



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL EXCREMENTO  
CANINO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Ambiental

AUTORAS: KATHERINE JOHANNA NOGALES JARA  
ERIKA JULIANA CARCHI QUEZADA

TUTORA: B.Q.F. ANGÉLICA GEOVANNA ZEA COBOS, Msc. PhD.

Cuenca - Ecuador  
2025

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotras, Katherine Johanna Nogales Jara con documento de identificación N° 0106017551 y Erika Juliana Carchi Quezada con documento de identificación N° 0106732241; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de julio del 2025

Atentamente,



---

Katherine Johanna Nogales Jara

0106017551



---

Erika Juliana Carchi Quezada

0106732241

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Katherine Johanna Nogales Jara con documento de identificación N° 0106017551 y Erika Juliana Carchi Quezada con documento de identificación N° 0106732241, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Caracterización fisicoquímica y microbiológica del excremento canino para su aprovechamiento en la producción de biogás”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio del 2025

Atentamente,

---

Katherine Johanna Nogales Jara

0106017551

---

Erika Juliana Carchi Quezada

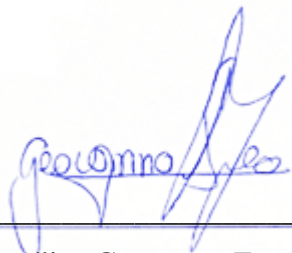
0106732241

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Angélica Geovanna Zea Cobos con documento de identificación N° 0103638730, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL EXCREMENTO CANINO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**, realizado por Katherine Johanna Nogales Jara con documento de identificación N° 0106017551 y por Erika Juliana Carchi Quezada con documento de identificación N° 0106732241, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de julio del 2025

Atentamente,



---

B.Q.F Angélica Geovanna Zea Cobos, Msc. PhD.

0103638730

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la caracterización fisicoquímica y microbiológica del excremento canino con el fin de evaluar su viabilidad como sustrato para la producción de biogás mediante digestión anaerobia. Los análisis fisicoquímicos realizados temperatura incluyendo pH, humedad, sólidos totales y relación C/N demostraron que el sustrato posee condiciones adecuadas para la actividad microbiana metanogénica. Asimismo, los análisis microbiológicos revelaron la presencia de bacterias fermentativas y coliformes, indicando una carga orgánica activa favorable para el proceso anaerobio.

Sin embargo, a pesar de la idoneidad del sustrato, el biorreactor experimental no alcanzó un rendimiento óptimo. La principal limitante fue la temperatura ambiente registrada durante los meses de mayo a julio en la ciudad de Cuenca, Ecuador, la cual se mantuvo por debajo de los rangos óptimos (30–40 °C) requeridos para la actividad de las bacterias anaerobias mesofílicas. Las bajas temperaturas afectaron negativamente la velocidad de digestión y, en consecuencia, la producción de biogás.

Estos resultados sugieren que, si bien el excremento canino es un sustrato viable desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, la implementación efectiva de un biodigestor en zonas de clima frío requiere control térmico, aislamiento o el uso de tecnologías de digestión termofílica para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema.

***Palabras clave:*** Excremento canino, caracterización fisicoquímica, análisis microbiológico, digestión anaerobia, producción de biogás, biorreactor

## ABSTRACT

The objective of this research was to characterize dog feces physicochemically and microbiologically to evaluate its viability as a substrate for biogas production through anaerobic digestion. Physicochemical analyses, including pH, moisture content, total solids content, and C/N ratio, demonstrated that the substrate possesses suitable conditions for methanogenic microbial activity. Microbiological analyses also revealed the presence of fermentative and coliform bacteria, indicating an active organic load favorable for the anaerobic process.

However, despite the substrate's suitability, the experimental bioreactor did not achieve optimal performance. The main limiting factor was the ambient temperature recorded during the months of May through July in the city of Cuenca, Ecuador, which remained below the optimal range (30–40°C) required for the activity of mesophilic anaerobic bacteria. Low temperatures negatively affect the digestion rate and, consequently, biogas production.

These results suggest that, although dog excrement is a viable substrate from a physicochemical and microbiological perspective, the effective implementation of a biodigester in cold climates requires thermal control, insulation, or the use of thermophilic digestion technologies to ensure efficient system operation.

**Keywords:** *Dog excrement, physicochemical characterization, microbiological analysis, anaerobic digestion, biogas production, bioreactor*

## **DEDICATORIA**

### ***A mi madre, Lourdes***

Por ser el motor de mi vida, mi mayor ejemplo de fortaleza y amor incondicional. Por enseñarme a no rendirme, incluso en los momentos más difíciles, y por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí. Por todas las mañanas y malas noches de trabajo que dedico con el propósito de darme la oportunidad de tener un logro más en mi vida, por ser la mujer más valiente, fuerte y admirable que conozco. A pesar de todo lo que la vida puso en su camino, nunca dejó de darme su apoyo, sus palabras de aliento y su abrazo cálido que siempre me impulsa a seguir. Este triunfo es por y para ella.

Sin su apoyo, amor y esfuerzo, nada de esto habría sido posible.

### ***A mi padre, César***

Por ser ese pilar inquebrantable, por no soltar la mano de mami en los momentos más difíciles, por permanecer firme a su lado y por enseñarme con su ejemplo lo que significa la verdadera entrega y amor incondicional. Gracias por su sacrificio, por sus consejos, por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación como profesional y por sus palabras que reconfortan, por demostrarme que, aún en las pruebas más grandes, la familia es el refugio y la fuerza que nos sostiene.

Sin su apoyo, amor y esfuerzo, nada de esto habría sido posible.

### ***A mis hermanos, Jazmín & César Jr.***

Por ser parte esencial de este camino, por cada palabra de aliento, por motivarme, por estar conmigo en los momentos buenos y en los difíciles. Gracias por su cariño, por su apoyo incondicional y por enseñarme que juntos podemos superar cualquier desafío.

### ***A mis sobrinos, Josué & Alejandra***

Porque con su ternura, sus sonrisas y su amor puro han sido mi bálsamo en los momentos de tristeza, mi alegría en los días grises, y la curita que tantas veces sano mi corazón. Gracias por recordarme lo bello que es seguir luchando y soñar.

### ***A cada persona presente durante este proceso***

A quienes, con su cariño, su confianza, su apoyo y sus consejos, hicieron posible que este sueño se convierta en realidad.

Katherine Nogales Jara.

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y la Virgen, por regalarme la vida, por darme la salud, la fortaleza y las bendiciones guía en cada paso y darme las oportunidades que me han permitido crecer, aprender y superar cada desafío.*

*A mis padres, César y Lourdes, quienes con su amor, sacrificio, sabiduría y apoyo incondicional me han enseñado a nunca rendirme. Gracias por ser ejemplo de valentía, entrega y perseverancia, por mostrarme que con esfuerzo todo es posible y por estar conmigo en cada etapa de este camino. Mil gracias por hacer siempre lo posible por verme progresar. Este logro es de ustedes tanto como mío.  
“estaré eternamente agradecida”.*

*A mis hermanos Jazmín y César Jr., por ser compañía constante, por su cariño, sus palabras de aliento y por estar ahí en los momentos de mayor esfuerzo, recordándome siempre que no estoy sola en este camino.*

*A María Lourdes, por su compromiso y apoyo invaluable en el hogar, que me ha permitido concentrarme plenamente en alcanzar esta meta.*

*A mi tutora, Bqf. Angélica Zea Cobos, por su entrega, dedicación y guía a lo largo de este proceso. Sus orientaciones, consejos y aportes han sido fundamentales para enriquecer este trabajo y para mi crecimiento académico y personal.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana y al grupo de investigación en Biotecnología y Ambiente (IMBIAM) por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para el desarrollo de esta investigación.*

*A mis amigos y compañeros de carrera, por compartir conmigo este proceso, por sus palabras de ánimo y su apoyo en los momentos que más lo necesite y por ser parte de los momentos que hicieron más llevadero el camino.*

*Finalmente, a cada persona que, de una u otra manera, con un consejo, un gesto, una palabra de aliento o acto de generosidad, contribuyó a que este proyecto se convierta en realidad. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.*

Katherine Nogales Jara.

## **DEDICATORIA**

*Dedico este logro primero y con todo mi amor a mi mami, quien es mi mayor inspiración y el motor que impulsa cada uno de mis sueños. Gracias por tu amor infinito, tu apoyo incondicional y por ser esa luz que siempre me guía, aún en los momentos más difíciles. Eres el pilar más importante en mi vida y sin ti nada de esto hubiera sido posible.*

*También quiero dedicar un agradecimiento muy especial a mi tío César, por su apoyo constante y por estar siempre dispuesto a ayudarme en lo que necesité.*

*A mi abuelita Luz, quien me acompañó y apoyó desde la escuela hasta el colegio, gracias por tu cariño y por ser una presencia amorosa que me fortaleció en cada paso.*

*A mi papi, por su amor, ejemplo y por ser un sostén fundamental en mi vida. Gracias por estar siempre presente y creer en mí.*

*A mi querida perrita Hanna, que con su compañía silenciosa me brindó consuelo y alegría mientras estudiaba para la universidad.*

*A mi tío Benjamín, por su gran ayuda al apoyarme con mis tareas y proyectos, tanto para la universidad como para el colegio. Tu ayuda fue clave para poder cumplir con mis responsabilidades.*

*Finalmente, dedico este logro a toda mi familia, por su amor, respaldo y por estar siempre conmigo en cada etapa. Gracias por ser mi fuerza y motivación constante.*

Erika Juliana Carchi Quezada

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero, quiero agradecer a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para llegar hasta aquí. Su guía y bendiciones han sido mi luz en los momentos de dificultad y mi fuerza para seguir adelante cuando parecía imposible. Sin su apoyo espiritual, este camino no habría sido el mismo.*

*A mis queridos padres, por su amor incondicional, sacrificios constantes y por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y dedicación. Gracias por creer en mí, por enseñarme valores fundamentales y por brindarme siempre un hogar lleno de cariño y comprensión.*

*A mis hermanos, quienes han sido mi compañía, apoyo y motivación en cada etapa. Gracias por estar presentes en las buenas y en las malas, por sus palabras de aliento y por compartir conmigo cada paso de este viaje.*

*A toda mi familia, por su respaldo y amor constante, que me han dado la confianza necesaria para enfrentar cualquier reto. Su apoyo es un pilar fundamental en mi vida y un motor que impulsa mis sueños.*

*A mis profesores, por compartir su conocimiento, paciencia y experiencia, y por guiarme en este camino de aprendizaje y crecimiento. Gracias por inspirarme a seguir adelante y por brindarme las herramientas para alcanzar mis metas.*

*A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por formar parte de esta hermosa etapa de mi vida y por ayudarme a alcanzar este logro.*

Erika Juliana Carchi Quezada

1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2 Delimitación del área de estudio.....	17
1.2.1 Delimitación geográfica.....	17
1.2.2 Delimitación temporal.....	22
1.2.3 Delimitación sectorial.....	22
1.2.4 Delimitación institucional.....	22
1.3 Formulación del problema.....	22
1.3.1 Preguntas de investigación.....	23
1.4 Hipótesis.....	23
1.4.1 Hipótesis alternativa.....	23
1.4.2 Hipótesis nula.....	23
1.5 Objetivos.....	23
1.5.1 Objetivo General.....	23
1.5.2 Objetivos Específicos.....	24
2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL.....	24
2.1. Energías Renovables.....	24
2.2. Biomasa.....	24
2.2.1 El ciclo del carbono en la biomasa.....	24
2.2.2 Tipos de biomasa.....	25
2.2.2.1 Biomasa natural.....	25
2.2.2.2 Biomasa residual seca.....	25
2.2.2.3 Biomasa residual húmeda.....	25
2.2.2.4 Biomasa de cultivos energéticos.....	26
2.3. Residuos orgánicos.....	26
2.4. Gestión de residuos sólidos fecales.....	26
2.5. Composición bioquímica de las heces.....	27
2.6 Impacto en el ambiente de las heces caninas.....	27
2.6.1 Contaminación al suelo con excremento caninas.....	27
2.6.2 Eutrofización.....	27
2.7. Digestión anaerobia.....	28
2.7.1 Proceso de digestión anaerobia.....	28
2.7.2 Etapas de la fermentación anaerobia.....	28
2.7.2.1 Hidrólisis.....	28
2.7.2.2 Acidogénesis.....	29
2.7.2.3. Acetogénesis.....	29
2.7.2.4. Metanogénesis.....	29

2.9. Parámetros fisicoquímicos.....	30
2.9.1 Potencial de Hidrógeno (pH).....	30
2.9.2 Temperatura.....	31
2.9.3 Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	31
2.9.4 Tasa de carga orgánica.....	31
2.9.5 Relación C/N.....	31
2.9.6. Solidos Totales (ST).....	32
2.9.7. Sólidos Volátiles (SV).....	32
2.9.8. Solidos fijos (SF).....	32
2.10. Análisis microbiológico.....	32
2.10.1. Microbiología.....	33
2.10.2. Microorganismos.....	33
2.10.3 Microorganismos presentes en heces caninas.....	33
2.10.3.1. Escherichia coli.....	33
2.10.3.2. Shigella spp.....	34
2.10.3.3. Salmonella.....	34
2.10.3.4. Coliformes totales.....	34
2.10.3.5. Coliformes fecales.....	34
2.11. Metano.....	35
2.11.1 Importancia energética.....	35
2.12. Biogás.....	35
2.12.1 Composición del biogás.....	36
2.13. Biodigestores.....	36
2.13.1 Tipos de biodigestores.....	37
2.13.1.1. Biodigestor de flujo continuo.....	37
2.13.1.2. Biodigestor de flujo semicontinuo.....	38
I. Tipo Hindú (domo móvil).....	38
II. Tipo Chino (domo fijo).....	40
III. Biodigestor tubular (Tipo Taiwán).....	41
2.13.1.3. Biodigestor de flujo discontinuo.....	42
2.13.2 Partes de un digestor.....	43
2.13.2.1 Recipiente de carga (premezclado).....	44
2.13.2.2 Cámara de digestión.....	44
2.13.2.3 Sistema de captación y medición de biogás.....	44
2.13.2.4 Sistema de conducción.....	44
2.13.3 Condiciones para la digestión anaerobia.....	45
2.13.3.1 Temperatura.....	45

2.13.3.2 pH.....	46
2.13.3.3 Ausencia de oxígeno.....	46
2.13.3.4 Humedad.....	46
2.13.3.5 Materia orgánica.....	46
2.13.3.6 Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	46
2.15 Revisión y análisis bibliográfico y documental.....	47
2.15.1. Antecedentes internacionales.....	47
2.15.2. Antecedentes nacionales.....	48
2.16 Marco Legal.....	50
2.16.1 Constitución de la Republica del Ecuador.....	50
2.16.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”.....	51
2.16.3 Código Orgánico del Ambiental (COA).....	52
2.16.4 Reglamento al Código Orgánico del Ambiental (RCOA).....	53
3. METODOLOGÍA.....	54
3.1 Diseño de la investigación.....	54
3.2 Población y Muestra.....	55
3.2.1 Control y validez interna.....	55
3.3 Diseño Experimental.....	55
3.3.1 Construcción del prototipo de biorreactor.....	55
3.3.1.1 Esquema del biorreactor.....	56
3.3.2 Procedimientos experimentales.....	58
3.3.2.1 Recolección de muestras.....	58
3.3.3 Análisis fisicoquímico.....	59
3.3.3.1. Sólidos totales (ST).....	60
3.3.3.2. Sólidos fijos (SF).....	61
3.3.3.3. Sólidos volátiles (SV).....	62
3.3.3.4 Determinación del pH.....	62
3.3.3.5 Determinación de la humedad.....	63
3.3.3.6. Nitrógeno.....	64
3.3.3.7 Determinación del fósforo y potasio.....	65
3.3.3.8 Carbono.....	66
3.4.3 Análisis microbiológicos.....	67
3.4.3.1 Microorganismos indicadores.....	67
3.4.3.2 Metodología para el uso de placas Petrifilm™.....	68
3.4.4 Cálculo para el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).....	71
3.4.4.2 Calcular el caudal de entrada (Q).....	72
3.4.5 Cálculos para la producción de biogás.....	72

4. RESULTADOS.....	74
4.1. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR.....	74
4.1.1. Materiales utilizados.....	74
4.1.2. Modificaciones al balde para monitoreo.....	78
4.1.3. Cálculo del volumen del biorreactor.....	81
4.1.3.1. Calcular el volumen del biodigestor.....	81
4.1.4 Tratamiento.....	82
4.1.5. Recolección de datos de biorreactor.....	83
4.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO.....	84
4.2.1. Sólidos totales (ST).....	84
4.2.2 Sólidos Fijos (SF).....	87
4.2.3 Sólidos Volátiles (SV).....	89
4.2.4 Humedad.....	90
4.2.5 Determinación pH.....	92
4.2.5.1. Distribución de pH según su rango.....	92
4.2.6 Temperatura.....	94
4.2.6.1. Evolución de temperatura.....	94
4.2.7 Contenido de NPK.....	96
4.2.8 Relación Carbono/Nitrógeno.....	97
4.4 CUANTIFICACIÓN DE GAS METANO.....	100
4.4.1 Síntesis de factores limitantes en la producción de metano:.....	102
4.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	103
4.5.1 Recuento de bacterias.....	103
4.5.1.1 Recuento de Petrifilm™ EC (E. Coli/Coliformes).....	103
4.5.1.2 Número de Salmonella spp y Shiguella spp.....	104
4.5.1.3 Placas Petrifilm™ para el recuento de Enterobacterias.....	104
5. DISCUSIÓN.....	116
6. CONCLUSIONES.....	123
7. RECOMENDACIONES.....	125
8. BIBLIOGRAFÍA.....	127
9. APÉNDICE/ANEXOS.....	139
9.1. Anexo A. Fotografías del prototipo del biorreactor.....	139
9.2. Anexo B. Esquema del biorreactor.....	141
9.3. Anexo C. Cronograma de actividades.....	142
9.4 Anexo D. Equipos utilizados.....	143
9.5 Anexo E. Esquema del biorreactor.....	143
9.6 Anexo F. Recolección de muestras.....	144

9.7 Anexo G. Análisis fisicoquímico.....	144
9.8 Anexo H. Análisis microbiológico.....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	21
Tabla 2. Coordenadas ubicación biodigestor-Universidad Politécnica Salesiana.....	22
Tabla 3. Composición del biogás.....	36
Tabla 4. Materiales y equipos para la construcción del Biorreactor.....	56
Tabla 5. Materiales y EPP para la recolección de muestras.....	59
Tabla 6. Materiales y equipos, solidos totales, volátiles y fijos.....	60
Tabla 7. Materiales y equipos para la determinación del pH.....	62
Tabla 8. Materiales y equipos para determinar humedad.....	63
Tabla 9. Materiales y equipos para la determinación del Nitrógeno.....	65
Tabla 10. Materiales y equipos para la determinación del Potasio.....	66
Tabla 11. Materiales y equipos para la determinación del Carbono Orgánico.....	67
Tabla 12. Materiales y equipos para análisis de bacterias.....	67
Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos.....	83
Tabla 14. Datos iniciales para análisis de ST, SV, SF.....	84
Tabla 15. Cálculo del porcentaje de Sólidos Totales.....	85
Tabla 16. Cálculo del porcentaje de Sólidos Fijos.....	87
Tabla 17. Cálculo del porcentaje de Sólidos Volátiles.....	89
Tabla 19. Distribución del pH según su rango.....	92

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa general de los puntos de muestreo.....	18
Mapa 2. Mapa de ubicación Parque Circo Social.....	18
Mapa 3. Mapa de ubicación Parque Paraíso.....	19
Mapa 4. Mapa de ubicación Parque Miraflores.....	19
Mapa 5. Mapa de ubicación Parque de la Luz.....	20
Mapa 6. Mapa de ubicación Parque del Ángel.....	20
Mapa 7. Mapa de ubicación del Biodigestor.....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> El ciclo del carbono en la biomasa.....	26
<b>Figura 2.</b> Procesos anaerobios.....	30
<b>Figura 3.</b> Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso.....	37
<b>Figura 4.</b> Biodigestor de flujo continuo.....	38
<b>Figura 5.</b> Biodigestor flotante (Tipo Hindú).....	39
<b>Figura 6.</b> Biodigestor campana flotante (Tipo Hindú).....	39
<b>Figura 7.</b> Biodigestor cúpula fija (Tipo Chino).....	40
<b>Figura 8.</b> Biodigestor cúpula fija en construcción.....	41
<b>Figura 9.</b> Biodigestor tubular (Tipo Taiwán).....	41
<b>Figura 10.</b> Biodigestor de flujo discontinuo.....	43
<b>Figura 11.</b> Biodigestor de flujo discontinuo.....	43
<b>Figura 12.</b> Biodigestor de flujo discontinuo.....	44
<b>Figura 13.</b> Temperaturas de operación de las bacterias en biodigestores.....	45
<b>Figura 14.</b> Tiempo de retención de materia orgánica de origen animal.....	47
<b>Figura 15.</b> Esquema de Biorreactor.....	56

<b>Figura 16.</b> Esquema de Biorreactor -Vista frontal.....	57
<b>Figura 17.</b> Esquema de Biorreactor -Vista superior.....	57
<b>Figura 18.</b> Placas Petrifilm™ EC-EB-RYM.....	68
<b>Figura 19.</b> Siembra en Petrifilm™ EC.....	69
<b>Figura 20:</b> Muestra 1 de petrifilm enterobacterias.....	104
<b>Figura 21.</b> Muestra 2 de petrifilm enterobacterias.....	105
<b>Figura 22.</b> Muestra 3 de petrifilm enterobacterias.....	106
<b>Figura 23.</b> Muestra 4 de petrifilm enterobacterias.....	106
<b>Figura 24</b> Muestra 1 petrifilm EB.....	108
<b>Figura 25.</b> Muestra 2 petrifilm EB.....	109
<b>Figura 26.</b> Muestra 3 petrifilm EB.....	109
<b>Figura 27.</b> Muestra 4 petrifilm EB.....	110
<b>Figura 28.</b> Muestra 5 petrifilm EB.....	110
<b>Figura 29.</b> Muestra 1 de petrifilm Mohos y Levaduras.....	112
<b>Figura 30.</b> Muestra 2 de petrifilm Mohos y Levaduras.....	112
<b>Figura 31.</b> Muestra 3 de petrifilm Mohos y Levaduras.....	113
<b>Figura 32.</b> Muestra 4 de petrifilm Mohos y Levaduras.....	113
<b>Figura 33.</b> Muestra 5 de petrifilm Mohos y Levaduras.....	114

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de composición del biorreactor.....	82
Gráfico 2. Variación de sólidos totales (ST) respecto al promedio general y su clasificación por rangos.....	86
Gráfico 3. Variación de sólidos fijos (SF) respecto al promedio general y su clasificación por rangos.....	88
Gráfico 4. Variación de sólidos fijos (SV) respecto al promedio general y su clasificación por rangos.....	90
Gráfico 5. Porcentaje de humedad por muestra en relación con el tiempo.....	92
Gráfico 6. Distribución del pH de acuerdo con su rango.....	93
Gráfico 7. Evolución de la Temperatura.....	95
Gráfico 8. Relación carbono/nitrógeno C/N.....	96

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad el incremento de la población canina en áreas urbanas de la ciudad de Cuenca ha intensificado un problema ambiental y sanitario cada vez más notorio no solamente en esta ciudad si no en varias ciudades de nuestro país. La presencia de excremento canino en espacios públicos como calles y parques de la ciudad se ha convertido en un desafío dentro de la gestión de residuos sólidos, debido a la gestión inadecuada de estos desechos ya que no solo da una molestia visual y olfativo si no va más allá trayendo consigo la contaminación de los suelos y cuerpos de agua cercanos, sino que también representa un riesgo potencial en la salud pública y expone a la población a enfermedades zoonóticas provocadas por microorganismos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Shigella spp.*, que afectan especialmente a niños y grupos vulnerables.

