0
	3	0.916	42	0.740	0
8	1	0.884	37	0.740	15
	2	0.771	37	0.740	14.7
	3	0.891	35	0.740	14.6

Tratamiento	Réplica	Presión atmosférica inicial (atm)	Volumen (ml)	Presión atmosférica final (atm)	CH4 (%)
	1	0,740	0	0,740	0
1	2	0,740	6	0,740	0,1
	3	0,740	6	0,740	0,1
	1	0,740	46	0,740	0,4
2	2	0,740	45	0,740	0,3
	3	0,740	45	0,740	0,3
	1	0,740	7	0,740	0,1
3	2	0,740	3	0,740	0
	3	0,740	7	0,740	0
	1	0,740	49	0,740	0,4
4	2	0,770	49	0,740	0,4
	3	0,729	46	0,740	0,1
	1	0,740	5	0,740	0
5	2	0,740	4	0,740	0,1
	3	0,780	11	0,740	0,1
	1	0,761	195	0,740	58
6	2	0,818	197	0,740	57,4
	3	0,754	195	0,740	54
	1	0,752	4	0,740	0
7	2	0,755	4	0,740	0
	3	0,762	6	0,740	0
	1	0,768	179	0,740	53
8	2	0,761	175	0,740	52,7
	3	0,767	177	0,740	52

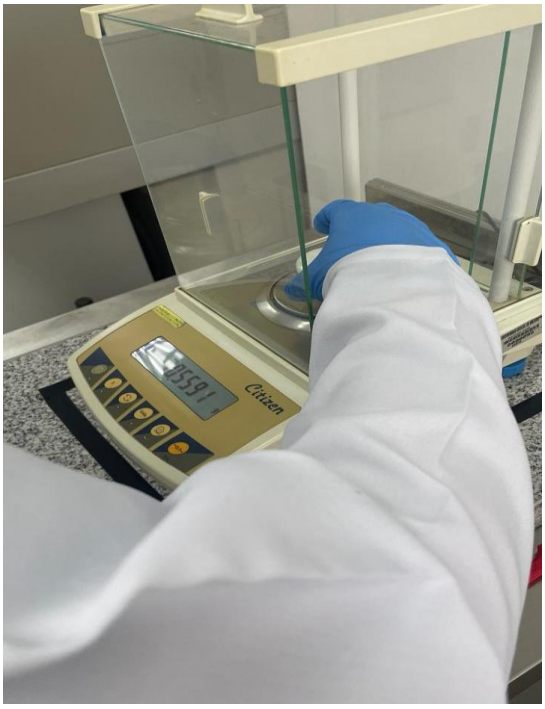
Anexo 3. Análisis físico de la materia prima