Sobre los desechos sólidos orgánicos se han presentado muy pocas investigaciones, se encuentra ineducada la gestión de estos residuos sólidos como lo es el excremento canino, además de la falta de alternativas de manejo y disposición final se ha convertido en un problema ambiental y sanitario cada vez más notable en ciertos sectores de la ciudad de Cuenca. De acuerdo con lo que ocurre en suelos, como en cuerpos de agua debido a la acumulación de materia fecal canina se ha convertido en un problema de magnitud considerable en todo el mundo, incluyendo países desarrollados.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023), informa que existen aproximadamente 1'624.803 canes únicamente en hogares, dicha cantidad excluye a perros situación de calle, esto debido a que no existe una cifra exacta debido a la falta de registros oficiales.

El excremento canino al ser un desecho generalmente subestimado e ignorado por la población tiene la capacidad de ser un recurso aprovechable para la producción de biogás y

también como fertilizante. Mediante procesos de digestión anaerobia, este desecho fecal puede ser transformado en biogás lo que representa una opción sostenible con los fundamentos de energía renovable y se lo puede utilizar en diferentes actividades diarias como por ejemplo para cocinar. Por otro lado, el residuo sólido resultante de la digestión anaerobia que se lo conoce como digestato según (Olvera, 2023). Es la mezcla más o menos densa cuya composición dependerá del residuo que se parta. Actualmente, este digestato está siendo transformado en fertilizantes para el suelo, ya que suelen presentar una elevada cantidad de minerales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Es por eso, que el presente trabajo tiene como principal objetivo analizar tanto físico-química como microbiológicamente el excremento canino, con el fin de evaluar su viabilidad para la producción de biogás. Esta investigación nace dado a la presencia de estos residuos en calles y parques de la ciudad con el fin de convertir este residuo fecal en una fuente de energía renovable. En sentido Ambiental nos ayuda a mitigar un impacto negativo como los malos olores y estética visual de los espacios anteriormente mencionados. Este trabajo a su vez beneficia a entidades ambientales y de salud pública y a empresas encargadas a la gestión de residuos como el EMAC.

Actualmente, en las ciudades donde se encuentran focos de la presencia de este residuo fecal no existe un sistema o una forma de recolección diferente para la recolección y un tratamiento del excremento canino, que usualmente terminan en alcantarillados, basureros comunes o en los espacios públicos como lo son los parques y las aceras de la ciudad.

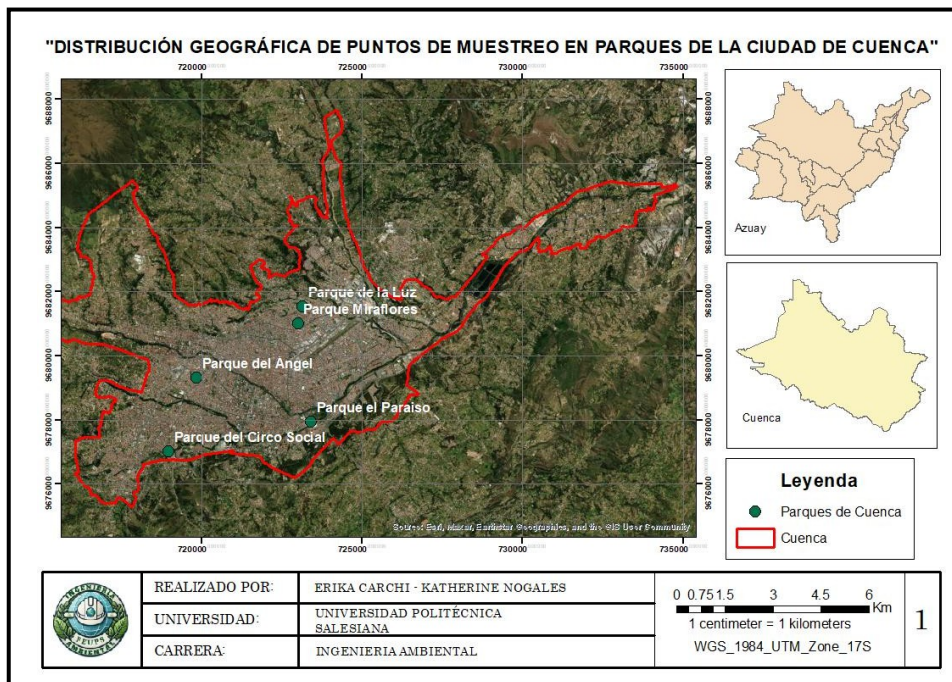
## **1.2 Delimitación del área de estudio**

### ***1.2.1 Delimitación geográfica***

La presente investigación se desarrollará en la ciudad de Cuenca, ubicada en la provincia del Azuay, en el sur del Ecuador. El estudio es en el barrio el vecino, en las

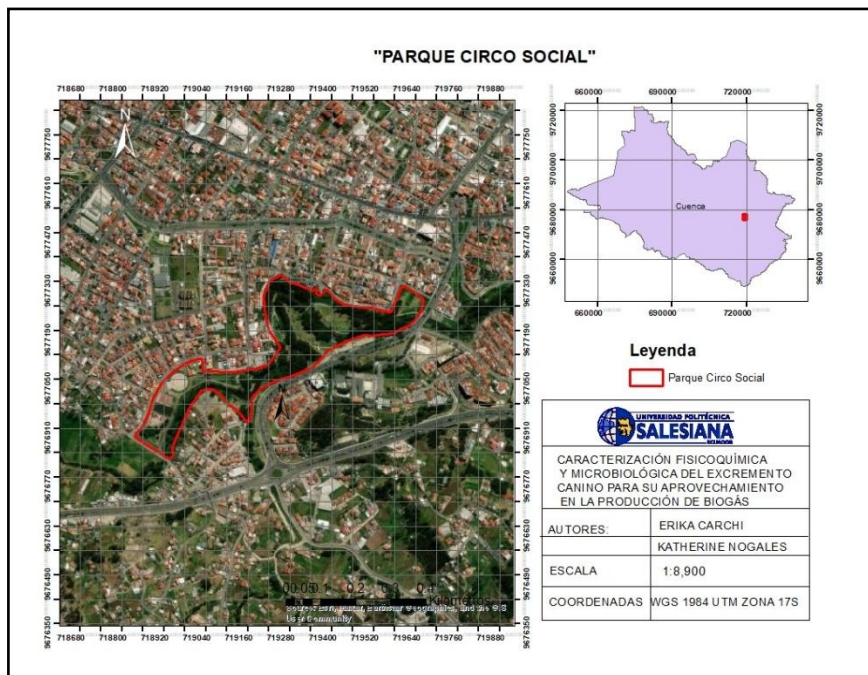
instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Este espacio ha sido seleccionado ya que se está investigando se está realizando en conjunto con el grupo de investigación que tiene el nombre de Grupo De Investigación En Biotecnología Y Ambiente (IMBIAM).

**Mapa 1. Mapa general de los puntos de muestreo**



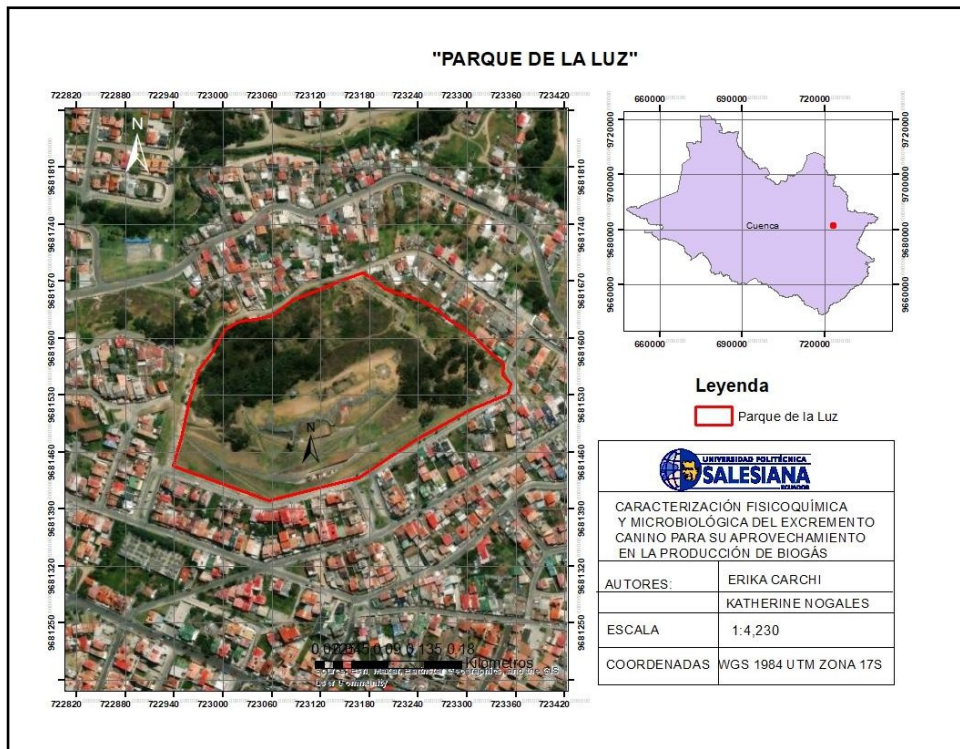
**Fuente:** *Elaboración propia*

**Mapa 2. Mapa de ubicación Parque Circo Social**



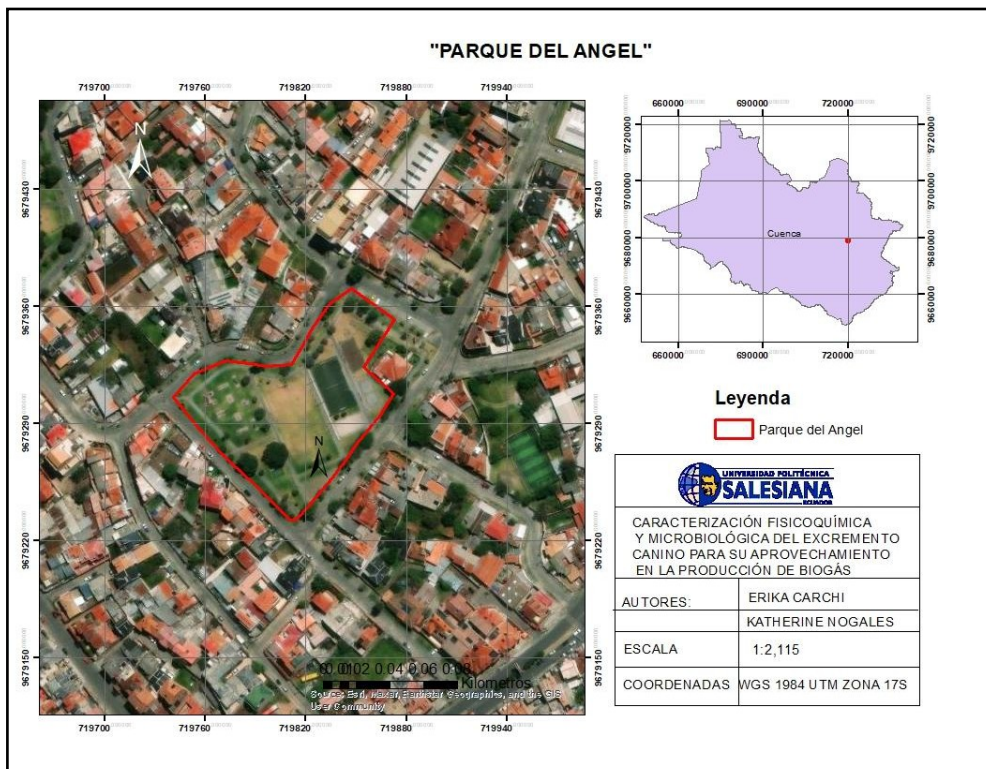


**Mapa 5. Mapa de ubicación Parque de la Luz**



Fuente: Elaboración propia

**Mapa 6. Mapa de ubicación Parque del Ángel**



Fuente: Elaboración propia

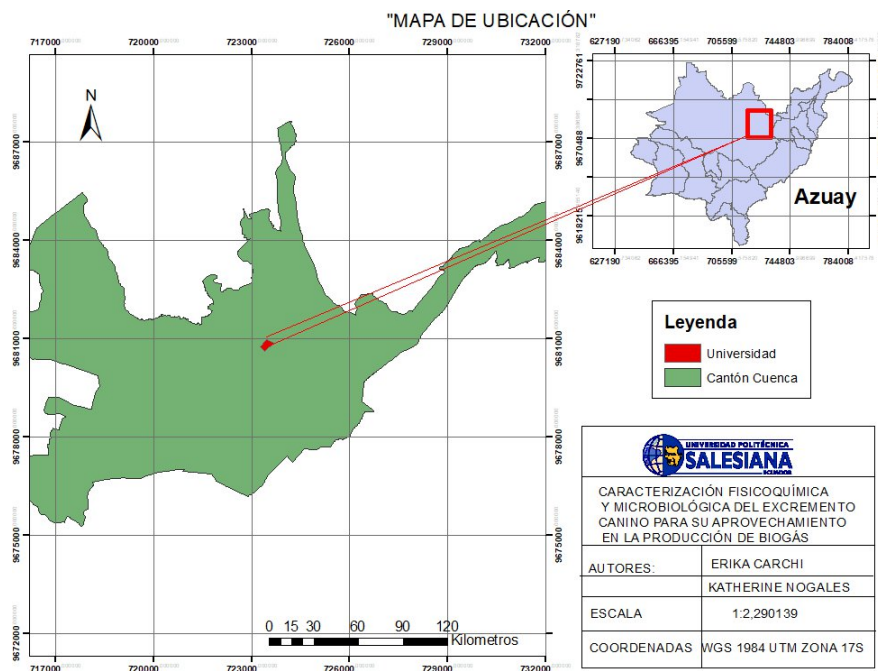
**Tabla 1.** *Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo*

Parque	X	Y
Circo social	718958	9676995
Parque del Ángel	719835	9679304
Parque el Paraíso	723406	9677926
Parque Miraflores	722997	9680990
Parque de la Luz	723141	9681526

**Fuente:** *Elaboración propia*

Por otra parte, el prototipo del biodigestor que se emplea en la presente investigación para evaluar la producción del biogás presente a partir del excremento canino fue construido y puesto en operación/utilizado o almacenado para los análisis correspondientes dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador.

**Mapa 7.** *Mapa de ubicación del Biodigestor*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Tabla 2.** *Coordenadas ubicación biodigestor-Universidad Politécnica Salesiana*

<b>Coordenadas geográficas UPS</b>		
Parque	Latitud Sur	Longitud Occidental
Universidad Politécnica Salesiana	722914.15	9685316.77

**Fuente:** *Elaboración propia*

### ***1.2.2 Delimitación temporal***

El presente proyecto de titulación experimental se desarrollará durante el período comprendido entre el mes de marzo y julio del 2025. Durante este lapso se desarrolla las fases de planificación, recolección de muestras, análisis de laboratorio, interpretación de resultados y redacción del informe final.

### ***1.2.3 Delimitación sectorial***

En la delimitación sectorial el trabajo de investigación se enfoca en el sector urbano, con relación en la gestión de residuos sólidos, a la población urbana y por ende a la salud pública, que de cierta manera beneficia a un entorno más saludable, limpio y sostenible con el medio ambiente.

### ***1.2.4 Delimitación institucional***

El trabajo de investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca, ubicada en el barrio El Vecino, ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. La institución nos facilitó el laboratorio de Recursos Hídricos y sanitario cuenta asimismo se contó con el apoyo del Grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (IMBIAM).

## **1.3 Formulación del problema**

La problemática consiste en el crecimiento de la población de canes en áreas urbanas de la ciudad de Cuenca ha generado una acumulación de el excremento canino en espacios

públicos de la ciudad lo cual representa una dificultad tanto en sentido ambiental y sanitario. Estos residuos, por lo general son manejados de una manera inadecuada, pueden contaminar el suelo, propagar enfermedades y afectar la calidad de vida. Ante la situación que vivimos, se vuelve relevante estudiar sus características fisicoquímicas y microbiológicas a fin de establecer su uso como fuente sostenible de energía.

### ***1.3.1 Preguntas de la investigación***

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del excremento canino recolectado en la ciudad de Cuenca, y de qué manera estas propiedades influyen en su potencial para la producción de biogás mediante la digestión anaerobia?

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis alternativa***

El excremento canino recolectado en la ciudad de Cuenca posee propiedades fisicoquímicas (como un pH cercano a neutro, alto contenido de humedad y una proporción significativa de sólidos volátiles) y microbiológicas (como bacterias facultativas y anaerobias) que lo convierten en un sustrato con buen potencial para la producción de biogás.

### ***1.4.2 Hipótesis nula***

El excremento canino recolectado en la ciudad de Cuenca no presenta las condiciones fisicoquímicas (como un pH adecuado, humedad o proporción de sólidos volátiles) ni microbiológicas necesarias para favorecer un proceso eficiente de digestión anaerobia, por lo que no es viable estimar una producción significativa de biogás a partir de este residuo.

## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo General***

Caracterizar fisicoquímica y microbiológica el excremento canino para su aprovechamiento en la producción de biogás.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Construcción de un prototipo de biorreactor sin la incorporación de sistemas de monitoreo avanzado.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos del excremento, para la determinación de su viabilidad en la producción de biogás.
- Determinar la carga microbiana del excremento canino mediante análisis microbiológico identificando los principales grupos de microorganismos involucrados en la digestión anaerobia.
- Evaluar la optimización de la generación de biogás mediante el cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH) del excremento canino.
- Calcular la producción de biogás

## **2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL**

### **2.1. Energías Renovables**

“Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales como la radiación solar, viento, agua, biomasa y geotermia, que se regeneran de forma continua o en escalas de tiempo humanas, y por tanto son inagotables a escala humana” (Christina, 2004).

### **2.2. Biomasa**

La biomasa es "la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas sustancias de origen vegetal y animal), silvicultura, industrias conexas, incluida la pesca y la acuicultura, así como residuos municipales e industriales biodegradables" (Parlamento Europeo y del Consejo, 2018).

#### ***2.2.1 El ciclo del carbono en la biomasa***

Mientras los combustibles fósiles liberan carbono almacenado durante millones de años, la biomasa participa en un ciclo cerrado del carbono, esto quiere decir que el dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>) emitido durante su uso energético es igual al absorbido durante el crecimiento de la materia orgánica vegetal o animal (EPEC, 2020).

Además del aprovechamiento energético de la biomasa, este permite reducir la acumulación de residuos orgánicos y por ende evitar la contaminación de suelos y aguas subterráneas (EPEC, 2020). En este contexto, el excremento canino representa una fuente de biomasa residual con potencial para la generación de biogás.

### ***2.2.2 Tipos de biomasa***

Se han clasificado diversas categorías de biomasa que pueden ser empleadas como fuente de energía (Corona, 2007) Para este estudio, se ha seleccionado una clasificación más reconocida, que categoriza la biomasa en cuatro tipos diferentes:

#### ***2.2.2.1 Biomasa natural***

Es la materia orgánica que se produce de manera espontánea en la naturaleza, sin la intervención humana (EPEC, 2020), como ramas de árboles, hojas caídas, madera muerta de bosques o pastizales.

(Fernández, 2021) menciona que la biomasa natural representa una fuente de energía principal para pueblos en vías de desarrollo. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional y el incremento en la demanda energética ha llevado a un consumo excesivo de los recursos lo que ha provocado procesos de degradación ambiental como la desertización.

#### ***2.2.2.2 Biomasa residual seca***

Son residuos orgánicos con un bajo contenido de humedad, generados en diversas actividades agrícolas, industrias, forestales o ganaderas, así como en residuos de origen orgánico o en las agroalimentarias y madera (aserrín) (EPEC, 2020).

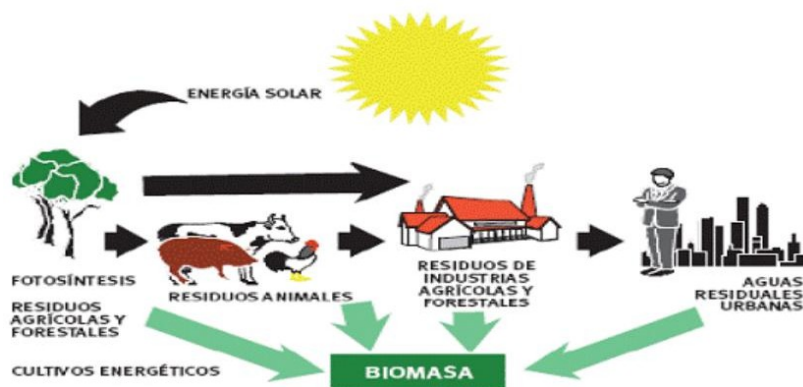
#### ***2.2.2.3 Biomasa residual húmeda***

Se define como biomasa residual húmeda a todos los vertidos biodegradables con un alto contenido de humedad como los residuos ganaderos (guano) y las aguas residuales industriales y urbanas (Corona, 2007).

#### **2.2.2.4 Biomasa de cultivos energéticos**

Materia orgánica producida específicamente para la generación de energía producida a partir de cultivos planteados para este propósito ya sean herbáceas (maíz, caña de azúcar) o cultivos leñosos (sauce, eucalipto). Su finalidad es generar biomasa que puede ser convertida en biocombustibles (Fernández, 2021).

**Figura 1.** *El ciclo del carbono en la biomasa*



**Fuente:** (Gestión-Calidad, 2016)

### **2.3. Residuos orgánicos**

Según Los residuos orgánicos se refieren a todos aquellos materiales que provienen de especies de flora o fauna “es susceptible de descomposición por microorganismos, o bien consisten en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo

#### **2.4. Gestión de residuos sólidos fecales**

La gestión de residuos sólidos fecales caninos es una herramienta que nos permite minimizar la contaminación por los desechos biológicos que impactan directamente en el suelo, además

de problemas en la salud pública como la transmisión de enfermedades por zoonosis. (Ariza, 2016, como se citó en Santos & Villena, 2021).

## **2.5. Composición bioquímica de las heces**

(Grima & Campos, 2020) reportan que el excremento canino contiene, en términos de peso fresco, aprox. 0,7 % de nitrógeno total ( $N_t$ ), 0,25 % de  $P_2O_5$  y 0,02 % de  $K_2O$ . Además, se destaca una desproporción en la relación carbono/nitrógeno, lo que obliga a combinarlo con residuos ricos en carbono para procesos como compostaje o digestión anaerobia.

## **2.6 Impacto en el ambiente de las heces caninas**

Los huevos eliminados por los perros a través de las heces pueden permanecer en el suelo durante largos periodos, desarrollándose hasta alcanzar formas infectantes. Su viabilidad puede extenderse de uno a tres años, dependiendo de los factores ambientales existentes, como la humedad, la exposición solar y la temperatura. Además, representan una notable resistencia a temperaturas extremas, lo que favorece su persistencia y el potencial de contaminación del suelo como fuente de infección ([Castro, 2023](#)).

### ***2.6.1 Contaminación al suelo con excremento caninas.***

Las heces caninas que no son recogidas terminan incorporándose al entorno, ya que pueden ser arrastradas por las lluvias, fragmentadas por el tránsito peatonal o desecadas por la exposición solar. Este proceso facilita su dispersión en forma de partículas suspendidas en el aire, los cuales pueden transportar agentes patógenos ([Castro, 2023](#)).

### **2.6.2 Eutrofización**

La eutrofización es un fenómeno que afecta a los cuerpos de agua, como lagos, ríos y mares, y que se caracteriza por un enriquecimiento excesivo de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, en el agua. Estos nutrientes provienen principalmente de actividades

humanas, como la agricultura intensiva, la industria y el tratamiento de aguas residuales (Anderson, 2019)

## **2.7. Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia (DA) es un proceso biológico complejo y degradativo, en el que diversos microorganismos, en ausencia de oxígeno, degradan parcialmente la materia orgánica presente en residuos animales, vegetales u otros desechos biodegradables ([FAO 2011](#)). En este proceso, bacterias fermentativas y acetogénicas, junto con arqueas metanogénicas, transforman la materia orgánica en productos finales como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ). Este proceso consta de cuatro etapas secuenciales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Castro Rivera et al., 2019).

### ***2.7.1 Proceso de digestión anaerobia***

Según Guerrero et al. (2011) durante el proceso de respiración anaerobia, los microorganismos presentes llevan a cabo procesos metabólicos sin la presencia de oxígeno, esto quiere decir que el receptor final de los electrones no es el oxígeno, en este caso las moléculas utilizadas como fuente de energía son principalmente la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos.

### ***2.7.2 Etapas de la fermentación anaerobia***

#### ***2.7.2.1 Hidrólisis***

El proceso de digestión anaerobia comienza con la hidrólisis, etapa en la que las macromoléculas presentes en los residuos orgánicos son degradadas por enzimas extracelulares liberadas por microorganismos fermentativos. Este compuesto da lugar a compuesto más simples y solubles, los cuales posteriormente son transformados por bacterias acidogénicas (FAO, 2011).

#### *2.7.2.2 Acidogénesis*

Durante la acidogénesis, las bacterias fermentativas transforman compuestos orgánicos solubles en metabolismos como ácido acético, fórmico e hidrógeno, aprovechables para las arqueas metanogénicas. También generan ácidos más reducidos que serán oxidados en la siguiente fase por bacterias acetogénicas (FAO, 2011).

#### *2.7.2.3. Acetogénesis*

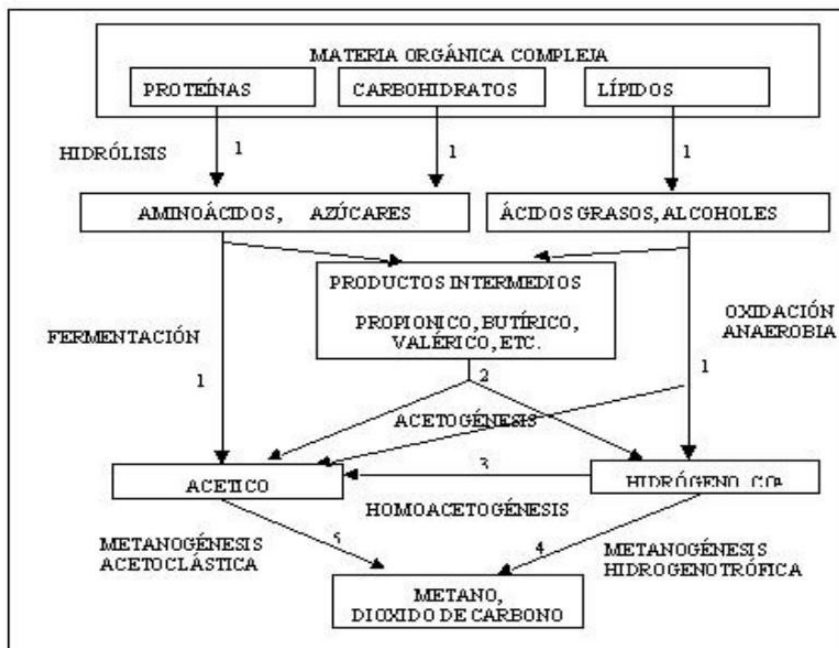
En esta etapa los productos complejos de la fermentación, como etanol, ácidos grasos volátiles y compuestos aromáticos, son convertidos en compuestos simples como acetato e hidrógeno por bacterias acetogénicas a partir de  $\text{HO}_2$  y  $\text{CO}_2$ , ayudando a mantener bajas presiones parciales de hidrógeno y favoreciendo la actividad de los otros microorganismos. Al final de esta fase, los productos generados, principalmente ácidos volátiles simples, serán utilizados como sustrato por las arqueas metanogénicas en la siguiente etapa. ([FAO 2011](#)).

#### **2.7.2.4. Metanogénesis**

En la metanogénesis arqueas estrictamente anaerobias transforman compuestos como acetato,  $\text{HO}_2/\text{CO}_2$ , formato y metanol en metano, completando la digestión anaerobia. Se agrupan en metanógenos hidrogenotróficos y acetoclásticos, siendo estos últimos responsables de hasta el 70% del metano producido a partir del ácido acético. Además de generar energía, eliminan productos intermedios y estabilizan el sistema anaerobio ([FAO 2011](#)).

La siguiente imagen presenta los procesos de digestión anaerobia y a su vez los microorganismos relacionados.

**Figura 2. Procesos anaerobios**



**Fuente:** *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*, Nuria Martí Ortega, como se cita en (Guerrero et al., 2011)

De acuerdo con Guerrero et al. (2011) “Los números indican la población de bacterias responsables del proceso: 1; bacterias fermentativas, 2; bacterias acetogénicas que producen hidrógeno, 3; bacterias homoacetogénicas, 4; bacterias metanogénicas hidrogenotróficas, 5; bacterias metanogénicas acetoclásticas”.

## 2.8. Compostaje

El compost es un abono orgánico que sirve para mejorar la tierra y para alimentar las plantas. Para hacer compost se pueden aprovechar los residuos vegetales del jardín y del hogar. Por cada 100 kg de restos orgánicos se obtienen 30 kg de abono (Peñaherrera et al., 2021).

## 2.9. Parámetros fisicoquímicos

### 2.9.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

“El pH es una variable crítica en el funcionamiento de biorreactores, ya que afecta la actividad enzimática y la proliferación microbiana. Mantener un pH óptimo es esencial para maximizar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia y producción de biogás” (Mata-Alvarez et al., 2000).

### ***2.9.2 Temperatura***

La temperatura es uno de los factores más importantes que afectan la actividad microbiana dentro de un digestor anaeróbico, y la producción de metano es fuertemente dependiente de la temperatura. Las fluctuaciones en la temperatura afectan la actividad de las bacterias productoras de metano a un rango mayor que la temperatura de trabajo (Aguilar, 2013).

### ***2.9.3 Tiempo de retención hidráulica (TRH)***

“El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es un parámetro fundamental en los biorreactores anaerobios, ya que determina el tiempo que el sustrato permanece dentro del reactor, afectando la eficiencia de la digestión y la producción de biogás. Un TRH adecuado permite la completa degradación de la materia orgánica y estabilidad del proceso” (Appels et al., 2008).

### ***2.9.4 Tasa de carga orgánica***

La tasa de carga orgánica (TLO) se refiere a la cantidad de materia orgánica por unidad de volumen del reactor que se somete a biodigestión en un período determinado. La carga de lodos en los n de biohidrógeno (Siddique & Wahid, 2018).

### ***2.9.5 Relación C/N***

La eficiencia de la digestión anaeróbica depende de las concentraciones de carbono y nitrógeno. La relación C/N óptima para la digestión anaeróbica está entre 20:1 y 30:1. La relación carbono-nitrógeno en la materia prima debe ser de alrededor de 30:1 para un

rendimiento óptimo. El nitrógeno es utilizado por las bacterias metanogénicas para satisfacer sus necesidades proteicas. El carbono sirve como fuente de energía para los microbios, mientras que el nitrógeno promueve el desarrollo microbiano. Cuando el nitrógeno es escaso, las poblaciones microbianas son pequeñas y la descomposición del carbono restante tarda más. Por lo tanto, cuando la relación C/N es superior al rango ideal, las bacterias utilizan rápidamente el nitrógeno, lo que impide que el carbono adicional en la materia prima reaccione y reduzca el rendimiento del biogás (Saikat et al., 2022).

#### ***2.9.6. Sólidos Totales (ST)***

“Corresponden a la masa de sólidos presentes en una muestra tras eliminar toda el agua, generalmente secando a 105 °C. Representan la materia seca total del sustrato, tanto orgánica como inorgánica”(Aboudi et al., 2016).

#### ***2.9.7. Sólidos Volátiles (SV)***

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

#### ***2.9.8. Sólidos fijos (SF)***

Los sólidos fijos, también conocidos como ash content, son la fracción inorgánica de los sólidos totales. Tras secar la muestra, se calienta a ~550 °C para volatilizar la materia orgánica. La materia restante arenas, sales, minerales corresponde a los sólidos fijos, los cuales no contribuyen a la producción de biogás y pueden influir en la operación del biodigestor, afectando su capacidad y la calidad del digestato(University of Florida IFAS Extension, 2012).

### **2.10. Análisis microbiológico**

(Mejía & Zelada, 2019) Afirman que: “El análisis microbiológico, es el cuál determina si presenta o no patógenos y, en caso de ser positivo, su carga (cantidad) y grado de patogenicidad. Los análisis microbiológicos se basan habitualmente en el cultivo y recuento de los microorganismos”.

### **2.10.1. Microbiología**

“La microbiología estudia los organismos que son demasiado pequeños para ser claramente percibidos a simple vista, y que se denominan microorganismos” (Staner et al., 1995).

### **2.10.2. Microorganismos**

Los microorganismos, o microbios, son organismos minúsculos que solo pueden observarse mediante microscopio; incluyen bacterias, arqueas, hongos, protozoos y algunos protistas, y desempeñan roles esenciales tanto en procesos ecológicos como en la salud humana, la industria y la agricultura (Pelczar & Pelczar, 2024).

### **2.10.3 Microorganismos presentes en heces caninas**

#### **2.10.3.1. *Escherichia coli*.**

*E. coli* forma parte del grupo de los coliformes fecales y habita exclusivamente en el sistema digestivo de animales y humanos. Es una bacteria Gram negativa con forma de bacilo, que puede presentarse sola o en pares, y posee un metabolismo fermentativo. Es anaerobia facultativa y puede ser móvil gracias a flagelos distribuidos en su superficie. Esta bacteria es una de las principales causantes de infecciones, y su resistencia a múltiples antibióticos representa un problema de salud pública a nivel mundial (Mancheno & Ponce, 2022).

#### 2.10.3.2. *Shigella spp.*

“*Shigella* es un género de bacterias de forma bacilar, Gram-negativas, inmóviles y no formadoras de esporas, perteneciente a la familia Enterobacteriaceae, capaz de causar disentería bacilar o shigelosis” (The Editors of Encyclopaedia Britannica., 2025).

#### 2.10.3.3. *Salmonella*

“*Salmonella*, del género *Salmonella*, es un grupo de bacterias bacilares, gramnegativas, anaerobias facultativas, cuyo hábitat principal es el tracto intestinal de humanos y otros animales. Algunas especies causan enfermedades que abarcan desde gastroenteritis leve hasta infecciones graves conocidas como salmonelosis” (The Editors of Encyclopaedia Britannica., 2025).

#### 2.10.3.4. *Coliformes totales*

Los coliformes totales comprenden un grupo diverso de bacterias con forma de bacilo, que pueden crecer en condiciones aeróbicas o anaeróbicas facultativas. Son Gram negativas, no forman esporas y tienen la capacidad de fermentar lactosa, generando compuestos como ácido o aldehído en un periodo de 24 horas, incluso en medios con altas concentraciones de sales biliares, a una temperatura de 35-37°C.

#### 2.10.3.5. *Coliformes fecales*

“Los coliformes fecales son un subconjunto del grupo de bacterias coliformes, caracterizados por su capacidad de fermentar lactosa a temperaturas elevadas (44.5 °C), lo que indica su origen en el intestino de animales de sangre caliente. Son utilizados como indicadores microbiológicos específicos para detectar contaminación fecal reciente en agua y alimentos, debido a su estrecha asociación con la materia fecal”

## **2.11. Metano**

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es el componente principal del biogás generado durante la digestión anaerobia de materia orgánica. Por lo general constituye entre 50 % y 80 % del biogás, siendo su fracción con mayor valor energético. Se genera por la acción de arqueas metanogénicas en condiciones sin oxígeno y puede ser utilizado como fuente de energía renovable, equivalente al gas natural (Angelidaki et al., 2018a).

## **2.12. Biogás**

El biogás es una mezcla gaseosa producto de la descomposición de la materia orgánica, resultante del proceso de digestión anaerobia, formada principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas porciones de otros gases. Este biocombustible renovable se forma en ausencia de oxígeno, y por sus propiedades, presenta similitud con el gas natural (C. Díaz, 2020)

La generación de biogás depende en gran medida de factores como: la temperatura, el pH, la relación C/N. El biogás se produce a partir de la biodegradación de materiales orgánicos y esto se lleva a cabo mediante microorganismos, principalmente bacterias como *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides*. Y a su vez, como materia prima se puede utilizar el estiércol de vaca, estiércol de cerdo, residuos de cocina, hierba y materia orgánica en general (Durazno, 2018).

El biogás es considerado como fuente de energía renovable que se origina de manera paralela a la formación de los biofertilizantes, este gas puede ser utilizado como combustible, así como también para la generación de electricidad y calor (Cabos Sánchez et al., 2023)

### 2.12.1 Composición del biogás

“El biogás que se produce naturalmente por la fermentación de la materia orgánica tiene un alto valor energético que permite producir CH<sub>4</sub>” (Durazno, 2018). Este biogás se produce en sistemas diseñados para este fin, mediante la actividad de bacterias metanogénicas mismas que actúan en condiciones anaerobias. De acuerdo con Corona (2007) “Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás” (p. 18).

La composición del biogás es variable ya que depende del material digerido y del funcionamiento del proceso, pero en líneas generales sería:

**Tabla 3.** *Composición del biogás*

Componentes	Formula Química	Porcentaje
Metano	CH <sub>4</sub>	55-80
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	20 -45
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	1
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxigeno	O <sub>2</sub>	0,1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,1
Agua	H <sub>2</sub> O	0,05

**Fuente:** *Savran et al., 2012 como se cita en (Durazno, 2018).*

### 2.13. Biodigestores

Un biodigestor es un reactor cerrado de cualquier tamaño, forma y material; donde se almacena materia orgánica mezclada con agua (Corona, 2007), aquí se lleva a cabo un proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica, con el objetivo de generar biogás como subproducto aprovechable. La estructura fundamental de un biodigestor incluye: una

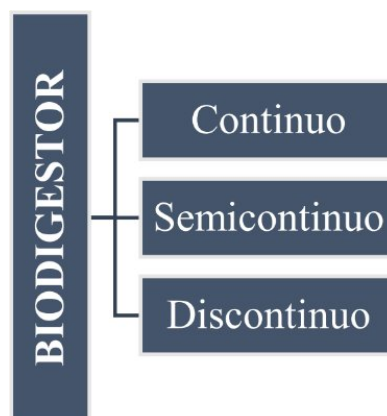
zona de premezclado, digestor, sistema de recolección de biogás y un mecanismo para la distribución del efluente generado (Durazno, 2018).

Al indicar que un biodigestor puede adoptar diversas formas, se hace referencia a la posibilidad de utilizar estructuras esféricas, semiesféricas, cilíndricas o rectangulares. La elección de la forma depende de las preferencias del usuario y las facilidades disponibles para construcción (Corona, 2007).

### 2.13.1 Tipos de biodigestores

Los biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso se clasifican en tres tipos; continuos, semicontinuos y discontinuos (Durazno, 2018)

**Figura 3.** Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso



**Fuente:** (De la Merced Jiménez, 2012, como se cita en Durazno, 2018)

#### 2.13.1.1. Biodigestor de flujo continuo

Un biodigestor de flujo continuo es aquel que carga y descarga el material a fermentar de manera periódica o continua por lo general todos los días (ejm. Una vez al día cada 12 horas) (C. Díaz, 2020). Cuenta con un tanque de postdigestión (TDP) en el cual se almacenan los lodos residuales, es decir la cantidad de materia orgánica colocada en el

biodigestor será la misma que saldrá en el tanque de postgestión (TDP), por ende, el nivel del biodigestor se mantiene constante (Durazno, 2018).

**Figura 4.** *Biodigestor de flujo continuo*



**Fuente:** Obtenido de, Díaz, 2020, p. 31.

#### **2.13.1.2. Biodigestor de flujo semicontinuo**

En un biodigestor de flujo semicontinuo el estiércol digerido permanece almacenado dentro del biodigestor, sin embargo, una de las principales desventajas de este proceso es que la digestión de los lodos no se completa en su totalidad, lo que reduce la eficiencia en la producción de biogás en comparación con los biodigestores de tipo batch o flujo continuo (Corona, 2007).

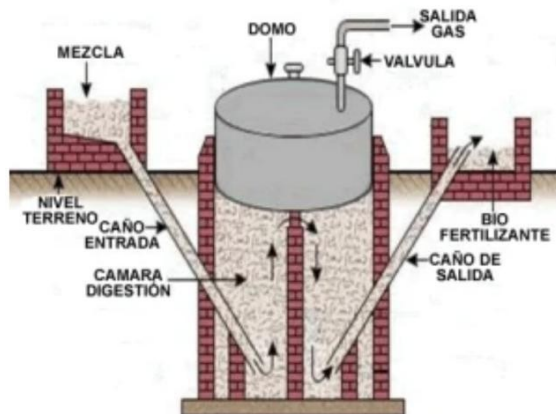
##### **I. Tipo Hindú (domo móvil)**

Un biodigestor de tipo hindú/modelo indio o también conocido de domo flotante es un sistema subterráneo parecido al biodigestor tipo chino que su componente principal una campana o domo de acero que se mantiene flotando en el líquido debido al biogás retenido en su interior (Rodríguez, n.d.).

Según (Corona, 2007) dentro de las principales ventajas del modelo tipo hindú se destaca su fácil y sencilla comprensión, ya que en este modelo se puede observar directamente el volumen del biogás almacenado esto gracias al movimiento que realiza la

campana o el domo flotante. Además, la presión del gas se mantiene constante. Sin embargo, este sistema presenta algunas desventajas debido a los altos costos asociados a la fabricación del tambor metálicos, así como la vulnerabilidad a la corrosión, lo que reduce la vida útil del sistema, a esto se suma la aplicación de pintura anticorrosiva para la preservación de partes metálicas y costos de mantenimiento constante (pág. 25).

**Figura 5.** *Biodigestor flotante (Tipo Hindú)*



**Fuente:** (Corona, 2007)

**Figura 6.** *Biodigestor campana flotante (Tipo Hindú)*



**Fuente:** (Rodriguez, n.d.)

## II. Tipo Chino (domo fijo)

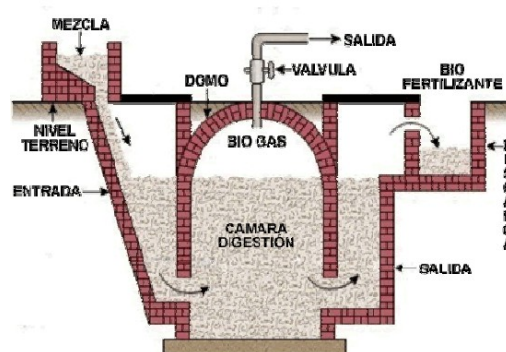
El biodigestor de cúpula fija o tipo chino es una estructura construida de manera permanente consiste en un sistema fijo e inmóvil, aquí se almacena el gas. En donde la cámara de almacenamiento del biogás forma parte del mismo biodigestor (Corona, 2007)

En este sistema el gas que se genera se acumula dentro de la campana fija (2), generando una presión variable, este depende de la cantidad de gas almacenado. Dentro de este sistema la alimentación (3) se realiza de manera semicontinua en el tanque (1), es decir colocando una carga inicial del sustrato que cubra aproximadamente el 70% de la capacidad total del biodigestor (Durazno, 2018).

La presión generada por el gas dentro del biodigestor depende en su totalidad del volumen acumulado y la diferencia de niveles entre el tanque de compensación y el digestor principal (4). Transcurrido los 120 a 180 días, se realiza una descarga completa del contenido del biodigestor (Durazno, 2018).

Este tipo de biodigestores se construyen generalmente con materiales resistentes como el acero, bloques de hormigón, cemento y ladrillo, aunque requiera mayor inversión inicial, otorga mayor durabilidad y resistencia.

**Figura 7.** Biodigestor cúpula fija (Tipo Chino)



**Fuente:** (Corona, 2007)

**Figura 8.** Biodigestor cúpula fija en construcción



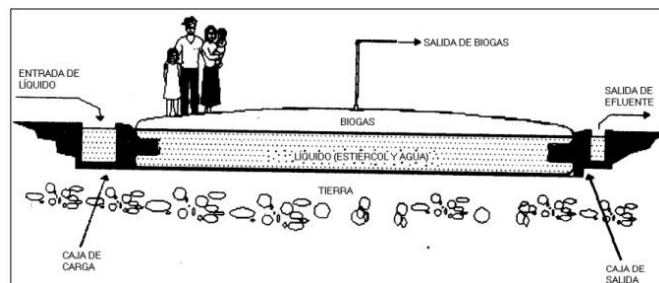
**Fuente:** (Corona, 2007)

### III. Biodigestor tubular (Tipo Taiwán)

El biodigestor tubular plástico es una estructura alargada de polietileno con una relación largo-ancho de aproximadamente 5:1, que se instala en una fosa o trinchera. Este biodigestor tiene una vida útil de 5 años, inferior a la de un biodigestor de cúpula fija (Durazno, 2018).

La construcción y mantenimiento requiere de una baja inversión y conocimientos técnicos mínimos, es por eso por lo que este sistema se ha convertido en una alternativa económica para la producción de biogás.

**Figura 9.** Biodigestor tubular (Tipo Taiwán)



**Fuente:** (Durazno, 2018, como se cita en Jesús et al., 2001)

### 2.13.1.3. Biodigestor de flujo discontinuo

Los biodigestores de flujo discontinuo o de tipo batch, se caracterizan debido a que la carga con materia orgánica se realiza una sola vez, mismo que permanece en operación durante un periodo de tiempo estimado, transcurrido este tiempo el contenido es vaciado completamente (Guerrero et al., 2011).

Este tipo de sistema requiere de mayor mano de obra y un área destinada para el almacenamiento de la materia prima, esto si su generación es constante, a su vez se necesita un depósito adecuado para el biogás, ya que la producción de gas presenta variaciones significativas a lo largo del proceso (C. Díaz, 2020).

Para este trabajo se optó por la construcción de un prototipo de biorreactor de tipo discontinuo o tipo batch a pequeña escala utilizando materiales accesibles como (balde, plástico, boya, manguera), con el objetivo de simular el funcionamiento básico de este tipo de sistema.

Por esta razón, se incluye una imagen representativa del prototipo desarrollado, ya que la imagen refleja con mayor precisión las condiciones reales del experimento y así tener una comprensión más detallada y clara del diseño de operación que se implementó.

**Figura 10.** *Biodigestor de flujo discontinuo*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 11.** *Biodigestor de flujo discontinuo*



**Fuente:** *Rodrigo Franco*

### ***2.13.2 Partes de un digestor***

El prototipo de biodigestor está desarrollado con materiales básicos pero funcionales, que permiten la digestión anaerobia del excremento canino y la producción de biogás.

### **2.13.2.1 Recipiente de carga (premezclado)**

Se utiliza un balde plástico hermético como cámara de digestión, el mismo cumple la función de recipiente de carga. En este recipiente se introduce directamente la mezcla de excremento canino y agua, previamente homogenizada.

### **2.13.2.2 Cámara de digestión**

La fermentación se realiza dentro del mismo balde, donde se lleva a cabo el proceso biológico de descomposición anaerobia. La materia orgánica permanece en la cámara durante un tiempo determinado, generando el biogás como subproducto del metabolismo microbiano.