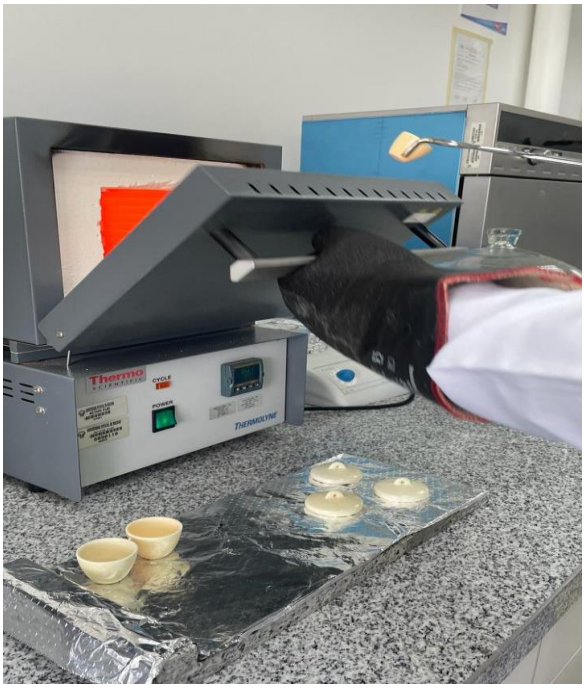
Preparación de equipos y materiales



Reposo de muestra en el desecador



Peso de la muestra



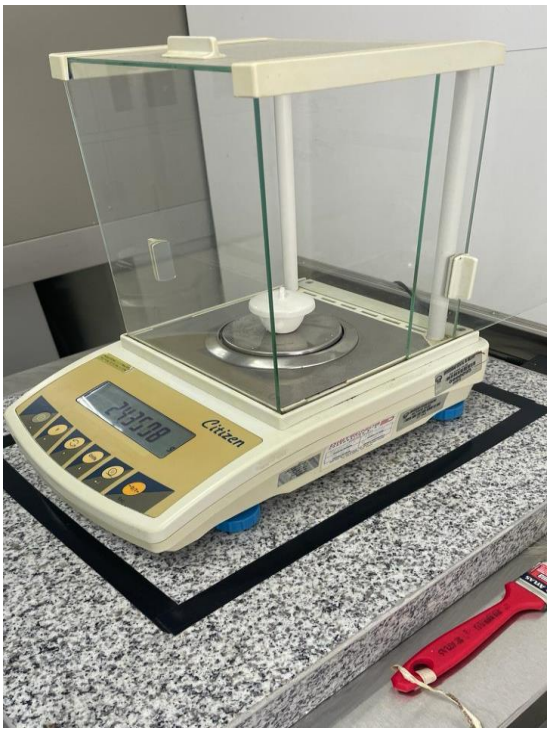
Colocación de crisoles en la mufla



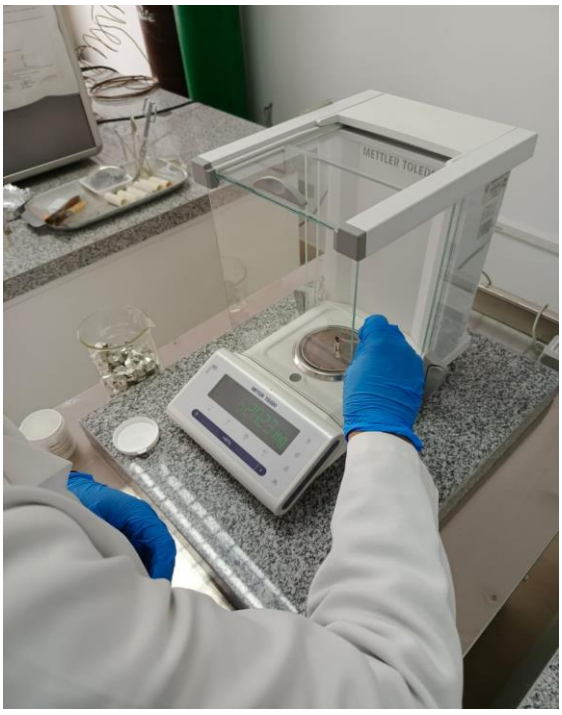
Control de temperatura 550 ºC



Enfriamiento de muestras



Toma de datos (peso en g)



Análisis proximal



Determinación de Humedad



Determinación de Cenizas



Muestras de analisis finales

Anexo 4. Análisis químico de la materia prima



Preparación de las muestras



Disolución de las muestras



Determinación de Potasio



Determinación de Níquel



Análisis de Magnesio



Determinación de Cloro



Preparación de lixiviado



Resultado de lixiviado

Anexo 5. Medición de biogás de biodigestores piloto



Medición de la presión (atm)



Determinacion de volumen



Medicion de gas (CH_4)

Anexo 6. Análisis de laboratorio

E-P. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda
ep-emapag
trabajando por su salud y bienestar...

INFORME DE ENSAYO No. 25 e

Solicitado por:	Sr. Jordy Vera - Johana Armijo
Direccion:	Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	25/04/2024 (11H00)	**Fecha final de Análisis:**	25 - 30/04/2024
Muestreo: Sr. Jordy Vera - Johana Armijo		**Fecha:**	25/4/2024
Condiciones ambientales de análisis:		**T máx:** 18 °C	**T min:** 13 °C

Procedencia: Biol (Muestra de 2 meses)

Coordenadas:

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Nutriente garantizado	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	%	AN-EMAPAG-50	28%	0.83	± 6
Fósoforo (P_2O_5)	mg/Kg	AN-EMAPAG-58	28%	1.15	± 10
Potasio (K_2O)	mg/Kg	AN-EMAPAG-64	28%	1.33	± 8

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98 Primera Revisión - Fertilizantes y Abonos . Tolerancias

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P - EMAPA-G

Firmado electrónicamente por: RAUL WILFRIDO ALLAN NARANJO

Ing. Quim. Raúl Allan

TECNICO LABORATORIO

INFORME DE ENSAYOS Nº048-2024

Descripción de la muestra	
Solicitantes	Armijo Hidalgo Johanna Tatiana - Vera Sánchez Jordy Andrés
Muestra	Residuos orgánicos del camal Municipal del Cantón San José de Chimbo
Código asignado UEB	INV 051
Estado de la muestra	Liquido viscoso
Envase de recepción	Botella plástica con aprox. 4000 mL de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad – Cenizas – Volátiles - Poder calorífico superior (PCS) – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – Azufre - C/N - C/H - Oxigeno
Fecha de recepción	02 de enero de 2024
Fecha de análisis	02 de enero al 12 de enero de 2024
Fecha de informe	19 de enero de 2024
Técnico asignado	ECCR

RESULTADOS OBTENIDOS

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Fresca / Recibida	Resultado Base Seca
Residuos orgánicos del camal Municipal del Cantón San José de Chimbo INV 051	Humedad R1	%	UNE-EN-ISO 18134-3	80.4158	—
	Humedad R2	%	UNE-EN-ISO 18134-3	77.6313	—
	Cenizas R1	%	UNE-EN-ISO 18122	—	5.3143
	Cenizas R2	%	UNE-EN-ISO 18122	—	5.3894
	Volátiles R1	%	UNE-EN-ISO 18123	—	95.7881
	Volátiles R2	%	UNE-EN-ISO 18123	—	95.8006
	Nitrógeno R1	%	UNE-EN-ISO 16948	2.2900	10.9170
	Nitrógeno R2	%	UNE-EN-ISO 16948	2.2100	10.5356
	Carbono R1	%	UNE-EN-ISO 16948	15.9900	76.2283
	Carbono R2	%	UNE-EN-ISO 16948	19.6100	93.4857
	Hidrogeno R1	%	UNE-EN-ISO 16948	9.2550	1.9675
	Hidrogeno R2	%	UNE-EN-ISO 16948	9.0050	0.7757
	Azufre R1	%	UNE-EN-ISO 16948	0.0460	—
	Azufre R2	%	UNE-EN-ISO 16948	0.0430	—
	C/N R1	%	UNE-EN-ISO 16948	6.9791	—

	C/N R2	%	UNE-EN-ISO 16948	8.8544	—
	C/H R1	%	UNE-EN-ISO 16948	1.7272	—
	C/H R2	%	UNE-EN-ISO 16948	2.1774	—
	Oxigeno R1	%	CALCULADO	67.0671	—
	Oxigeno R2	%	CALCULADO	63.7801	—

Los resultados de los análisis corresponden a 2 determinaciones por muestra.
Para los cálculos se utilizó el promedio de la humedad= 79.02%

Firmado electrónicamente por:
ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
Director DIVIUEB
Teléf. (+593) 99 031 6224

INFORME DE ENSAYO No. 6 e

Solicitado por:	E.P -EMAPA-G
Direccion:	Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	6/2/2024 (09H00)	Fecha final de Análisis:	6 - 10/2/2024
Muestreo:	Ing. Quím. Raúl Allán	Fecha y Hora:	6/2/2024 (06H30)