### **2.13.2.3 Sistema de captación y medición de biogás**

El gas producido en el interior del balde es conducido a través de una manguera hacia una cámara de almacenamiento, en este caso se ha optado por utilizar una llanta inflable, permitiendo visualizar el incremento de presión.

### **2.13.2.4 Sistema de conducción**

Se utiliza mangueras resistentes para conectar el balde con la cámara de almacenamiento de biogás. Las conexiones han sido selladas con accesorios metálicos adecuados para evitar cualquier tipo de fuga.

**Figura 12.** *Biodigestor de flujo discontinuo*



**Fuente:** *Elaboración propia*

### **2.13.3 Condiciones para la digestión anaerobia**

El desempeño adecuado de un biodigestor anaerobio depende del control y mantenimiento de ciertos parámetros fisicoquímicos importantes para el proceso de digestión. Según Guerrero et al. (2011) y (Martínez, n.d.) las condiciones generales en un biodigestor anaerobio son las siguientes:

#### **2.13.3.1 Temperatura**

La temperatura es fundamental para la generación de biogás, ya que los microorganismos responsables del proceso de digestión anaerobia disminuyen significativamente su actividad fuera de los rangos térmicos adecuados (Díaz, 2020).

Según (Martínez, n.d.) existen tres intervalos de temperatura en los cuales las bacterias anaeróbicas pueden operar:

**Figura 13.** *Temperaturas de operación de las bacterias en biodigestores*

Temperaturas superiores a 35°C	Termofilico
Entre 15°C y 35°C	Mesofilico
Entre 0°C y 15°C	Psicrofilico

**Fuente:** *(Adaptada de Hartz K, 1981, citado en (Martínez, n.d.)*

Lo cual indica que la velocidad de fermentación es mucho más alta en el rango termófilo, seguida por el mesófilo y finalmente el psicrófilo. Es por eso que, a menos temperatura, el tiempo de retención (TRH) de los residuos orgánicos dentro del biodigestor tiende a incrementar (Martínez, n.d.)

### **2.13.3.2. pH**

Este parámetro regula el entorno químico en el que ocurre la fermentación de la materia orgánica. Según un pH óptimo debe situarse entre 6.5 y 7.5 ya que al estar fuera de este rango existe el riesgo de descomponerse y como consecuencia de la descomposición esta afecta negativamente el proceso y genera malos olores.

### **2.13.3.3. Ausencia de oxígeno**

El contenedor debe estar completamente sellado para impedir la entrada de oxígeno, garantizado así un proceso anaeróbico correcto.

### **2.13.3.4. Humedad**

De acuerdo con Díaz (2020) el contenido de humedad de la materia orgánica debe mantenerse en un rango óptimo de entre 80 y 90%, ya que este nivel favorece la actividad microbiológica y garantiza un ambiente adecuado para la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias.

### **2.13.3.5 Materia orgánica**

El sustrato para colocar debe ser rico en materia orgánica biodegradable, ya que es la principal fuente de energía para los microorganismos.

### **2.13.3.6 Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Este será el periodo de tiempo en el cual se debe permanecer la cantidad de materia orgánica dentro del biodigestor. Este parámetro está relacionado con la temperatura, ya que si la temperatura es alta, el TRH será menor, mientras que en condiciones bajas de temperatura se requiere prolongar dicho tiempo (Martinez).

**Figura 14.** *Tiempo de retención de materia orgánica de origen animal*

<b>Temp (°C)</b>	<b>Tiempo retención (días)</b>
37	45
32	60
28	90

**Fuente:** *(Adaptada de Hartz K, 1981, citado en Martinez, sf)*

## **2.15. Revisión y análisis bibliográfico y documental**

En la ciudad de Cuenca no se han desarrollado investigaciones previas que aborden la implementación de biodigestores utilizando excremento canino. Asimismo, no se han encontrado estudios referentes al análisis y caracterización fisicoquímica y microbiológica del excremento canino. La ausencia de información técnica representa una limitación para el desarrollo de estrategias sostenibles del manejo adecuado de estos desechos. Por ello, el presente proyecto busca generar información y datos relevantes y confiables, mismos que servirán como base para futuras investigaciones, promoviendo el aprovechamiento de heces caninas como recurso energético y así contribuir a una gestión ambiental adecuada de estos desechos.

### **2.15.1. Antecedentes internacionales**

De acuerdo con un estudio realizado por [Díaz \(2020\)](#) en Colombia, Bogotá, el excremento canino representa un riesgo tanto para la salud pública como para el medio ambiente. Debido a la presencia de diversos microorganismos patógenos presentes en las heces, estos residuos al quedar expuestos al aire libre, puede secarse, pulverizarse y dispersarse en partículas muy pequeñas, generando contaminación en el ambiente.

En el trabajo desarrollado por [Gómez et al., \(2025\)](#), en la Universidad ECCI, en San Cristóbal, Bogotá, se determinó la viabilidad en la generación de biogás a partir de heces

caninas, mediante un proceso de digestión anaerobia. En este estudio se propuso e implementó un proceso experimental, mismo que constó de cuatro etapas: La recolección de heces caninas y producción de biogás como etapa inicial, caracterización del biogás, producción a escala de laboratorio y la eficiencia energética mediante simulación en DWSIM, SWSIM tiene la finalidad de evaluar la energía liberada durante la combustión de cada muestra, obteniendo resultados positivos con respecto a la producción de metano y la viabilidad del uso de este biogás como fuente de energía térmica.

Un proyecto realizado en Bogotá, Colombia, por [Becerra y Sánchez \(2020\)](#), exploró que el compostaje es una estrategia factible para el aprovechamiento de heces caninas con el objetivo de generar compost orgánico que sea útil para la recuperación de suelos degradados. El estudio demostró que al utilizar este residuo se obtiene compost, un abono natural que sirve para aportar nutrientes al suelo. Asimismo, se destaca el uso en la agricultura, ganadería y ornamentación disminuyendo el uso de fertilizantes químicos. Este proceso reduce la carga microbiana presente en las heces y permite así la transformación en abono para suelos degradados. Beneficiando al medio ambiente al aprovechar residuos orgánicos en compost.

### ***2.15.2. Antecedentes nacionales***

En el estudio titulado “Prevalencia de *Salmonella* spp, en heces caninas y de paloma doméstica en el Parque “La Carolina” en la Universidad Central del Ecuador, por [Cangui y Delgado \(2019\)](#) realizaron un análisis microbiológico, en donde tomaron 100 muestras de excremento de cada animal, recolectados en espacios públicos con una alta concurrencia dentro de la ciudad de Quito, con el objetivo de identificar la presencia de *Salmonella* spp., una bacteria patógena de importancia zoonótica. En el estudio realizado utilizaron métodos microbiológicos tradicionales para detectar *Salmonella* spp., en heces caninas y de paloma y determinar cuál incide más en la presencia de *Salmonella*. El análisis reveló una prevalencia del 3% en excremento canino y un 5% en heces de paloma doméstica. Lo cual evidencia un

riesgo sanitario significativo para la población debido a la presencia de microorganismos patógenos asociados a las excretas caninas y de paloma en zonas urbanas de la ciudad.

Leoro et al. (2017), Evaluó una alta prevalencia de *Escherichia coli* multirresistente en 50 muestras de heces caninas recolectadas en un parque público en Quito-Ecuador. Las cepas fueron aisladas utilizando medios selectivos con ceftriaxona y caracterizadas mediante pruebas microbiológicas. En donde el 48% de las muestras resultaron positivas a *E. coli* productora de BLEE y resistente a tres o más familias de antibióticos. Estos resultados evidencian que las excretas caninas pueden ser reservorio de bacterias multirresistentes, lo cual representar un riesgo para la salud pública en espacios urbanos.

En Guayaquil, [Solórzano \(2020\)](#) estableció un sistema piloto para estabilizar el material vegetal seco con heces de perro, lo cual demostró un buen rendimiento para la producción de biogás. El mismo indica que al generar biogás presenta una estrategia para mitigar los efectos ambientales debido a la acumulación de excremento en áreas públicas, contribuyendo a la vez a la generación de energías renovables.

Según lo planteado por Osejos et al. (2018) en Jipijapa, Ecuador, la aplicación de procesos de digestión anaeróbica utilizando estiércol porcino como materia prima en biodigestores continuos ha demostrado ser una manera eficiente de aprovechar los residuos orgánicos para la producción de biogás, ayudando así a reducir la contaminación y el enriquecimiento productivo dentro de su proceso y a la vez permite la producción de energía renovable en forma de biogás. Esta investigación justifica la producción de biogás a partir de heces de animales y por ende aprueba trabajos comparables de otros recursos de biomasa, como las heces de canes.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC \(2023\)](#), existen aproximadamente 1'624.803 canes que habitan en hogares ecuatorianos, a diferencia de los

356.509 felinos. Sin embargo, no existe un registro oficial de la población canina en situación de calle lo que dificulta la gestión de los residuos. El acopio de excremento canino en espacios públicos, más la falta de políticas ambientales efectivas para su manejo y disposición final, resultan la necesidad de alternativas sostenibles para el aprovechamiento de estos residuos.

## **2.16 Marco Legal**

### ***2.16.1 Constitución de la República del Ecuador***

De acuerdo con la *Constitución de la República del Ecuador (CRE, 2008)*, se reconocen derechos fundamentales relacionados con el ambiente y el desarrollo sostenible los siguientes:

**Art. 14.-** “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay...*” (CRE, 2008, art. 14)

**Art. 15.-** “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto...”(CRE, 2008, art. 15)

**Art. 71.-** La naturaleza [...] donde se realiza la vida, tiene derecho de ser respetada integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. (CRE, 2008, art. 71)

**Art. 276.-** Uno de los objetivos del régimen de desarrollo es promover la protección y recuperación de la naturaleza, asegurando un ambiente sostenible y saludable que garantice a las personas y comunidades disfrutar de manera justa, continua y adecuada de la calidad del

aire, agua y suelo, así como de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural...(CRE, 2008, art. 276)

**Art. 415.-** Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (CRE, 2008).

### ***2.16.2 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”***

El *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. (PND, 2017) constituye el principal instrumento de planificación del Estado, el mismo que orienta las políticas públicas y estratégicas del país hacia el desarrollo sostenible y la protección ambiental. Dicho esto, se incluyen los objetivos y políticas directamente relacionados con la gestión ambiental y sostenibilidad (PND, 2017).

**Objetivo 3.-** Se propone como objetivo fundamental el garantizar los derechos de la naturaleza en beneficio de las generaciones actuales y futuras (PND, 2017, obj. 3).

**Política 3.4-** Busca fomentar buenas prácticas ambientales responsables que contribuyan a la reducción de la contaminación, fortalecer la conservación ambiental, así como impulsar acciones de mitigación y la adaptación frente a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (PND, 2017, pol. 3.4).

**Política 3.7-** Establece la importancia de incentivar la producción y consumo sostenible sustentados en los principios de la economía circular y bioeconomía, promoviendo así el reciclaje y reduciendo los impactos negativos del consumo, combatiendo la obsolescencia programada (PND, 2017, pol. 3.7).

### ***2.16.3 Código Orgánico del Ambiental (COA)***

El *Código Orgánico del Ambiente (COA)* regula las políticas y principios que rigen la gestión ambiental en Ecuador, estableciendo las bases legales para la conservación y uso sostenible del medio ambiente (COA, 2017).

**Art. 9.-** El código establece que todas las decisiones y acciones relacionadas con el medio ambiente, ya sean públicas o privadas deben basarse en principios ambientales de acuerdo a lo establecido en la Constitución y en los instrumentos internacionales ratificados por el Estado. Estos principios ambientales guían el uso, conservación y manejo sostenible del ambiente (COA, 2017, art. 9).

**Art. 27.-** 7. Creación de normas y procedimientos que regulen la gestión integral de los residuos y desechos, con el objetivo de prevenir su generación, fomentar su aprovechamiento o garantizar la disposición final adecuada, según corresponda (COA, 2017, art. 27.-7).

**Art. 224.-** La gestión integral de los residuos y desechos está bajo la responsabilidad estatal, y su propósito es contribuir al desarrollo sostenible, a través de políticas nacionales e intersectoriales que regulen todas las fases de manejo de dichos residuos conforme con lo dispuesto por del Sistema Único de Manejo Ambiental (COA, 2017, art. 224).

**Art. 226.-** Establece los principios de jerarquización para la gestión de residuos de la siguiente manera; 1. Prevención; 2. Minimización en la fuente; 3. Aprovechamiento o valorización; 4. Eliminación; y, 5. Disposición final (COA, 2017, art. 226).

#### ***2.16.4 Reglamento al Código Orgánico del Ambiental (RCOA)***

El *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA)* complementa y detalla las disposiciones del COA, estableciendo normas específicas para la gestión ambiental, como el aprovechamiento de los residuos sólidos (RCOA, 2019).

**Art. 593.-** Define el aprovechamiento como un conjunto de actividades procedimientos que permiten reintegrar los residuos sólidos al ciclo productivo y económico mediante una gestión integral, en donde se puede aplicar métodos como la reutilización, el reciclaje, la producción de energía u otros que aporten beneficios sanitarios, sociales, ambientales y económicos (RCOA, 2019, art. 593).

Dentro de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos No Peligrosos, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, están obligados a desarrollar, ejecutar y actualizar un apartado dedicado al aprovechamiento, dando preferencia a los recicladores de base y a diversas organizaciones que estén vinculadas a la economía popular y solidaria

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, previa justificación adecuada, pueden solicitar permiso a la Autoridad Ambiental Nacional para realizar el debido aprovechamiento orientado a la generación de energía

**Art. 594.-** La Autoridad Ambiental Nacional deberá definir objetivos relacionados con la recuperación de residuos reciclables y el aprovechamiento adecuado de residuos orgánicos (RCOA, 2019, art. 594).

**Art. 668.-** La Autoridad Ambiental Nacional deberá elaborar la Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible, la cual establecerá directrices para fomentar buenas

prácticas sostenibles en la producción y el consumo (RCOA, 2019, art 668), entre estos criterios se incluyen;

h) Reducción en la generación de desechos y promover el aprovechamiento de residuos en armonía con la Política Ambiental Nacional, el Plan Nacional de Inversiones Ambientales y demás políticas públicas aplicables, en relación con bioeconomía, economía circular, el ciclo de vida del producto

i) Prioridad en las industrias cuya materia prima constituya un subproducto o material que, de no ser aprovechados para este fin, se considerarían residuos.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño de la investigación**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño de tipo experimental y descriptivo. Aplicando un diseño completamente aleatorio, lo que permitió controlar las variables del estudio y observar de forma sistemática la producción de biogás a partir de excremento canino como sustrato principal. El enfoque experimental consistió en manipular variables específicas en el biorreactor para evaluar la degradación del sustrato, mientras que el componente descriptivo se centró en la caracterización fisicoquímica y microbiológica del material, siguiendo protocolos establecidos en estudios de procesos anaerobios (Sanchez et al., 2023).

Este diseño permitió establecer relaciones directas entre las propiedades del excremento y su eficiencia en la generación de biogás, a través del análisis de variables cuantificables. Las pruebas fueron ejecutadas en condiciones controladas, utilizando parámetros previamente definidos que garantizaron la validez, la consistencia y la repetibilidad de los resultados obtenidos durante el proceso experimental.

## **3.2 Población y Muestra**

La población objeto de estudio estuvo constituida por muestras de excremento canino, recolectadas en áreas urbanas específicas donde se identificó la presencia regular de perros domésticos. La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, escogiendo únicamente aquellas unidades que cumplieran criterios específicos de inclusión, tales como la frescura del material, la ausencia de elementos contaminantes externos y condiciones ambientales favorables al momento de la recolección.

Este criterio de selección garantizó la homogeneidad de las muestras y la representatividad en cuanto a las condiciones necesarias para un análisis adecuado dentro del laboratorio. Las muestras seleccionadas fueron posteriormente sometidas a procesos de caracterización y tratamiento para su utilización en las pruebas experimentales de producción de biogás.

### ***3.2.1 Control y validez interna***

Para asegurar una validez interna del estudio de investigación, se han aplicado técnicas de recolección y análisis estandarizadas, basadas en protocolos establecidos como; APHA y algunas referencias científicas actualizadas.

Los análisis se realizaron en los laboratorios controlados, utilizando procedimientos replicables. Además, cada muestra fue membretada y manipulada de la manera correcta para que no exista confusión entre cada una.

## **3.3 Diseño Experimental**

### ***3.3.1 Construcción del prototipo de biorreactor***

El prototipo del biorreactor fue diseñado tomando como referencia el biodigestor casero descrito por (Cortez & Serrano, 2023) o para fermentar materia fecal canina y almacenar el biogás producido.

**Tabla 4** *Materiales y equipos para la construcción del Biorreactor*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Balde plástico de 20L	Impresora 3D (para acoples personalizados)
4 metros de manguera para gas	Taladro
1 válvula de agua ½"	Herramientas de corte
2 válvula de agua de ¼ "	
8 bridas	
Boya de moto #13	
1 adaptador Neplo de ½"	
4 adaptador Neplo de ¼"	
Selladores (mascarilla epóxica, teflón)	
Jarra medidora	
Regla	

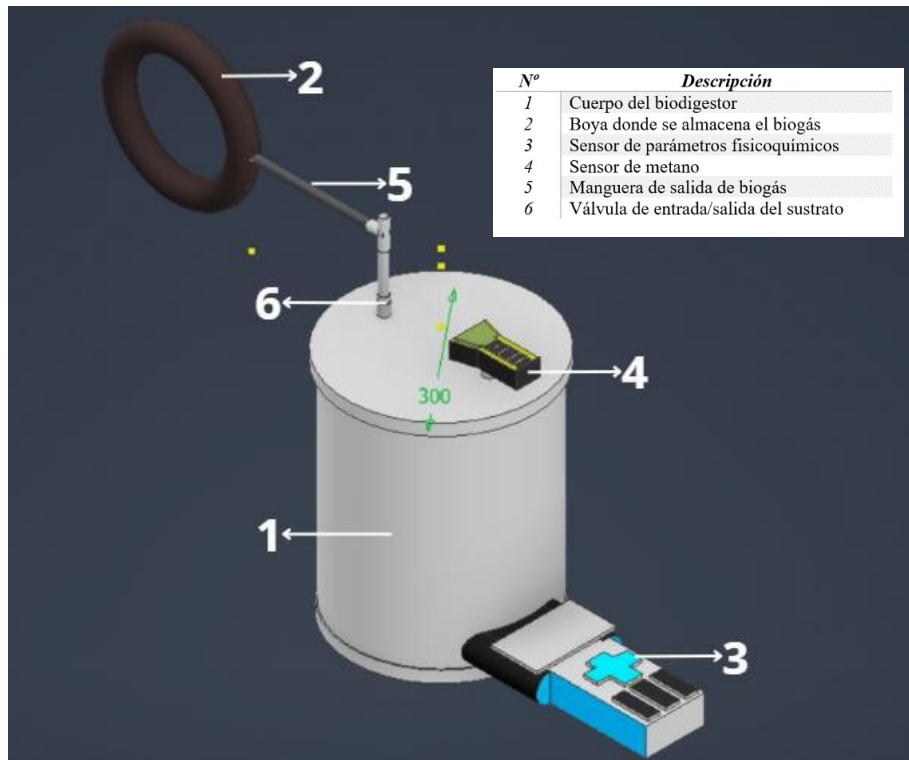
**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Procedimiento**

- En la impresora 3D se realizaron los acoples necesarios para instalar los sensores de monitoreo correspondientes. Estos sensores fueron 1: Sensor de gas metano (*Figura 14*) 2: Sensor de temperatura, pH, humedad, N, K, P (*Figura 15*).
- La manguera fue cortada a la medida y asegurada con bridas para evitar fugas de gas.
- Se adaptó la boya como depósito flexible de biogás, conectándola herméticamente a todo el sistema.
- Se verificó que el sistema no cuente con pérdidas o fugas durante el proceso de digestión.

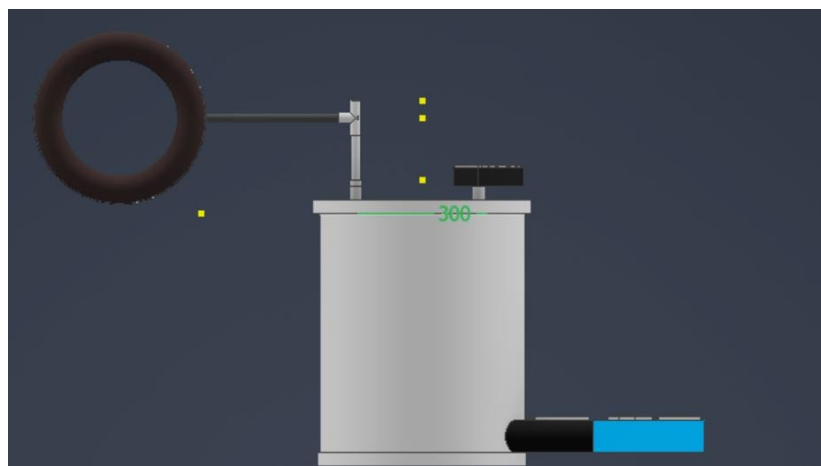
#### **3.3.1.1 Esquema del biorreactor**

**Figura 15.** *Esquema de Biorreactor*



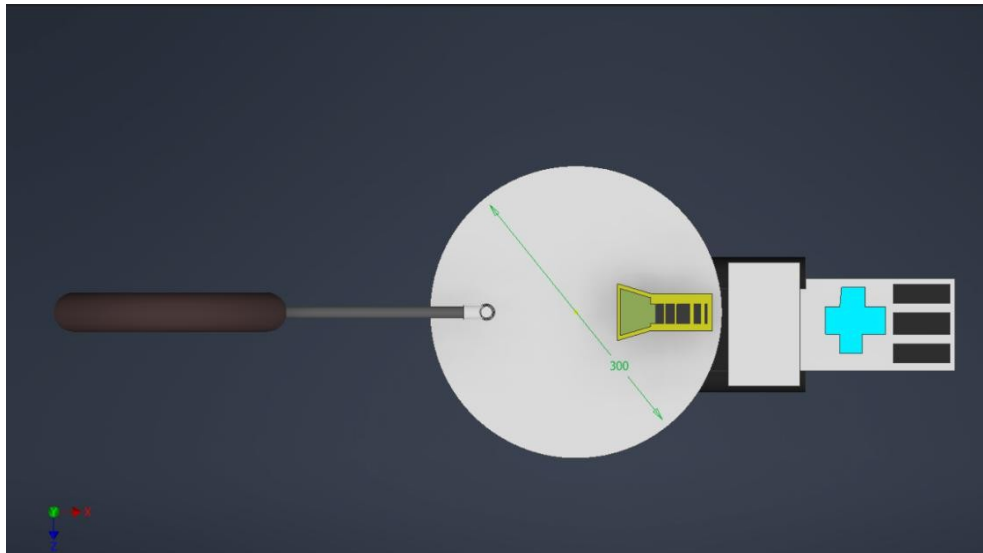
Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 16.** *Esquema de Biorreactor -Vista frontal*



Fuente: *Elaboración propia*

**Figura 17.** *Esquema de Biorreactor -Vista superior*



**Fuente:** *Elaboración propia*

En el esquema se presenta el prototipo de biorreactor diseñado para el aprovechamiento de materia orgánica. El diseño ha sido realizado en Autodesk Inventor Professional 2026. Este sistema consta de un balde que actúa como cámara de digestión, donde se introduce el excremento canino. A través del proceso de digestión anaerobia se genera biogás, el cual es conducido mediante una manguera hacia una cámara de almacenamiento (la cuál es hecha a partir de una boya de una llanta reutilizada), misma que sirve como sistema de almacenamiento del gas que se pretende producir.