Condiciones ambientales de análisis:	T máx: 18 °C	T min: 13 °C

Procedencia: Agua Residual Centro de Faenamiento Camal Municipal Cantón San José de Chimbo

Coordenadas:

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Grasas y Aceites	mg/L	AN-EMAPAG-05	0,3	10,60	
Arsenico (As)	mg/L	AN-EMAPAG-03	5,0	0,1	± 18
Calcio (Ca)	mg/L	AN-EMAPAG-09	.....	15,36	± 32
Cloro Activo (Cl^-)	mg/L	AN-EMAPAG-10	0,5	< 0,1	
Conductividad Eléctrica	uS/cm	AN-EMAPAG-11	.....	458,62	± 22
Cromo Hexavalente (Cr^{+6})	mg/L	AN-EMAPAG-15	0,5	< 0,39	± 11
DBO_5	mg/L	AN-EMAPAG-16	100	4500	± 30
DOQ	mg/L	AN-EMAPAG-17	250	9280	± 35
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-18	2,0	0,98	± 20
Nitrógeno Total (N)	mg/L	AN-EMAPAG-19	15	96,47	± 16
Oxigeno disuelto (O_2)	mg/L	AN-EMAPAG-22	.....	1,22	± 25
pH	mg/L	AN-EMAPAG-23	5. - 9	7,85	± 12
Potasio (K)	mg/L	AN-EMAPAG-26	.....	1,02	
Sólidos Totales	mg/L	AN-EMAPAG-29	1600	< 2000	± 16
Sulfatos ($SO_4^{=}$)	mg/L	AN-EMAPAG-31	1000	< 400	
Sodio (Na)	mg/L	AN-EMAPAG-32	.....	0,21	± 5
Temperatura (C°)	C°	AN-EMAPAG-33	5	14,74	

Fuente: Tulsma - ANEXO 6 - Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P - EMAPA-G

Firmado electrónicamente por: RAUL WILFRIDO ALLAN NARANJO

Ing. Quím. Raúl Allán

TÉCNICO LABORATORIO

Anexo 7. Implementación del biodigestor



Edificación de los soportes



Instalación del biodigestor



Instalación de biodigestor en campo



Carga del biodigestor

Anexo 8. Glosario

Atmósfera: es la capa gaseosa que rodea un cuerpo celeste, como la Tierra, compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, y que es vital para sostener la vida al proporcionar oxígeno y proteger contra la radiación solar y los impactos de meteoroides.

Batch: es un tipo de reactor anaeróbico utilizado para la descomposición de materia orgánica con el fin de producir biogás y biofertilizante.

Biodigestor: sistema diseñado para la producción controlada de biogás mediante la digestión anaeróbica de materia orgánica, que puede ser utilizado como fuente de energía renovable.

Biogás: mezcla de gases producida por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, que incluye una proporción significativa de metano.

Biol: son abonos de tipo foliar orgánico, resultado de un proceso de digestión anaeróbica de restos orgánicos de animales y vegetales.

Biomasa: materia orgánica de origen vegetal o animal, que puede ser utilizada como fuente de energía renovable mediante procesos como la combustión, fermentación, electricidad o biocombustibles.

Biometanización: proceso de conversión de materia orgánica en metano mediante la acción de microorganismos en condiciones anaeróbicas.

Captura de metano: práctica de recolección y almacenamiento del metano liberado por procesos naturales o industriales para su posterior uso como fuente de energía.

Digestión anaeróbica: proceso biológico en el que microorganismos descomponen materia orgánica en ausencia de oxígeno para producir biogás, principalmente metano y dióxido de carbono.

Metano (CH_4): gas inflamable e incoloro que es el principal componente del biogás y también se encuentra en gases naturales y en algunos procesos de fermentación.

Residuos: son materiales desechados de actividades humanas o naturales. Su gestión adecuada es crucial para minimizar impactos ambientales y sanitarios, incluyendo la reducción, reutilización, reciclaje y disposición final.