Todo este sistema de almacenamiento de gas se encuentra interconectado, permitiendo la recolección y acumulación eficiente del biogás generado.

### ***3.3.2 Procedimientos experimentales***

#### ***3.3.2.1 Recolección de muestras***

La recolección de muestras requiere el uso de materiales adecuados para garantizar que las muestras se encuentre en las condiciones adecuadas y representativas esto para cada uno de los análisis que se van a realizar en laboratorio por lo que el uso de los materiales es importante:

**Tabla 5.** *Materiales y EPP para la recolección de muestras*

<b>Materiales</b>
Guantes
Mascarilla
Espátula
Bolsa Ziploc
Marcador permanente
Recipientes

**Fuente:** *Elaboración propia*

Las muestras de excremento canino fueron recolectadas en diferentes parques de la ciudad de Cuenca. Para cada recolección se tomaron entre 5 y 10 gramos de materia fecal, procurando que las muestras estuvieran libres de tierra, pasto u otros elementos contaminantes, con el fin de evitar interferencias en los análisis posteriores.

Además, se priorizó el uso de muestras frescas, recolectadas dentro de las primeras 12 horas de deposición, ya que transcurrido ese tiempo inicia el proceso natural de descomposición que puede alterar las características fisicoquímicas y microbiológicas del material.

### **3.3.3 Análisis fisicoquímico**

El análisis fisicoquímico comprende la determinación de parámetros como el pH, la humedad, el contenido de materia orgánica, los sólidos totales, los sólidos fijos y los sólidos volátiles, utilizando metodologías ([EPA, 2001](#)).

Estos parámetros permiten evaluar la viabilidad del excremento canino como sustrato para procesos de digestión anaerobia y producción de biogás. Para llevar a cabo estos análisis, se realizará la recolección de muestras de excremento canino en la zona urbana de Cuenca, considerando criterios que aseguren la representatividad de la muestra.

### 3.3.3.1. Sólidos totales (ST)

Los Sólidos totales representan el contenido total de la materia (orgánica e inorgánica) presente en una muestra después de evaporar el agua en la siguiente tabla se pueden evidenciar los materiales y equipos que se utilizaran para poder determinar a nivel laboratorio los sólidos totales presentes en el excremento canino.

**Tabla 6.** *Materiales y equipos, sólidos totales, volátiles y fijos*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>
Crisol de porcelana	Estufa 105°C
Pinzas metálicas	Balanza analítica
Desecador	Mufla (550°C)
Guantes	
Mandil	
Mascarilla	
Muestras (excremento canino)	

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Procedimiento**

- Secado de los crisoles: Los crisoles deben ser previamente secados en una estufa a una temperatura constante durante 20 minutos, con el fin de eliminar cualquier traza de humedad que pudiera alterar el peso final.
- Pesarse exactamente 10 gramos de excremento canino fresco utilizando una balanza analítica. Posteriormente, la muestra fue colocada cuidadosamente en el crisol previamente secado.
- La muestra contenida en el crisol debe ser introducida en la estufa y mantenida a temperatura constante durante 24 horas, permitiendo la evaporación completa del contenido de agua.

- Los crisoles fueron transferidos al desecador para su enfriamiento a temperatura ambiente, evitando la absorción de humedad del ambiente.
- Se debe proceder a pesar nuevamente el crisol con el residuo seco, y se aplicó la fórmula correspondiente para determinar el porcentaje de sólidos totales presentes en la muestra.

#### **Fórmula**

$$\% \text{ total solids} = \frac{W_{total} - W_{dish}}{W_{sample} - W_{dish}} * 100$$

#### **Donde:**

- $W_{total}$  = Peso del residuo seco y la cápsula (mg)
- $W_{sample}$  = Peso de la cápsula (mg)
- $W_{dish}$  = Peso de la muestra húmeda y la cápsula (mg)

#### **3.3.3.2. Sólidos fijos (SF)**

- El crisol con la muestra fue colocado en la mufla a una temperatura constante de 550 °C durante 2 horas, con el fin de incinerar toda la materia orgánica presente.
- Después del proceso de incineración, el crisol se retiró cuidadosamente y se dejó enfriar en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente.
- Posteriormente, se procedió al pesado final para obtener el contenido de sólidos fijos (cenizas) a través de la fórmula.

$$SF(\%) = \frac{W_{volatile} - W_{dish}}{W_{total} - W_{dish}}$$

#### **Donde**

- $W_{volatile}$  = peso del residuo y plato después de la ignición (mg)
- $W_{dish}$  = peso de la capsula (mg)
- $W_{total}$  = peso del residuo seco + la capsula (mg)

### 3.3.2.3. Sólidos volátiles (SV)

$$\%volatile\ solids = \frac{W_{total} - W_{volatile}}{W_{total} - W_{dish}}$$

Donde

- $W_{total}$  = peso del residuo seco + la capsula (mg)
- $W_{dish}$  = peso de la capsula (mg)
- $W_{volatile}$  = peso del residuo y plato después de la ignición (mg)

### 3.3.3.4 Determinación del pH

En la determinación del pH no se empleará un método previamente establecido en normas técnicas o literatura científica. En su lugar, se utilizó un procedimiento práctico adaptado a las condiciones del estudio, haciendo uso de un equipo de medición directa.

Para la determinación del pH se utilizó un Probador de suelo, kit de medidor de pH del suelo 7 en 1, digital modelo Crisistr26esz5py previamente calibrado con soluciones tampón de pH 4.0 y 7.0. En a la siguiente tabla se pueden visualizar los materiales y equipos que se utilizaran.

**Tabla 7. Materiales y equipos para la determinación del pH**

<b>Materiales</b>	<b>Maquinas</b>
Vaso de precipitación 250ml	Kit de prueba de suelo multifuncional 7 en 1
Varilla	Balanza analítica
Agua destilada	
Crisol	

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Procedimiento**

- Pesar 10gr de excremento canino en la balanza analítica y
- En el vaso de precipitación poner 100ml de agua destilada
- Poner en el vaso de precipitación con el agua destilada los 10gr de excremento canino.

- Con ayuda de la varilla mover para que se forme una mezcla homogénea esto de 15 a 20 minutos.
- Ubicar el peachímetro en la mezcla ya homogénea y ver cuál es su pH.

### 3.3.3.5 *Determinación de la humedad*

En general el termino humedad se usa para describir la cantidad de agua contenida en un material o sustancia. Según Martines & Lira (2010) ocasionan que la mayoría de los materiales solidos están compuesto por una fracción de materia seca y otra de agua.

Método estándar: Secado en horno El método más común para determinar la humedad es el método gravimétrico, que consiste en pesar la muestra antes y después del secado en un horno a 105 °C hasta obtener peso constante.

**Tabla 8** *Materiales y equipos para determinar humedad*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>
Crisol	Horno 105°C
Muestra	Balanza analítica
Desecador	
Pinza	

**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **Procedimiento**

##### **Secado del crisol vacío:**

- Colocar el crisol limpio en una estufa a 105 °C – 110 °C durante 20 minutos para eliminar toda la humedad residual.
- Retirar el crisol y colocarlo en un desecador hasta que enfríe completamente.
- Una vez frío, pesar el crisol vacío en una balanza analítica. Registrar este peso como P<sub>1</sub>.

##### **Adición de la muestra:**

- Añadir 10 gramos de la muestra al crisol seco.
- Pesar el crisol con la muestra húmeda en la misma balanza analítica. Registrar este peso como P<sub>2</sub>.

#### **Secado de la muestra:**

- Colocar el crisol con la muestra en la estufa a 105 °C – 110 °C durante 3 horas.
- Pasado este tiempo, retirar el crisol, enfriar en el desecador y pesar nuevamente. Registrar este peso como P<sub>3</sub>.
- Luego, seguir secando en la estufa y pesando cada 20 minutos, repitiendo el proceso de enfriamiento en el desecador antes de pesar, hasta que el peso se mantenga constante (diferencia menor a 1 mg entre dos pesadas consecutivas).
- Registrar el peso final constante
- Aplicar la fórmula de humedad

$$\%Humedad = \frac{(M_1 - M_2) * 100}{M}$$

#### **Donde**

- **M1** = Peso del crisol más muestra húmeda
- **M2** = Peso del crisol más muestra seca
- **M** = Peso neto de la muestra húmeda

#### **3.3.3.6. Nitrógeno**

La medición se realizó mediante un kit de prueba de suelo multifuncional 7 en 1, el cual permite una lectura directa de varios parámetros del suelo, entre ellos el contenido de nitrógeno. Este tipo de equipo, de uso práctico y portátil, facilita la evaluación rápida de las condiciones del excremento canino sin necesidad de técnicas de laboratorio complejas.

Es importante señalar que, aunque este método no sigue una norma analítica formal (como Kjeldahl o espectrofotometría), su uso fue adecuado para los fines del estudio, proporcionando resultados indicativos útiles para el análisis comparativo y diagnóstico.

**Tabla 9.** *Materiales y equipos para la determinación del Nitrógeno*

<b>Materiales</b>	<b>Maquinas</b>
Vaso de precipitación 250ml	Kit de prueba de suelo multifuncional 7
Varilla	en 1
Agua destilada	Balanza analítica
Crisol	

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Procedimiento**

- Pesarse 10gr de excremento canino en la balanza analítica y
- En el vaso de precipitación poner 100ml de agua destilada
- Poner en el vaso de precipitación con el agua destilada los 10gr de excremento canino.
- Con ayuda de la varilla mover para que se forme una mezcla homogénea esto de 15 a 20 minutos.
- Ubicar el pechímetro en la mezcla ya homogénea y ver cuál es su el Nitrógeno presente.

#### **3.3.3.7 Determinación del fósforo y potasio**

La determinación de potasio se realizó mediante el uso de un kit de prueba de suelo multifuncional 7 en 1, que permite obtener una lectura directa de este nutriente en soluciones obtenidas a partir de residuos orgánicos como el excremento canino. Este equipo, portátil y fácil de utilizar, representa una alternativa práctica frente a los métodos de laboratorio

tradicionales, y resulta especialmente útil para trabajos exploratorios o estudios de caracterización preliminar.

Aunque este procedimiento no corresponde a un método analítico normalizado (como el uso de fotometría de llama o espectrofotometría de absorción atómica), los resultados obtenidos fueron suficientes para establecer un análisis comparativo del contenido de potasio, en el marco de la evaluación del potencial del excremento canino como sustrato para digestión anaerobia.

**Tabla 100.** *Materiales y equipos para la determinación del Potasio*

<b>Materiales</b>	<b>Maquinas</b>
Vaso de precipitación 250ml	Kit de prueba de suelo multifuncional 7 en 1
Varilla	Balanza analítica
Agua destilada	
Crisol	

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **3.3.3.8 Carbono**

La determinación de carbono orgánico se realizó mediante el método de calcinación, también conocido como pérdida por ignición (Loss on Ignition, LOI). Este procedimiento consiste en medir la pérdida de masa de una muestra de excremento canino después de ser sometida a altas temperaturas en un horno tipo mufla, lo cual permite estimar el contenido de materia orgánica. A partir de estos datos, se calcula el carbono orgánico mediante un factor de conversión ampliamente aceptado.

Este método, aunque no ofrece la especificidad de técnicas más complejas como la combustión seca elemental es adecuado para evaluaciones preliminares en condiciones de laboratorio estándar, y proporciona resultados fiables para caracterizar residuos orgánicos como el excremento canino.

**Tabla 111.** *Materiales y equipos para la determinación del Carbono Orgánico*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo y maquinaria</b>
Cápsulas de porcelana (crisol)	Balanza analítica
Espátula	Estufa de secado (105 °C)
Desecador	Horno mufla (550 °C)
Guantes térmicos y pinzas	

**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Procedimiento**

1. Pesar una cápsula de porcelana vacía y anotar su masa ( $W_1$  peso del crisol vacío).
2. Agregar aproximadamente 5 a 10 gramos de excremento canino previamente tamizado (<2 mm) y pesar nuevamente ( $W_2$ ).
3. Colocar la cápsula en una estufa a 105 °C durante 24 horas para eliminar la humedad. Enfriar en un desecador y volver a pesar (Peso seco =  $W_3$ ).
4. Introducir la muestra en el horno mufla a 550 °C durante 4 horas para quemar la materia orgánica.
5. Retirar, dejar enfriar en desecador y pesar nuevamente (Peso calcinado =  $W_4$ ).
6. Calcular la pérdida de masa por calcinación (LOI) como:

$$\%LOI = \left[ \frac{(\text{Peso seco} - \text{Peso calcinado})}{\text{Peso del crisol vacío}} \cdot 100 \right]$$

### **3.4.3 Análisis microbiológicos**

Se utilizó la metodología de placas Petrifilm para identificar y cuantificar las bacterias presentes en el excremento canino para lo cual nos guiaremos en lo siguiente (3M Company, 2015).

#### **3.4.3.1 Microorganismos indicadores**

**Tabla 112.** *Materiales y equipos para análisis de bacterias*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>
Petrifilm™ EC	Estufa 37.50°C

Petrifilm™ RYM (Hongos y levaduras)

Petrifilm™ EB

Petrifilm™ VRB

Agua de peptona

Vaso de precipitación

Probeta

Pipeta

Tubos de ensayo

Gradilla

Balanza analítica

Refrigerador

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 18. Placas *Petrifilm™ EC-EB-RYM*



Fuente: *Elaboración propia*

## Procedimiento

### 3.4.3.2 Metodología para el uso de placas *Petrifilm™*

#### 1. Pesado de la muestra:

- Con ayuda de un crisol, pesar 1 gramo de excremento utilizando una balanza analítica.

#### 2. Preparación de la solución madre (dilución 1:10):

- Medir 9 mL de agua destilada con una probeta de 50 mL.

- En un vaso de precipitados de 250 mL, añadir los 9 mL de agua destilada y el gramo de excremento.
- Mezclar bien con una varilla de vidrio hasta obtener una mezcla homogénea.
- Transferir la mezcla a un tubo de ensayo limpio.

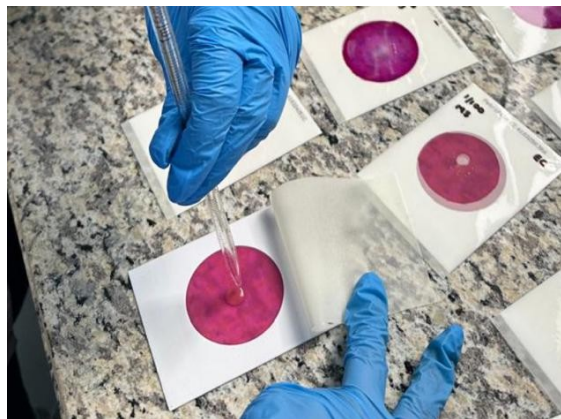
### 3. Preparación de la dilución 1:100 (segunda dilución):

- Medir nuevamente 9 mL de agua destilada con una probeta.
- Añadir 1 mL de la solución madre (preparada anteriormente) a los 9 mL de agua.
- Mezclar bien para obtener una dilución homogénea.

### 4. Siembra en placas Petrifilm:

- Tomar 1 mL de la segunda dilución y depositarlo perpendicularmente en el centro de una placa Petrifilm para *EC*, *EB*, *RYM*, la misma deberá estar en una superficie totalmente plana (*Ver Figura 19*).

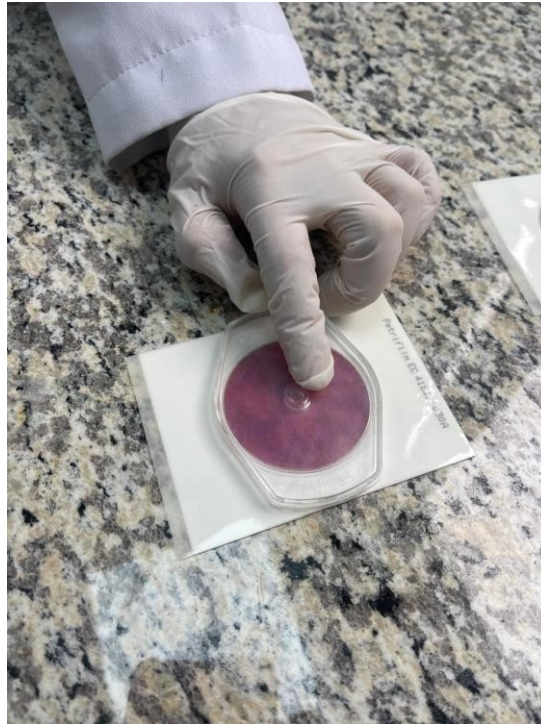
**Figura 19.** Siembra en *Petrifilm*<sup>TM</sup> *EC*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Cuidadosamente se deberá bajar la película superior para evitar el contenido de burbujas de aire.
- Con ayuda de un difusor, con la parte lisa se colocará sobre el inóculo suavemente para esparcir el líquido de forma uniforme (*Ver Figura 20*).

**Figura 20. Difusor**



**Fuente:** *Elaboración propia*

## **5. Incubación:**

- a. Para la incubación de las placas Petrifilm se colocará en la estufa o incubadora, cara arriba en grupos de no más de 20 piezas de acuerdo al método que se vaya a utilizar.

Para este caso se utilizará el método **AOAC método oficial 991.14** (Guía de Interpretación, n.d.), la cual indica:

Para coliformes: Incubar  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Para *E. coli*: Incubar  $48 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Para EMB: Incubar  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Para RYM: Durante  $48 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  a  $25\text{-}28^{\circ}\text{C}$

## **6. Lectura de resultados:**

- a. Después de la incubación, observar y contar las colonias:
  - i. Las colonias rojas con burbujas de gas indican la presencia de *E. coli*.
  - ii. Las colonias rojas sin gas indican otros coliformes.

#### **3.4.4 Cálculo para el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)**

El tiempo de retención hidráulica (TRH) es un parámetro clave en la digestión anaerobia, ya que representa el tiempo promedio que el sustrato permanece dentro del biorreactor. Este valor influye directamente en la eficiencia del proceso.

Para el biorreactor tipo batch se realizó una carga única de materia orgánica, es decir, sin cargas ni descargas posteriores hasta la fecha final. Por este motivo, el TRH se estableció únicamente en función de los días que el sustrato permaneció dentro del biorreactor hasta finalizar su periodo.

$$TRH = t$$

**Donde:**

- TRH = Tiempo de retención hidráulica (días)
- t=Número total de días

##### **3.4.4.1 Determinar el volumen del biodigestor**

El volumen del biodigestor se estima en función de la cantidad de sustrato que se pretende procesar y la producción esperada de biogás. Este volumen puede variar dependiendo del diseño del sistema, la eficiencia de la digestión y los parámetros fisicoquímicos del sustrato.

### 3.4.4.2 Calcular el caudal de entrada (Q)

El caudal de entrada Q es la suma del volumen de excremento canino fresco recolectado diariamente (Qs) y el volumen del agua agregado para alcanzar la humedad deseada (Qa), según la siguiente expresión.

**Donde:**

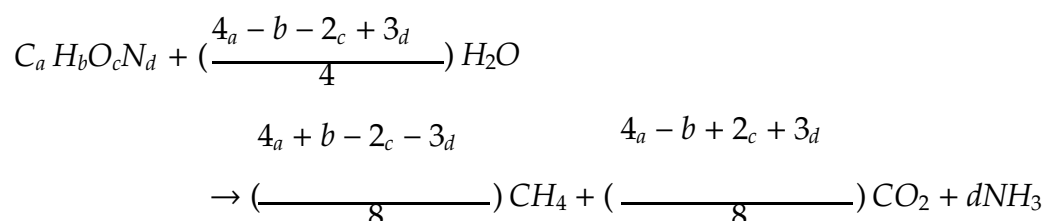
- $Q$  = Suma del volumen
- $Qs$  = Cantidad diaria de excremento canino (m<sup>3</sup>/día).
- $Qa$  = Volumen de agua agregada (m<sup>3</sup>/día).

La cantidad de agua necesaria para diluir el sustrato se determina con base en la humedad inicial y la humedad óptima para la digestión anaerobia (entre 85% y 90%). La relación de dilución se puede estimar a partir de la humedad inicial del excremento y la humedad deseada en el biodigestor.

### 3.4.5 Cálculos para la producción de biogás

Se estimó la producción de biogás mediante la ecuación de Buswell y Müller, que relaciona la composición elemental de la biomasa con la generación de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

Relación C/N óptima: se calculará la relación carbono/nitrógeno, idealmente entre 20 y 30 para optimizar la digestibilidad anaeróbica (Mata-Alvarez et al., 2011) Se emplea la ecuación estequiométrica de Buswell y Müller para determinar la producción teórica de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la composición bioquímica del excremento canino (Buswell & Mueller, 1952).



## Donde

- a, b, c, d= Coeficientes de C,H,O,N en la biomasa.

Factores de eficiencia del proceso: Se considerarán aspectos como la temperatura, el tiempo de retención hidráulica y la biodegradabilidad del sustrato para ajustar los valores teóricos a condiciones experimentales reales (Angelidaki et al., 2018b).

## Conversión a Volumen de Biogás Producido

Para determinar la cantidad total de biogás generado, se usa la ley del gas ideal:

$$PV = nRT$$

Donde:

- $P$  = presión del sistema (atm)
- $V$  = volumen de biogás (L) 35
- $n$  = moles de gas generados
- $R$  = constante de los gases (0.0821 L·atm/mol·K)
- $T$  = temperatura absoluta en Kelvin

Si la digestión se realiza a 35°C, y suponiendo que en un reactor anaeróbico se degradan 100 g de materia orgánica con la fórmula  $C_6H_{13}O_3N$ , se calcula la cantidad de moles de biogás y su volumen final.

- La eficiencia del proceso depende de la relación C/N, la temperatura y el pH.
- La producción real de biogás puede variar debido a la presencia de inhibidores en el sustrato.

- La ecuación de Buswell proporciona una estimación teórica, pero en la práctica se recomienda realizar pruebas experimentales para obtener datos más precisos.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR**

Como parte de esta investigación se desarrolló un prototipo de biodigestor anaerobio a pequeña escala, diseñado con materiales de bajo costo, utilizando materiales accesibles. Con el objetivo de almacenar el biogás producido a partir de la digestión anaerobia de materia fecal canina y evaluar la factibilidad del aprovechamiento del excremento canino como sustrato en la producción de biogás. La unidad de almacenamiento está compuesta por una boya de caucho reutilizada y un conjunto de elementos adaptados manualmente.

#### ***4.1.1. Materiales utilizados***

Para la elección de los materiales se tomó en cuenta la disponibilidad, resistencia y bajo costo:

- **Balde de 20 litros (1):** El balde proporcionó un volumen suficiente para contener la mezcla de agua y del sustrato permitiendo el proceso de digestión para fermentar la materia fecal canina.

**Figura 18.** *Recipiente para alimentación de biodigestor*



**Fuente:** *Propia*

- **Boya de caucho (1):** Al ser flexible y hermética se adaptó eficazmente como depósito flexible para el almacenamiento de biogás.
  - **Modificación de la boya:** Se retiró el gusanillo (válvula original de inflado) para instalar una válvula adaptada, conectada directamente a la manguera de gas mediante bridas y sellador, permitiendo el ingreso del biogás sin pérdida de presión.

#### **Boya de almacenamiento de Biogás**

**Figura 19.** *Boya para almacenamiento de biogás*



**Fuente:** *Propia*

- **Conectores tipo neplos (4):** Empleados para facilitar la conexión entre el balde, las válvulas y el sistema de conducción de gas.

**Figura 20.** *Neplo de 1/2*



**Fuente:** <https://tienda.demaco.ec/neplo-cintura-acero-inoxidable-1-1-2>

- **Adaptador neplo con reducción de 1/2 (1):** Instalado para unir componentes de diferentes diámetros y garantizar una conexión hermética.

**Figura 21.** *Adaptador con reducción de 1/2*



**Fuente:** <https://www.beerlandstore.com/search?tag=neplo>

- **Llave de paso P/GAS de 1/2:**
  - 1 válvula de 1/2" (para salida principal del gas)

Llave De Paso Para Compresor Aire 1/2 Válvula De Esfera Globo

**Figura 22.** *Llave de paso P/GAS de 1/2*



**Fuente:** *Propia*

- 2 válvulas de ¼" (para purga o regulación).

Llave De Paso de ½. Válvula De Esfera Globo

**Figura 23.** *Llave esférica de ½*



**Fuente:** *Propia*

- **Manguera plástica flexible:** utilizada para transportar el biogás desde el biodigestor hasta la boya.
- **Abrazaderas de acero inoxidable:** Utilizadas para asegurar todas las conexiones y evitar fugas.

**Figura 24.** *Bridas ajustables de acero*



Fuente: *Propia*

- **Materiales de conexión y sellado:** Como cinta de teflón, mascarilla epóxica y abrazaderas.

Figura 25. *Materiales de sellado*



Fuente: *Propia*

- **Materia fecal canina:** Utilizada como sustrato para la producción de biogás.

Figura 26. *Sustrato*



Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.1.2. *Modificaciones al balde para monitoreo*

Las modificaciones realizadas en el balde fueron especialmente para la adaptación de acoples para los sensores, mismos que permiten el monitoreo parcial de algunas variables críticas sin alterar la operatividad del sistema.

## 1. Acople superior para sensor de metano (CH<sub>4</sub>):

Se realizó un acople en la tapa del balde (*Figura X*), donde se instaló un sensor de metano (CH<sub>4</sub>) (*Figura X*). Este acople permite la medición de la concentración de gas generado en la parte superior del biodigestor, sin necesidad de abrir el sistema, lo cual evita la pérdida de presión y contaminación del ambiente anaerobio.

**Figura 27.** *Acople para sensor de metano*



Fuente: *Propia*

**Figura 28.** *Sensor “Hydrogen Gas Leak Detector”*



Fuente: *Propia*

## 2. Acople inferior para sensores de parámetros fisicoquímicos:

En la parte inferior del balde, se instaló un segundo acople (*Figura X*) diseñado para alojar un sensor (*Figura X*), importante para la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, mismo que mide parámetros críticos como;

- PH
- Temperatura
- Humedad
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)

**Figura 29.** *Acople para sensor de parámetros fisicoquímicos*



**Fuente:** *Propia*

**Figura 30.** *Sensor parámetros fisicoquímicos “EVTSCAN”*



Fuente: Propia

Figura 31. Adaptación de mangueras, bridas, boya, acoples y sensores



Fuente: Propia

#### 4.1.3. Cálculo del volumen del biorreactor

Para evitar reboses y dejar espacio para los gases (biogás), el biodigestor debe tener de entre un 20 y un 30% de espacio libre sobre la mezcla.

Se calculó a partir de los 10.0 kilos recolectados durante los 2 días y sabiendo que el 25% del volumen total del biodigestor se debe dejar vacío y del 75% sobrante; el 50% equivale a agua y el 50% a sólidos (relación sólidos-líquidos 50/50 o relación 1:1).

##### 4.1.3.1. Calcular el volumen del biodigestor

Del 100% del volumen del tanque de 20 L el 25% tendrá que quedar libre, así que solo se debe llenar el 75% del volumen total.

$$\text{Espacio libre (\%)} = \frac{25\% * 20}{100} = 5 \text{ litros}$$

Del 100% el 75% restante será del espacio que tendrá que ser llenado con sustrato y el agua.

$$\text{Espacio llenado (\%)} = \frac{75\% * 20}{100} = 15 \text{ litros}$$

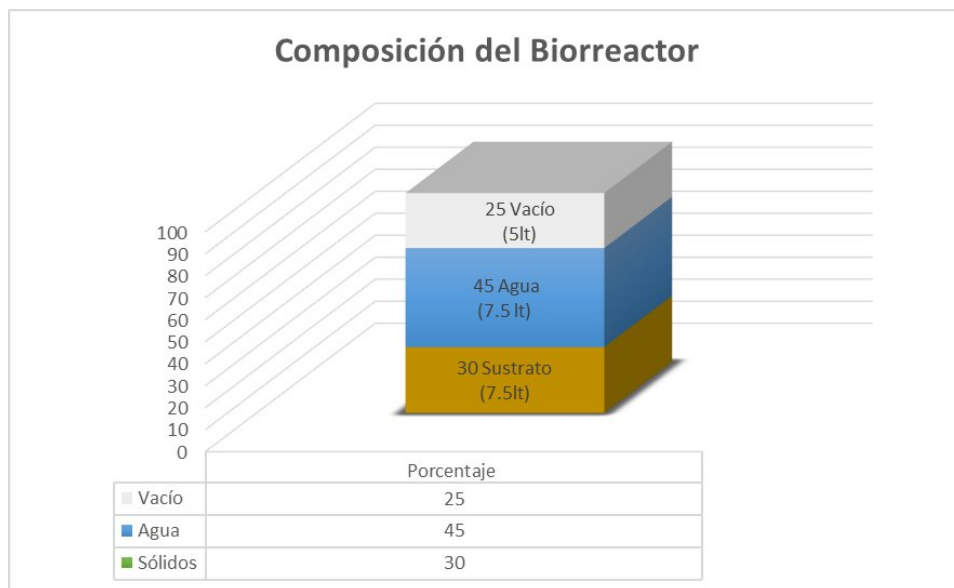
Entonces, si el volumen total de mezcla es 15 L:

$$\%Agua = \frac{50\% * 15}{100} = 7.5\text{litros}$$

$$\%Sustrato = \frac{50\% * 15}{100} = 7.5\text{litros}$$

**Gráfico 1.**

**Gráfico 1.** Porcentaje de composición del biorreactor



**Fuente:** *Elaboración propia*

Se suman los resultados del cálculo de los porcentajes; con lo que se obtiene el volumen total del sistema del biorreactor que es de 20lt.

$$\text{Capacidad} = 5\text{lt}(\text{vacío}) + 7.5\text{lt}(\text{agua}) + 7.5\text{lt}(\text{sólidos}) = 20\text{lt}$$

#### **4.1.4 Tratamiento**

Para el tratamiento experimental, se utilizó un biorreactor de tipo discontinuo con una capacidad total de 20 litros. Se empleó una relación 1:1 entre excremento canino y agua, de acuerdo con protocolos básicos de digestión anaerobia.

El día 10 de junio, se colocaron en el biorreactor 7.5 kilogramos de excremento canino fresco y 7.5 litros de agua limpia, logrando un volumen total de 15 litros de mezcla.

Esto permitió dejar un 25% del volumen del biorreactor libre (5 litros) para la adecuada acumulación de biogás, evitando sobrepresión o reboses.

La mezcla fue homogéneamente agitada de manera manual (si aplica), y el sistema fue herméticamente cerrado para iniciar el proceso de digestión anaerobia. Durante el experimento se monitorearon temperatura, pH, humedad, NKP en aproximadamente 15 días.

#### **4.1.5. Recolección de datos de biorreactor**

Los datos para el respectivo análisis se monitorearon todos los días desde el 10 de junio que se realizó la construcción y adecuación de los sensores del biorreactor hasta el 26 de junio que termino el primer ensayo o tratamiento de lo que se pudo obtener los datos que se pueden visualizar en la siguiente tabla.

**Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos**

<b>Fecha</b>	<b>T °C</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>EC (µs/cm)</b>	<b>N (mg/kg)</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>pH</b>
06/06/2025	17,1	100	7839	604	846	1920	7,4
07/06/2025	17,5	100	8953	602	897	1863	7,42
08/06/2025	17,1	100	7839	604	846	1920	7,4
09/06/2025	17,5	100	8953	602	897	1863	7,57
10/06/2025	18,2	100	9500	610	880	1900	7,44
11/06/2025	16,2	100	8823	604	882	1692	7,56
12/06/2025	14,9	100	8463	783	783	1513	7,54
13/06/2025	16,3	100	11069	685	1005	1920	7,55
14/06/2025	16,5	100	10054	718	1005	2000	7,56
15/06/2025	18,5	100	12000	740	1020	1950	7,53
16/06/2025	19,8	100	13500	810	1080	1980	7,5
17/06/2025	20,2	100	18000	870	1050	1970	7,48
18/06/2025	20,8	100	19500	900	1000	1935	7,44
19/06/2025	19,4	100	2000	820	1005	1925	7,42
20/06/2025	20,2	100	18000	870	1050	1970	7,7
21/06/2025	20,8	100	19500	900	1000	1935	7,57
22/06/2025	19,4	100	2000	820	1005	1925	7,45
23/06/2025	20,2	100	18000	870	1050	1970	7,58
24/06/2025	20,8	100	19500	900	1000	1935	7,5

25/06/2025	19,4	100	2000	820	1005	1925	7,4
------------	------	-----	------	-----	------	------	-----

**Fuente:** *Elaboración propia*

## 4.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

**Tabla 14.** *Datos iniciales para análisis de ST, SV, SF*

Muestra	Peso crisol	Peso húmedo + crisol	Peso húmedo	Peso seco	Peso cenizo sim.
1	75,54	85,54	10	2,407	76,69
2	71,91	81,91	10	2,386	73,3
3	76,08	86,08	10	2,05	77,1
4	73,32	83,32	10	2,283	74,55
5	72,61	82,61	10	2,49	73,78
6	73,56	83,56	10	3,083	75
7	75,54	85,44	10	2,38	76,68
8	71,91	81,98	10	2,3	73
9	76,08	86,21	10	1,93	77
10	73,32	83,29	10	2,39	74,48
11	72,61	82,69	10	2,48	73,81
12	73,56	83,6	10	2,87	74,9
13	75,54	85,5	10	2,48	76,81
14	71,91	81,94	10	2,7	73,15
15	76,08	86,11	10	2,14	76,9

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 4.2.1. Sólidos totales (ST)

Se recolectaron 15 muestras en los cinco parques de la ciudad de Cuenca. Cada muestra fue colocada en crisoles, cada uno debidamente identificados, se toman datos de la pesa húmeda y posteriormente seca en la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante.

Para dicho cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%ST = \frac{W_{total} - W_{dish}}{W_{sample} - W_{dish}} \cdot 100$$

**Donde:**

- $W_{total}$  = Peso del residuo seco + crisol

- $W_{sample}$  = Peso del crisol
- $W_{dish}$  = Peso de la muestra húmeda + crisol

$$\%ST = \frac{77,947 - 75,54}{85,54 - 75,54} \cdot 100 = 2,407$$

$$\%ST = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \cdot 100$$

$$\%ST = \frac{2,407}{10} \cdot 100 = 24,07\%$$

**Tabla 15.** Cálculo del porcentaje de Sólidos Totales

Muestra	ST (%)	Bajo: <22%	Medio: 22-23%	Alto: >23%
1	24,07	-	-	24,07
2	23,86	-	-	23,86
3	20,5	20,5	-	-
4	22,83	-	22,83	-
5	24,9	-	-	24,9
6	30,83	-	-	30,83
7	23,8	-	-	23,8
8	23	19,3	-	23
9	19,3	-	-	-
10	23,9	-	-	23,9
11	24,8	-	-	24,8
12	28,7	-	-	28,7
13	24,8	-	-	24,8
14	27	21,4	-	27
15	21,4	-	-	-
Promedio	24,25%			

**Fuente:** *Elaboración propia*

$$P \text{ promedio} = \frac{\sum S}{T}$$

$$P \text{ promedio} = \frac{363,69}{15} = 24,25\%$$

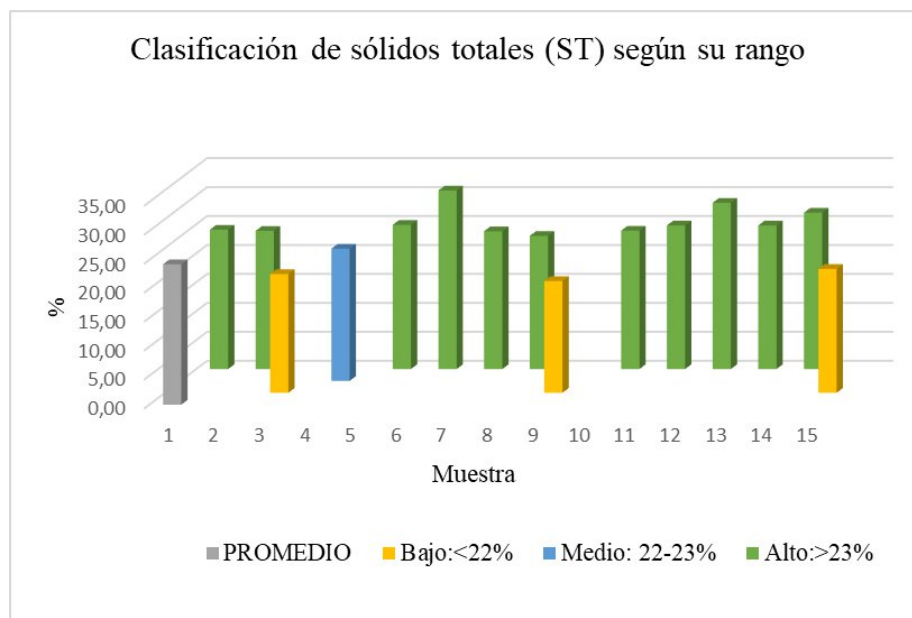
Los valores obtenidos que se presentan en la (Tabla 15) y se ilustran en la (Gráfica 2) indican una variabilidad considerable en el contenido de sólidos totales entre cada una de las

muestras, con valores que van entre 19,05% y 30,83% estos valores son esperables debido a que los perros tienen dietas distintas y las condiciones ambientales también influyen en el contenido de humedad del excremento.

Realizando un promedio de los valores tenemos que el 24,25 % indica que, cerca de una cuarta parte del excremento canino está constituido por materia seca. Este promedio es fundamental para la estimación del contenido de materia orgánica disponible para biodigestión.

La muestra 9 indico un bajo contenido de sólidos (19,3%) debido a su mayor contenido de agua, mientras que la muestra 6 (30,83%) presentó el mayor contenido de sólidos, lo que indica una mayor pérdida de humedad. La diferencia que existe entre estos valores se debe a varias condiciones ya sean climáticas al momento de la recolección y al tipo de alimentación del animal.

**Gráfico 2.** *Variación de sólidos totales (ST) respecto al promedio general y su clasificación por rangos*



**Fuente:** *Elaboración propia*

El (Gráfico 2), presenta los valores obtenidos por muestra y permite identificar las variables entre cada una de ellas.

#### 4.2.2 Sólidos Fijos (SF)

$$\%SF = \frac{W_{\text{volatile}} - W_{\text{dish}}}{W_{\text{total}} - W_{\text{dish}}} \cdot 100$$

- $W_{\text{volatile}}$  = peso del residuo y cápsula después de la ignición (mg)
- $W_{\text{dish}}$  = peso de la capsula (mg)
- $W_{\text{total}}$  = peso del residuo seco + la capsula (mg)

$$\%SF = \frac{76,69 - 75,54}{77,947 - 75,54} \cdot 100$$

$$\%SF = \frac{1,15}{2,407} \cdot 100$$

$$\%SF = 47,77\%$$

El 47,77 % de los sólidos totales secos corresponde a sólidos fijos.

Para calcular los sólidos fijos sobre la muestra de humedad es:

$$\%SF = \frac{\text{Ceniza}}{\text{Peso húmedo}} \cdot 100$$

$$\%SF = \frac{1,15}{10} \cdot 100 = 11,5\%$$

**Tabla 16.** Cálculo del porcentaje de Sólidos Fijos

Muestra	SF (%)	Bajo: <10%	Medio: 10-12%	Alto: >12%
1	11,2	-	11,2	-
2	13,5	-	-	13,5
3	10,2	-	10,2	-
4	12,3	-	-	12,3
5	11,4	-	11,4	-
6	12,4	-	-	12,4
7	11,4	-	11,4	-
8	10,9	-	10,9	-
9	9,2	9,2	-	-

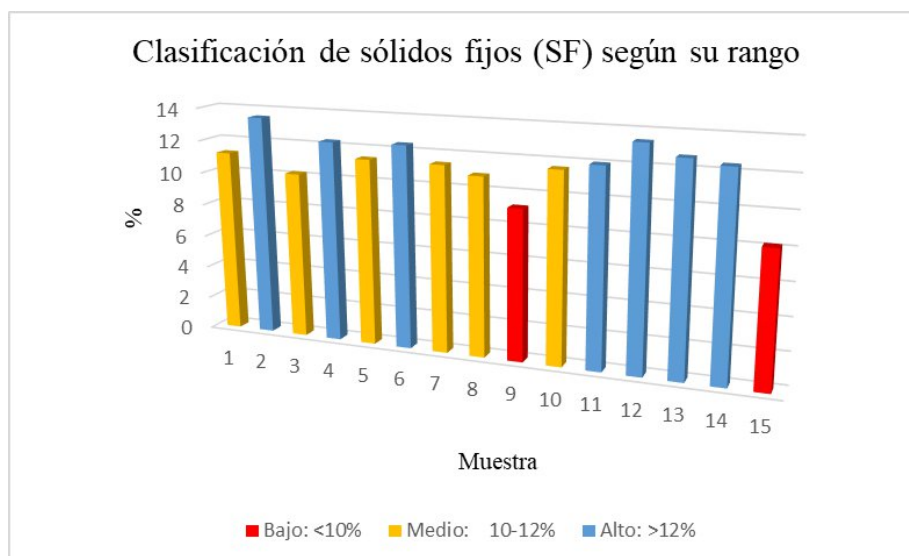
10	11,6	-	11,6	-
11	12	-	-	12
12	13,4	-	-	13,4
13	12,7	-	-	12,7
14	12,4	-	-	12,4
15	8,2	8,2	-	-
PROMEDIO	11,5			

**Fuente:** *Elaboración propia*

En el análisis de sólidos fijos observamos un contenido promedio de 11,5%, lo que indica que aproximadamente una décima parte del excremento canino está compuesto por minerales. El valor obtenido no aporta en la producción de biogás, pero es un valor importante para poder calcular la proporción útil de sustrato en el proceso de digestión anaerobia.

De igual manera se interpreta los datos para la muestra 6 con un mayor porcentaje de sólidos fijos (14,40%), este valor indica una mayor carga de minerales dentro de la alimentación del animal, así mismo, con un menor porcentaje de sólidos fijos con un (8,20%) en la muestra 15, este valor indicar una mayor proporción de materia orgánica.

**Gráfico 3.** *Variación de sólidos fijos (SF) respecto al promedio general y su clasificación por rangos*



**Fuente:** *Elaboración propia*

### 4.2.3 Sólidos Volátiles (SV)

$$\%SV = \frac{W_{total} - W_{volatile}}{W_{total} - W_{dish}} \cdot 100$$

Donde

- $W_{total}$  = peso del residuo seco + la capsula (mg)
- $W_{dish}$  = peso de la capsula (mg)
- $W_{volatile}$  = peso del residuo y plato después de la ignición (mg)

$$\%SV = \frac{77,947 - 76,69}{77,947 - 75,54} \cdot 100$$

$$\%SV = 52,22\%$$

**Tabla 17.** Cálculo del porcentaje de Sólidos Volátiles

Muestra	SV (%)	Bajo: <11%	Medio: 11-13%	Alto: >13%
1	12,57	-	12,57	-
2	9,96	9,96	-	-
3	10,3	10,3	-	-
4	10,53	10,53	-	-
5	13,2	-	-	13,2
6	16,43	-	-	16,43
7	12,4	-	12,4	-
8	12,1	-	12,1	-
9	10,1	10,1	-	-
10	12,3	-	12,3	-
11	12,8	-	12,8	-
12	15,3	-	-	15,3
13	12,1	-	12,1	-
14	14,6	-	-	14,6
15	13,2	-	-	13,2
PROMEDIO	12,5			

**Fuente:** Elaboración propia

$$P_{romedio} = \frac{\Sigma SV}{n}$$

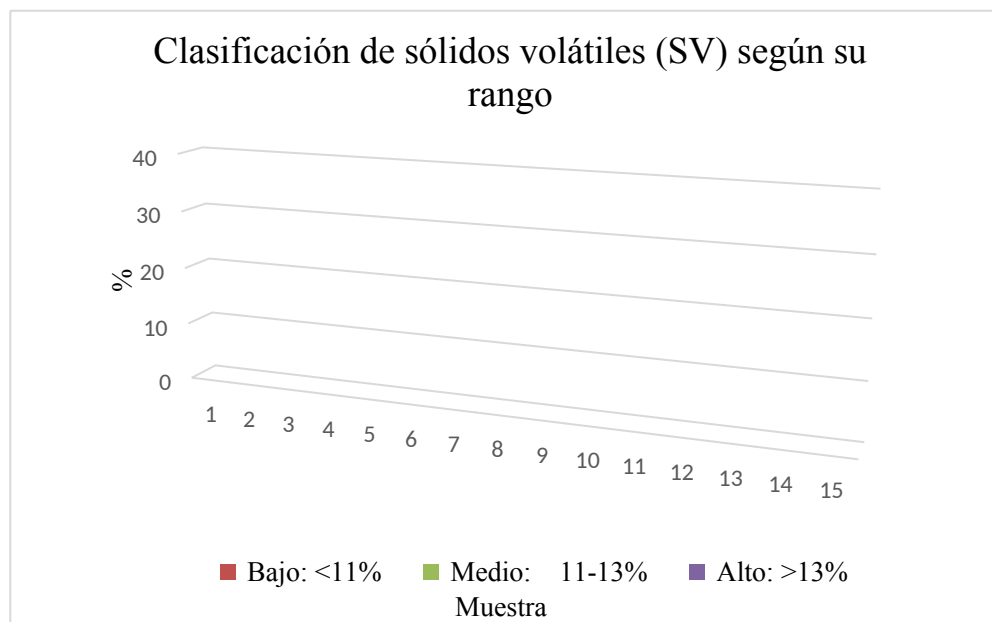
$$P_{romedio} = \frac{187,89}{15} = 12,53\%$$

En el análisis realizado, se puede observar que las muestras de excremento canino presentan un contenido medio de sólidos volátiles del 12,53%, este valor indica una proporción moderada de materia orgánica susceptible a ser degradada anaeróbicamente.

El valor promedio obtenido es de gran importancia para poder estimar la eficiencia y viabilidad del proceso de digestión dentro del biorreactor.

En la (Tabla 17) se puede observar que la muestra 2 presenta el menor contenido de materia orgánica con un (9,96%), lo que podría estar relacionado con una mayor proporción de componentes inorgánicos, mientras que en la muestra 6 se evidencia un mayor contenido de sólidos volátiles con un (16,43%) lo que sugiere una alta disponibilidad de materia orgánica.

**Gráfico 4.** Variación de sólidos volátiles (SV) respecto al promedio general y su clasificación por rangos

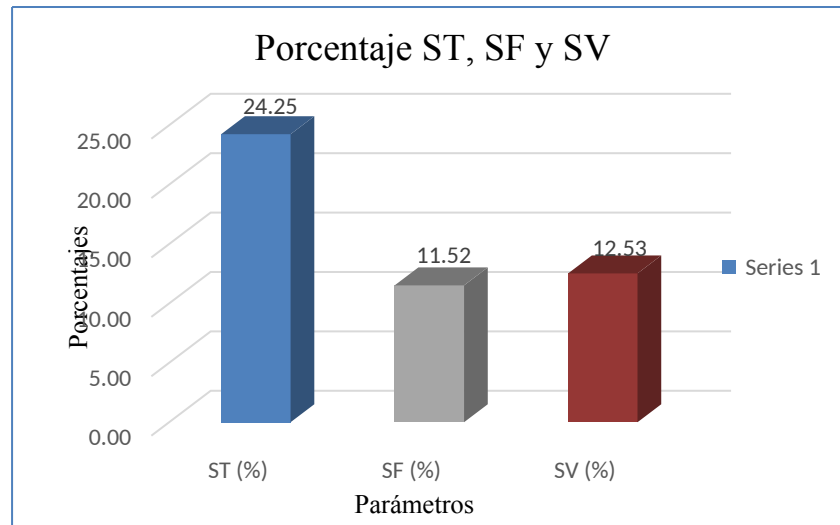


**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.4 Porcentaje de Sólidos

El análisis de sólidos totales (ST), fijos (SF) y volátiles (SV) mostró que el excremento canino presenta en promedio un 24,25 % de ST, de los cuales aproximadamente 11,52 % corresponden a SF y 12,53 % a SV. Estos resultados indican que cerca de la mitad de la materia seca está compuesta por fracción orgánica biodegradable (SV), la cual es fundamental para la producción de biogás, mientras que la otra mitad corresponde a fracción inorgánica (SF) que no contribuye al proceso de digestión anaerobia.

**Gráfico 5.** *Porcentaje de sólidos totales, volátiles y fijos*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Se evidenció variabilidad en los valores de ST entre muestras, con un rango de 19,3 % a 30,8 %, atribuible principalmente a diferencias en la dieta de los perros y a las condiciones ambientales durante la recolección. Esta variación es esperable en residuos biológicos y justifica el uso del valor promedio para caracterizar el sustrato.

En términos de potencial energético, el porcentaje de sólidos volátiles (12,53 %) indica una proporción moderada de materia orgánica susceptible de degradación anaerobia, lo cual confirma la viabilidad del excremento canino como sustrato para la generación de biogás, aunque su rendimiento puede mejorar al combinarlo con otros residuos ricos en carbono.

#### **4.2.5 Humedad**

El contenido de humedad influye directamente en la actividad microbiana durante la digestión anaerobia, esto se debe a que un nivel adecuado de humedad favorece en la descomposición biológica, mientras que valores demasiado bajos o excesivamente altos pueden afectar negativamente la producción de biogás.

Para el cálculo del porcentaje de humedad, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{(M1 - M2)}{M} \cdot 100$$

$$\%H = \frac{(85,54 - 78,54)}{10} \cdot 100$$

$$\%H = 70\%$$

**Donde**

- **M1** = Peso del crisol más muestra húmeda
- **M2** = Peso del crisol más muestra seca
- **M** = Peso neto de la muestra húmeda

**Tabla 18.** *Cálculo del porcentaje de Humedad*

Semana	Muestra1	Muestra2	Muestra3
Semana 1	70,00%	68,30%	70,80%
Semana 2	71,40%	68,60%	65,38%
Semana 3	68,36%	72,77%	71,69%
Semana 4	72,66%	78,30%	66,30%
Semana 5	65,90%	73,20%	72,60%

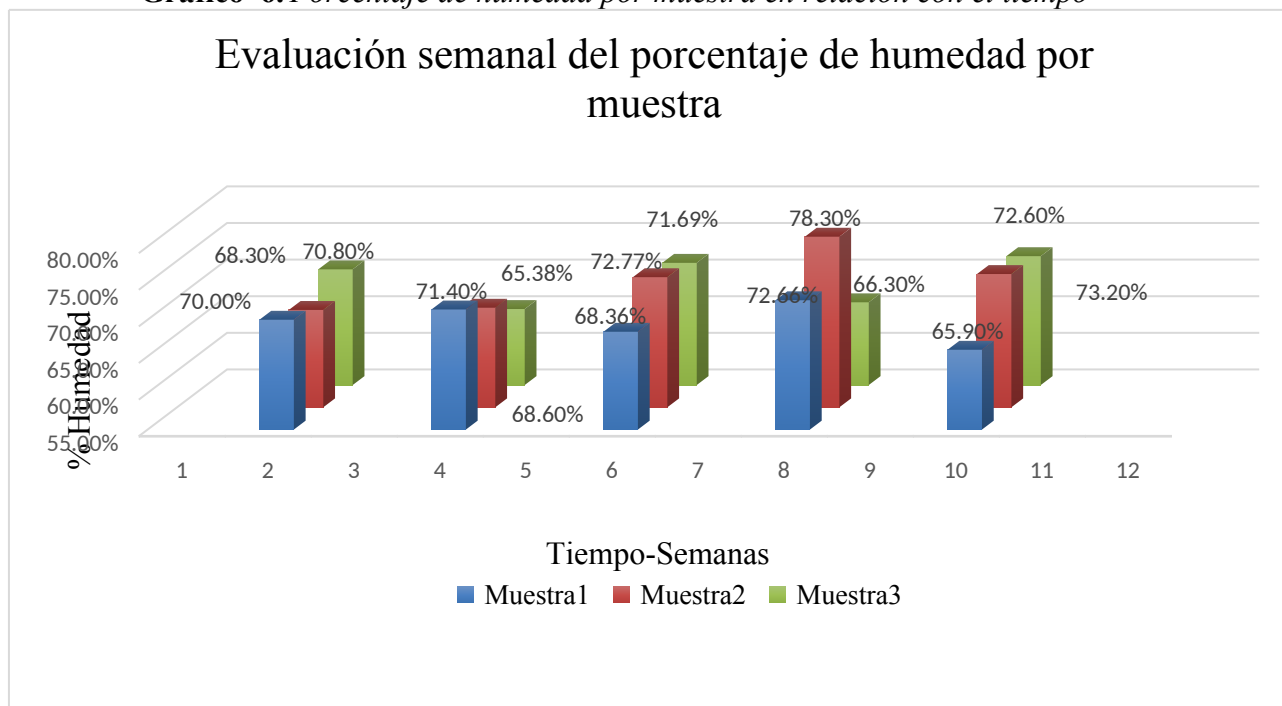
**Fuente:** *Elaboración propia*

$$P \text{ promedio} = \frac{\sum H}{n}$$

$$P \text{ promedio} = \frac{1056,96}{15} = 70,46\%$$

En la (Tabla 18) se presentan los datos recolectados semanalmente de humedad durante 5 semanas consecutivas de monitoreo. Estos resultados muestran un promedio de contenido de humedad de 70,46%, este valor se considera adecuado para procesos de digestión anaerobia.

**Gráfico 6.** Porcentaje de humedad por muestra en relación con el tiempo



**Fuente:** *Elaboración propia*

En la (Gráfica 5) se puede observar un contenido humedad mayor en la semana 4 principalmente en la muestra 2 con un valor de (78,30%), y un valor más bajo siendo este de (65,38%) en la muestra 3, semana 2. Los valores de humedad relativamente bajos podrían indicar una mayor deshidratación o contenido de excremento seco.

#### **4.2.6 Determinación pH**

Durante el desarrollo del ensayo en laboratorio, se realizó la medición semanal del pH de tres muestras de excremento canino, durante 5 semanas con el objetivo de evaluar la estabilidad del medio y su idoneidad para el proceso de digestión anaerobia. Las mediciones se realizaron utilizando un potenciómetro debidamente calibrado.

##### **4.2.6.1. Distribución de pH según su rango**

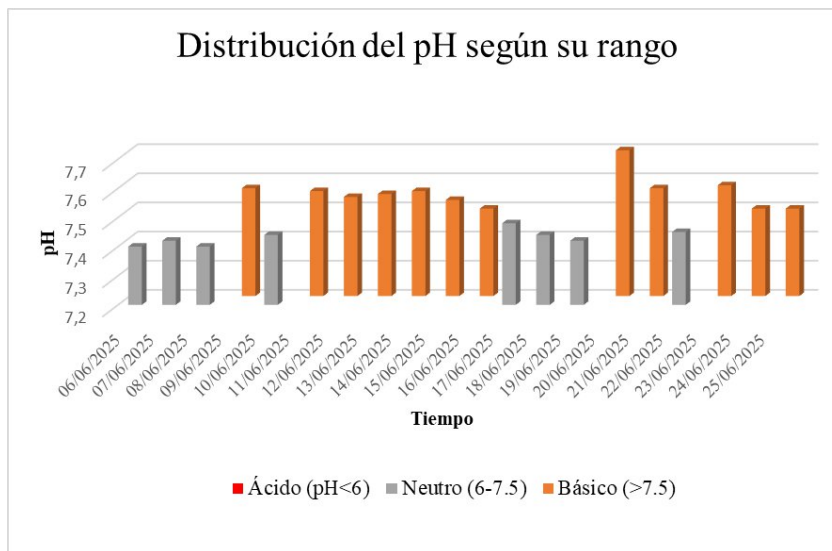
La (Tabla 19) presenta valores de pH registrados durante el periodo de análisis, calcificándolos según su rango: ácido ( $\text{pH} < 6$ ), neutro ( $\text{pH}$  entre 6.5 y 7.5) y básico ( $\text{pH} > 7.5$ ).

**Tabla 118.** *Distribución del pH según su rango*

Fecha	pH	Ácido (pH<6)	Neutro (6-7.5)	Básico (>7.5)
06/06/2025	7,4	-	7,4	-
07/06/2025	7,42	-	7,42	-
08/06/2025	7,4	-	7,4	-
09/06/2025	7,57	-	-	7,57
10/06/2025	7,44	-	7,44	-
11/06/2025	7,56	-	-	7,56
12/06/2025	7,54	-	-	7,54
13/06/2025	7,55	-	-	7,55
14/06/2025	7,56	-	-	7,56
15/06/2025	7,53	-	-	7,53
16/06/2025	7,5	-	-	7,5
17/06/2025	7,48	-	7,48	-
18/06/2025	7,44	-	7,44	-
19/06/2025	7,42	-	7,42	-
20/06/2025	7,7	-	-	7,7
21/06/2025	7,57	-	-	7,57
22/06/2025	7,45	-	7,45	-
23/06/2025	7,58	-	-	7,58
24/06/2025	7,5	-	-	7,5
25/06/2025	7,5	-	-	7,5

Fuente: *Elaboración propia*

**Gráfico 7.** *Distribución del pH de acuerdo con su rango*



Fuente: *Elaboración propia*

Los valores de pH obtenidos a lo largo del periodo de monitoreo del 6 al 25 de junio de 2025 se encuentran en un promedio de 7,51, lo cual indica una tendencia ligeramente neutra a alcalina con un comportamiento estable y eficiente, con valores de pH dentro del

rango óptimo para la digestión anaerobia. Esto indica que las fases microbianas están equilibradas, sin señales de acidificación ni de inhibición por amoníaco.

**Tabla 20.** Observaciones según el valor obtenido en el monitoreo

Fecha	pH	Observación
9/6/2025	7.38	Valor inicial. Buen punto de partida.
10-14/6	7.4 – 7.46	Estabilidad en la zona neutral.
17-20/6	7.54 – 7.57	Pico de pH → alta actividad metanogénica.
25-26/6	7.42 – 7.40	Leve descenso → posible ajuste metabólico.

**Fuente:** *Elaboración propia*

#### **4.2.7 Temperatura**

##### *4.2.7.1. Evolución de temperatura*

La (Tabla 21) presenta valores de temperatura tomados en un periodo de tiempo comprendido entre el 6 y el 25 de junio de 2025, en donde se tomaron temperaturas diarias que oscilan entre 16,2 °C y 21,8°C, estos valores se clasifican dentro del rango mesófilo que va de (15°C-35°C). Estos valores son funcionales para el proceso de digestión de las bacterias. Sin embargo, para la producción de biogás, en especial del metano se considera una temperatura próxima o que supere los 30°C.

No se presentaron registros de datos en los rangos termófilo (>35°C) ni valores psicrófilos (<15°C).

Las temperaturas registradas no alcanzan el rango óptimo para una adecuada generación de metano, estos valores indican una limitación importante en el proceso, debido a esto la actividad biológica básica, la producción de biogás resulta menos eficiente y más lenta debido a la deficiencia de temperatura.

Cabe recalcar que, las condiciones climáticas se tornaron notablemente frías, con temperaturas ambientales por debajo de los 10°C, lo cual influye negativamente en el proceso de digestión anaerobia y producción de biogás.

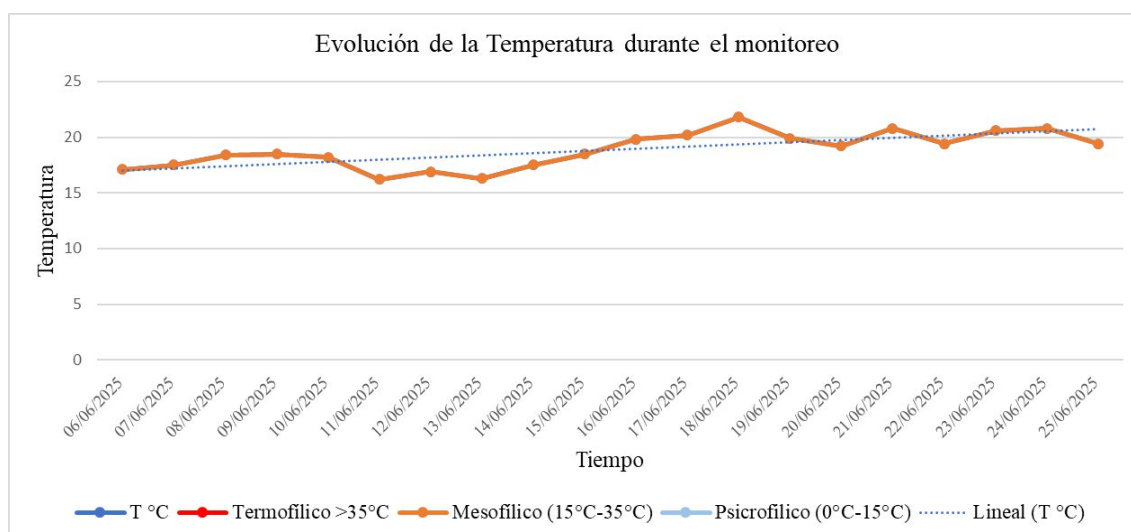
**Tabla 21.** Observaciones según el valor obtenido en el monitoreo

Fecha	T °C	Termofilico >35°C	Mesofilico (15°C-35°C)	Psicrofilico (0°C-15°C)
-------	------	-------------------	------------------------	-------------------------

06/06/2025	17,1	-	17,1	-
07/06/2025	17,5	-	17,5	-
08/06/2025	18,4	-	18,4	-
09/06/2025	18,5	-	18,5	-
10/06/2025	18,2	-	18,2	-
11/06/2025	16,2	-	16,2	-
12/06/2025	16,9	-	16,9	-
13/06/2025	16,3	-	16,3	-
14/06/2025	17,5	-	17,5	-
15/06/2025	18,5	-	18,5	-
16/06/2025	19,8	-	19,8	-
17/06/2025	20,2	-	20,2	-
18/06/2025	21,8	-	21,8	-
19/06/2025	19,9	-	19,9	-
20/06/2025	19,2	-	19,2	-
21/06/2025	20,8	-	20,8	-
22/06/2025	19,4	-	19,4	-
23/06/2025	20,6	-	20,6	-
24/06/2025	20,8	-	20,8	-
25/06/2025	19,4	-	19,4	-

Fuente: *Elaboración propia*

**Gráfico 8.** *Evolución de la Temperatura*



Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.2.8 Contenido de NPK

**Tabla 22.** *Porcentaje de nutrientes NPK presentes en el biorreactor*

Parámetro	Unidad	Valor promedio
Nitrógeno	mg/kg	710,86
Fosforo	mg/kg	942,57

Potasio	mg/kg	1882,21
---------	-------	---------

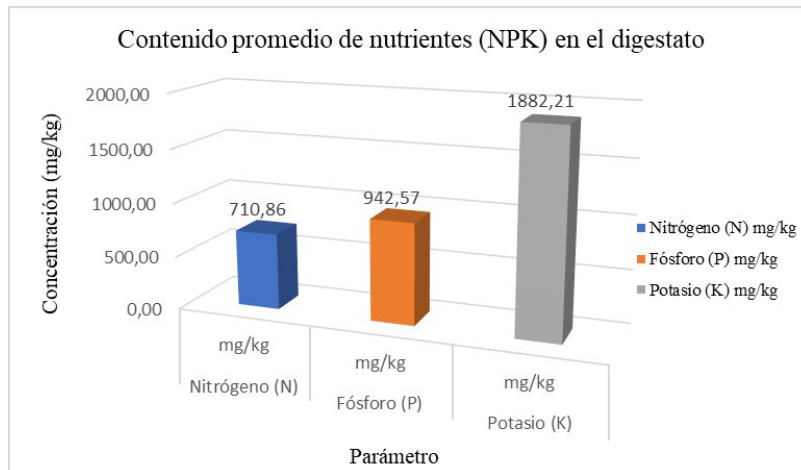
**Fuente:** *Elaboración propia*

El contenido promedio de nitrógeno determinado en el análisis de datos durante el proceso de digestión fue de 710,86 mg/kg indicando una concentración moderada de para materia orgánica con un alto contenido proteico, sin embargo, en comparación con la relación C/N para digestión anaerobia está en relación 20:1 a 30:1 y el contenido de nitrógeno es alto en comparación al carbono.

En cuanto al contenido de fósforo obtenido fue de 942,57 mg/kg este valor es relativamente alto, en comparación a otros estudios realizados. Un alto contenido de fósforo podría utilizarse como fertilizante orgánico.

El contenido de potasio fue de 1882,21 mg/kg. Al ser un elemento altamente elevado se podría utilizar como macronutriente para las plantas.

**Gráfico 9.** *Contenido de NKP*



Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.2.9 Relación Carbono/Nitrógeno

En la (Tabla 24) se puede observar los valores para la relación carbono/nitrógeno (C/N), entre los valores óptimos para digestión anaerobia suele estar entre 20:1 o 30:1. Los valores de la tabla indican un exceso de nitrógeno en comparación con el carbono. En las muestras analizadas durante cinco semanas, los valores de carbono oscilaron entre **26,8 % y 31 %**, mientras que los valores de nitrógeno variaron entre **4,8 % y 6,8 %**. Estos resultados derivaron en relaciones C/N comprendidas entre **3,94:1 y 6,15:1**, con un promedio aproximado de **5:1**, lo cual evidencia un **exceso de nitrógeno en relación al carbono**. El exceso de nitrógeno indica la formación de amoníaco y la formación de amoniaco puede reducir la producción de biogás.

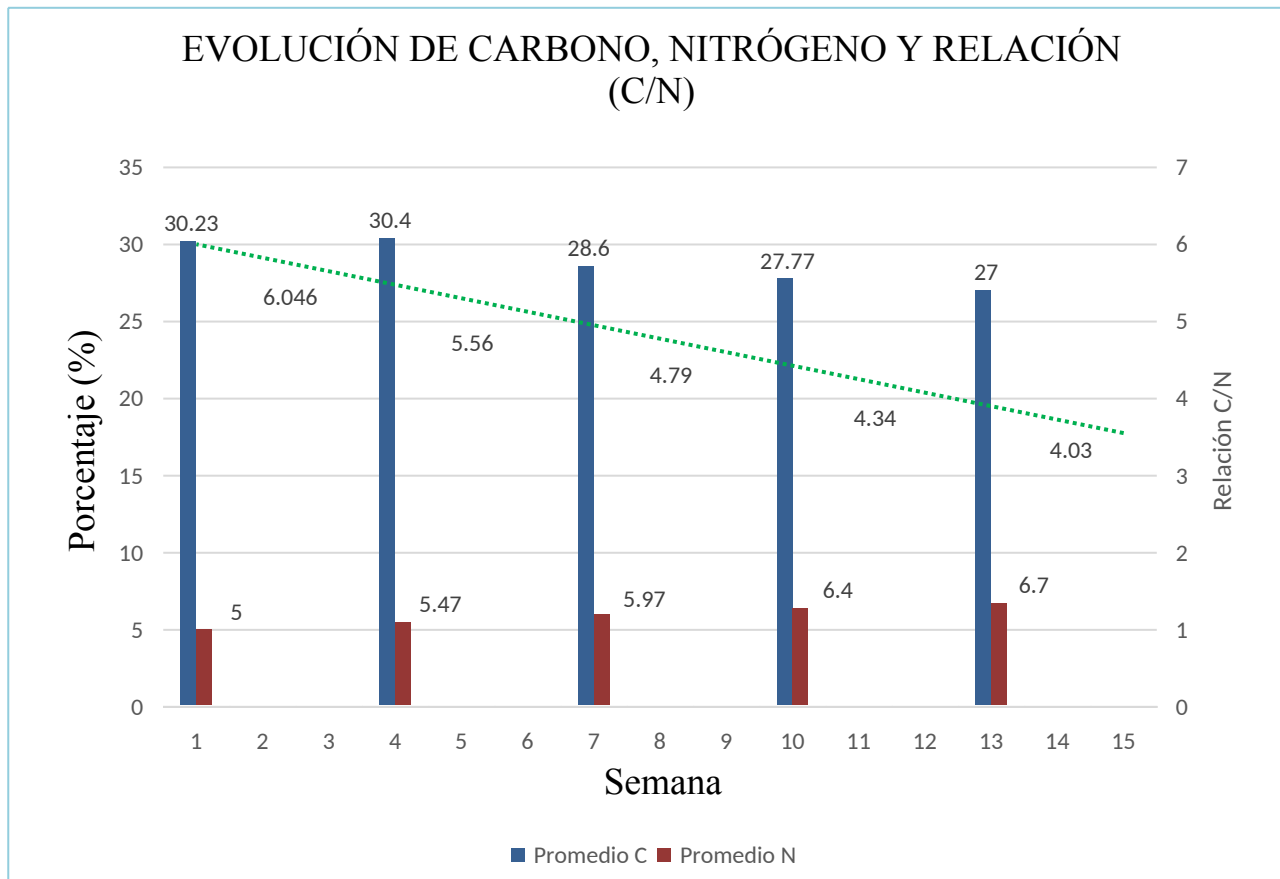
**Tabla 23. Relación C/N**

Muestra	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Promedio C	Promedio N	RELACIÓN C/N
1	29,5	4,8	30,23	5	6,046
2	30,2	5			
3	31	5,2			
4	30,8	5,3	30,4	5,47	5,56
5	30,5	5,5			
6	29,9	5,6			
7	29	5,8			
8	28,6	6	28,6	5,97	4,79
9	28,2	6,1			
10	28	6,3	27,77	6,4	4,34
11	27,8	6,4			
12	27,5	6,5			
13	27,2	6,6	27	6,7	4,03

14	27	6,7			
15	26,8	6,8			

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Gráfico 10.** *Evolución de Carbono, Nitrógeno y la Relación C/N*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Este desbalance implica un riesgo potencial de formación de amoníaco libre, el cual puede provocar inhibición en la actividad metanogénica y, en consecuencia, reducir el rendimiento en la producción de biogás. Para optimizar este parámetro en futuros ensayos, se recomienda la co-digestión con residuos ricos en carbono como restos vegetales o subproductos agrícolas con el fin de ajustar la relación C/N hacia los valores óptimos y mejorar la eficiencia del proceso.

#### 4.3 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)

El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es un parámetro fundamental en el diseño y operación de sistemas de digestión anaerobia, ya que define el tiempo durante el cual el

sustrato permanece en el interior del biodigestor. Este tiempo debe ser suficiente para permitir la actividad metabólica de los microorganismos responsables de la conversión de materia orgánica en biogás.

$$TRH = V / Q$$

---

Donde:

- **TRH**= Tiempo de retención hidráulica (días)
- **V**: Volumen útil del biodigestor (L)
- **Q**: Caudal de alimentación diario (L/día)

En esta investigación, dado que el prototipo construido es de tipo discontinuo (batch) y no se incorpora alimentación diaria continua, el caudal no se definió de forma experimental. Por tanto, el TRH corresponde al tiempo total de permanencia del lote dentro del biodigestor, estimado según recomendaciones de literatura para temperaturas mesofílicas bajas (17–18 °C), que sugieren un rango de retención entre 25 y 30 días para asegurar una digestión efectiva.

A continuación, se resumen los datos del diseño del biorreactor:

**Tabla 24.** Datos del diseño del biorreactor

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Volumen (L)</b>
Materia orgánica (sólidos)	30	7.5
Agua	45	7.5
Vacío del tanque	25	5.0

**Fuente:** *Elaboración propia*

La suma de los volúmenes de sólidos y agua proporciona un volumen útil total de 15 L, mientras que los 5 L restantes se destinaron como espacio vacío para acumulación de gas.

En ausencia de alimentación continua, se considera que el sustrato se mantuvo dentro del sistema por un TRH estimado de 30 días, valor adecuado para sistemas en condiciones mesofílicas bajas. Este tiempo de permanencia permitió observar una evolución progresiva en la producción de gas, confirmando la descomposición activa del sustrato y validando el tiempo seleccionado como apropiado para maximizar la eficiencia en un sistema de escala piloto sin monitoreo avanzado.

La **temperatura** es uno de los factores más importantes que influye en la eficiencia del proceso de digestión anaerobia. Este proceso depende de la actividad de comunidades microbianas, en particular bacterias fermentativas y arqueas metanogénicas, cuya tasa metabólica es altamente sensible a la temperatura.

Existen tres rangos de temperatura principales en los que operan los biodigestores:

**Tabla 25.** Rangos de temperatura

Rango térmico	Temperatura (°C)	Actividad microbiana
Psicrófilo	0 – 15 °C	Muy lenta
Mesofílico	15 – 35 °C	Óptima
Termofílico	>35 °C	Alta, pero menos estable

**Fuente:** *Elaboración propia*

En este estudio, la temperatura del digestado alcanzó un máximo de 21,8 °C, lo cual ubica el sistema dentro del rango mesofílico. A estas temperaturas, la velocidad de degradación de la materia orgánica es óptima para procesos de digestión anaerobia.

#### 4.4 CUANTIFICACIÓN DE GAS METANO

La determinación de metano en el biogás se realizó mediante el uso de un Sensor “Hydrogen Gas Leak Detector”

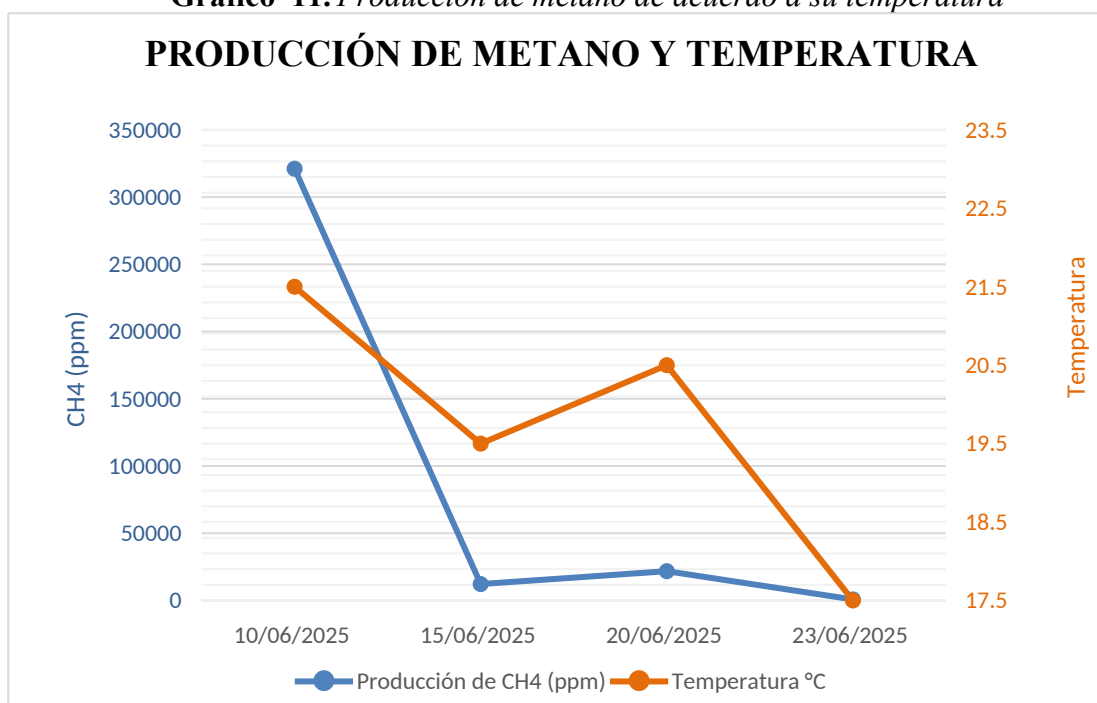
La producción de biogás, específicamente metano (CH<sub>4</sub>), es un indicador fundamental de la eficiencia del proceso de digestión anaerobia. Durante el monitoreo del experimento, se realizaron mediciones de concentración de CH<sub>4</sub> en partes por millón (ppm) en cuatro fechas claves: 10, 15, 20 y 23 de junio de 2025. La siguiente tabla muestra los datos registrados:

**Tabla 26. Producción de gas metano**

Fecha	Producción de CH <sub>4</sub> (ppm)	Temperatura (°C)
10/06/2025	321108	21.5
15/06/2025	12204	19.5
20/06/2025	21780	20.5
23/06/2025	778	17.1

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Gráfico 11. Producción de metano de acuerdo a su temperatura**



**Fuente:** *Elaboración propia*

### **Producción pico (10/06/2025):**

- Concentración de CH<sub>4</sub>: 321,108 ppm, el valor más alto registrado durante el monitoreo.
- Temperatura: 21.5 °C, dentro del rango mesofílico favorable para la actividad microbiana metanogénica.
- Factores determinantes: El alto rendimiento de metano en esta fecha puede atribuirse a una buena sincronización entre el tiempo de retención hidráulica (TRH = 30 días), condiciones de pH estables (~7.4), alta humedad (~70.4%) y una relación C/N aún no

inhibida (promedio  $\approx 6.05$ ). Además, el contenido de sólidos volátiles promedio (12.5%) proporcionó un sustrato adecuado para la fermentación.

#### **Caída brusca (15/06/2025):**

- Producción de  $\text{CH}_4$ : 12,204 ppm, disminución drástica ( $\sim 96.2\%$ ) respecto al valor anterior.
- Temperatura: 19.5 °C, descenso que pudo haber reducido la actividad enzimática de bacterias metanogénicas.
- Microbiológicamente: Las muestras aún presentaban alta carga de coliformes fecales y enterobacterias. Estas poblaciones competidoras pueden consumir sustrato disponible y generar compuestos tóxicos (ej. ácidos grasos volátiles) que inhiben a los metanógenos.

#### **Ligera recuperación (20/06/2025):**

- Producción de  $\text{CH}_4$ : 21,780 ppm.
- Temperatura: 20.5 °C.
- Posible explicación: Las condiciones fisicoquímicas se estabilizaron, y la carga orgánica presente ( $\text{SV} \approx 12.5\%$ ) permitió una recuperación parcial del proceso metanogénico. Sin embargo, el valor no alcanzó los niveles iniciales debido posiblemente a acumulación de amoníaco o disminución de la actividad metanogénica por exceso de nitrógeno (N promedio  $\approx 710.8$  mg/kg, relación C/N  $\approx 4.5$  en esta etapa).

#### **Mínima producción (23/06/2025):**

- $\text{CH}_4$ : Solo 778 ppm.
- Temperatura: 17.1 °C.

- Causa probable: Este descenso coincide con el valor de temperatura más bajo, cercano al límite inferior mesofílico. A esta temperatura, la velocidad de crecimiento de las bacterias metanogénicas disminuye considerablemente. Además, el pH en esta etapa mostraba ligeras oscilaciones (alrededor de 7.4), lo cual puede afectar la eficiencia del sistema si se combina con acumulación de ácidos y amoníaco.

#### 4.4.1 Síntesis de factores limitantes en la producción de metano:

- Temperatura subóptima: Aunque en rango mesofílico (15–35 °C), los valores se mantuvieron en el límite inferior (17–21 °C), lo cual ralentiza la digestión anaerobia.
- **Exceso de nitrógeno:** Una relación C/N menor a 10, con promedios decrecientes (hasta 3.94 en semana 5), indica exceso de nitrógeno, lo que favorece la acumulación de amoníaco, inhibidor de las bacterias metanogénicas.
- **Alta carga microbiana competidora:** Las bacterias como coliformes, E. coli y enterobacterias estaban presentes en grandes cantidades ( $>5 \times 10^4$  UFC/mL), afectando la dominancia de las especies metanogénicas.
- Estabilidad del pH: A pesar de mantenerse entre 7.4 y 7.5, no se observó un incremento hacia 7.8, que sería ideal en algunas fases del proceso.

**Tabla 27.** Porcentajes finales de parámetros fisicoquímicos evaluados

Parámetro	Unidad	Valor promedio
Sólidos Totales (ST)	%	24,25
Sólidos Volátiles (SV)	%	12,53
Sólidos Fijos (SF)	%	11,52
Humedad	%	70,46%
pH	–	7,51
Temperatura	°C	19
TRH	días	30
Nitrógeno	mg/kg	710,86
Fosforo	mg/kg	942,57
Potasio	mg/kg	1882,21
EC	µs/cm	10463,79
Relación C/N	C/N	4,96

**Fuente:** *Elaboración propia*

## 4.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico se realizó con el objetivo de identificar y cuantificar microorganismos patógenos presentes en el excremento canino, este análisis se realizó con la finalidad de evaluar el nivel de riesgo microbiológico que está asociado con el uso de este sustrato en procesos de digestión anaerobia.

Las principales bacterias analizadas fueron: *Escherichia coli*, coliformes totales, coliformes fecales, *Salmonella spp.* y *Shigella spp.* Para el análisis microbiológico se empleó la metodología para su determinación mediante el uso de placas Petrifilm™ 3M. Esta técnica permite la cuantificación directa de cada microorganismo en medios específicos.

### 4.5.1 Recuento de bacterias

#### 4.5.1.1 Recuento de Petrifilm™ EC (*E. Coli*/Coliformes)

Para el almacenamiento de los medios de Petrifilm™: Condiciones de incubación, 37,5 °C por 24 horas

Las colonias de *E. coli* se observaron de color rojo con burbujas. En la imagen (Figura X), se puede observar múltiples colonias distribuidas homogéneamente, lo que indica una alta presencia de bacterias en las muestras analizadas. **4.5.1.2 Número de Coliformes Totales**

**Placa utilizada:** Petrifilm™ EC (Coliformes)

- **Coliformes totales:** Se observan colonias rojas sin gas
- **Coliformes fecales:** Se observan colonias rojas con gas, incubadas a 37,5 °C por 24 horas
- **Condiciones de incubación:** 37,5 °C por 24 horas

En las placas analizadas se identificaron colonias con ambas características, por lo que se cuantificaron los dos grupos. Las colonias sin burbujas corresponden a coliformes totales, mientras que los coliformes fecales se aprecian con burbujas.

### **Análisis**

Las placas Petrifilm™ EC mostraron un crecimiento significativo de colonias bacterianas. En la Figura X, se puede observar una gran cantidad de colonias rojas en su mayoría con la presencia de burbujas, que corresponden a coliformes fecales.

Por ende, el análisis realizado indica una alta contaminación microbiológica en las muestras de excremento canino.

#### **4.5.1.2 Número de *Salmonella spp* y *Shigella spp*.**

*Shigella spp.* en excremento canino

- ***Shigella* no es una bacteria común en perros.**
  - Se considera principalmente un **patógeno humano** (transmitido vía fecal-oral).
  - Sin embargo, en condiciones de mala higiene o contacto con aguas contaminadas, **los perros pueden actuar como portadores transitorios.**

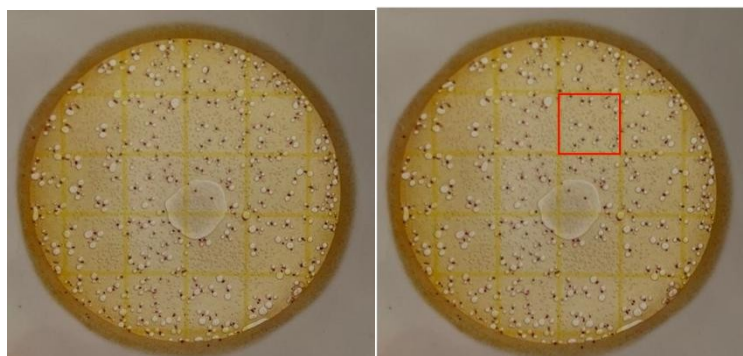
#### **4.5.1.3 Placas Petrifilm™ para el recuento de Enterobacterias**

**Coliformes totales:** Se observan colonias rojas sin gas

**Coliformes fecales:** Se observan colonias rojas con gas, incubadas a 37,5 °C por 24 horas

**Condiciones de incubación:** 37,5 °C por 24 horas

**Figura 20:** Muestra 1 *petrifilm enterobacterias*



**Fuente:** *Elaboración propia*

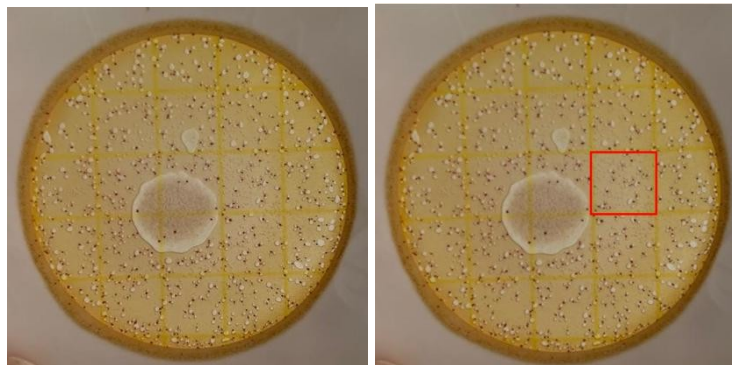
## Cálculo

$$UFC/ml(og) = \text{Colonias contadas} \cdot \text{Factor de dilución}$$

### En este caso:

- Volumen sembrado = 1 ml
- Dilución = 1:100
- Colonias contadas sin gas = 336
- Con gas = 0

**Figura 21.** *Muestra 2 de petrifilm enterobacterias*

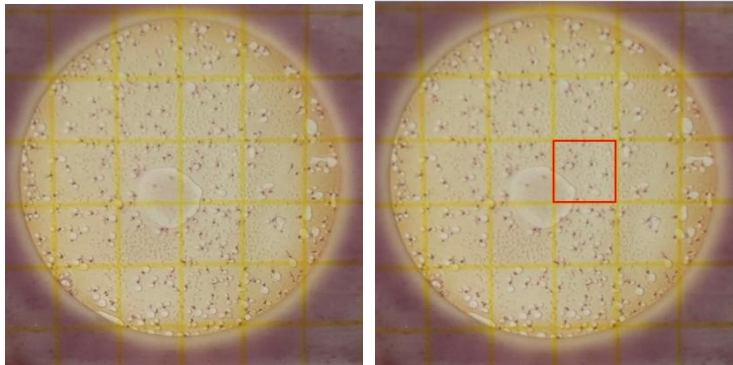


**Fuente:** *Elaboración propia*

### En este caso:

- Volumen sembrado = 1 ml
- Dilución = 1:100
- Colonias contadas = 576

**Figura 22.** *Muestra 3 petrifilm enterobacterias*

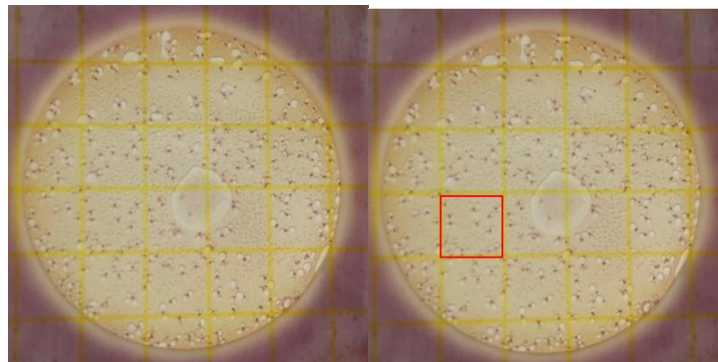


**Fuente:** *Elaboración propia*

**En este caso:**

- Volumen sembrado = 1 ml
- Dilución = 1:100
- Colonias contadas=224

**Figura 23.** *Muestra 4 petrifilm enterobacterias*



**Fuente:** *Elaboración propia*

**En este caso:**

- Volumen sembrado = 1 ml
- Dilución = 1:100
- Colonias contadas=296

Para el análisis microbiológico se partió de una muestra madre compuesta por 1 gramo de materia orgánica mezclada con 9 ml de agua, obteniendo así una dilución 1:10. A partir de esta, se continuó con una dilución 1:100 mediante la adición de 1 ml de la dilución anterior con 9 ml adicionales de agua estéril. Las colonias bacterianas fueron contadas luego de sembrar 1 ml de cada dilución en placas de Petrifilm™ incubadas a 37,5 °C por 24 horas. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

**Tabla 28.** *Cuantificación de colonias petrifilm enterobacterias*

<b>Fecha</b>	<b>Muestra</b>	<b>Dilución</b>	<b>Colonias Contadas</b>	<b>UFC Totales (UFC/g)</b>
19/05/2025	1	1:10	8	80
21/05/2025	2	1:10	10	100
23/05/2025	3	1:10	12	120
26/05/2025	4	1:10	3	30
28/05/2025	5	1:10	45	450
30/05/2025	6	1:100	335	33,500
02/06/2025	7	1:100	210	21,000
04/06/2025	8	1:100	526	52,600
06/06/2025	9	1:100	296	29,600
09/06/2025	10	1:100	320	32,000
11/06/2025	11	1:100	503	50,300
13/06/2025	12	1:100	351	35,100
16/06/2025	13	1:100	256	25,600
18/06/2025	14	1:100	348	34,800
20/06/2025	15	1:100	573	57,300

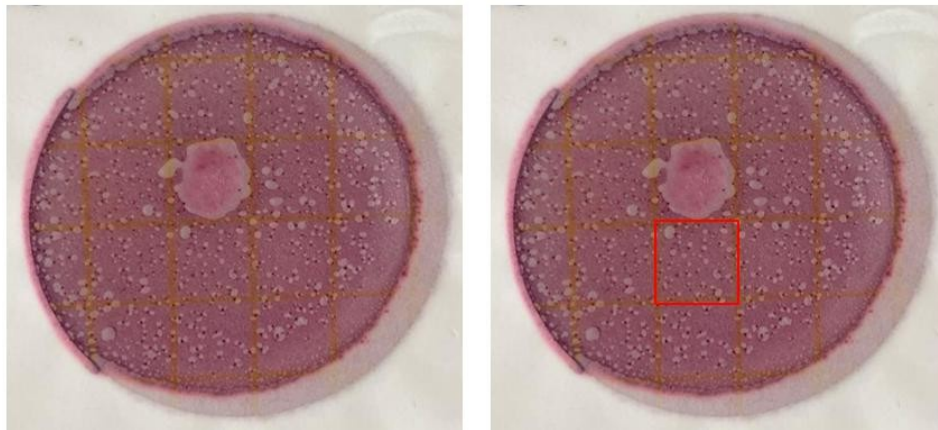
**Fuente:** *Elaboración propia*

El análisis muestra un promedio de 24,839 UFC/g en las muestras analizadas, lo que evidencia una elevada carga microbiana en el excremento canino utilizado como sustrato en el biorreactor. Los valores más altos de UFC (>50.000 UFC/g) coinciden con las fechas de

mayor producción de metano, lo que sugiere que una población microbiana activa, pese a su potencial patogénico, también puede desempeñar un rol relevante en la descomposición de la materia orgánica durante las etapas iniciales de digestión anaerobia. Sin embargo, estos niveles deben ser monitoreados cuidadosamente debido al riesgo sanitario asociado y su posible interferencia con las bacterias metanogénicas.

La interpretación de las diluciones muestra que el aumento en el factor de dilución (1:100) permitió evidenciar claramente la magnitud de la contaminación microbiana. Este análisis proporciona datos fundamentales para establecer estrategias de pretratamiento y control higiénico en la optimización del proceso de producción de biogás.

**Figura 24** *Muestra 1 petrifilm EB*

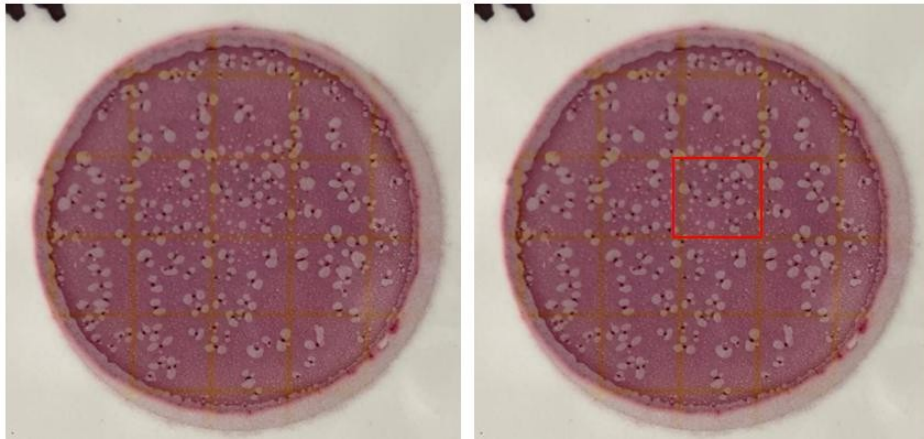


**Fuente:** *Elaboración propia*

**Fuente:** Propia

- Colonias contadas = 289
- Factor dilución = 100
- Volumen inoculado = 0.1 mL

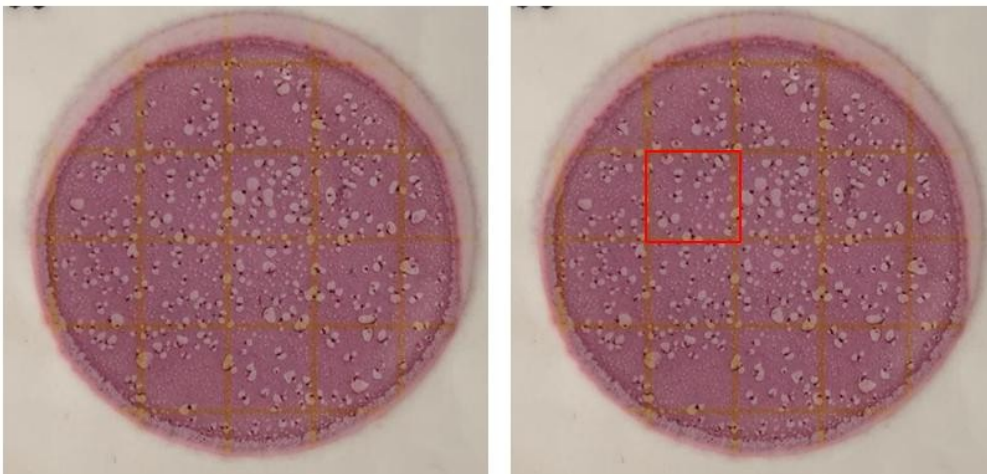
**Figura 25.** *Muestra 2 petrifilm EB*



• **Fuente:** *Elaboración propia*

- Colonias contadas = 115
- Factor dilución = 100
- Volumen inoculado = 0.1mL

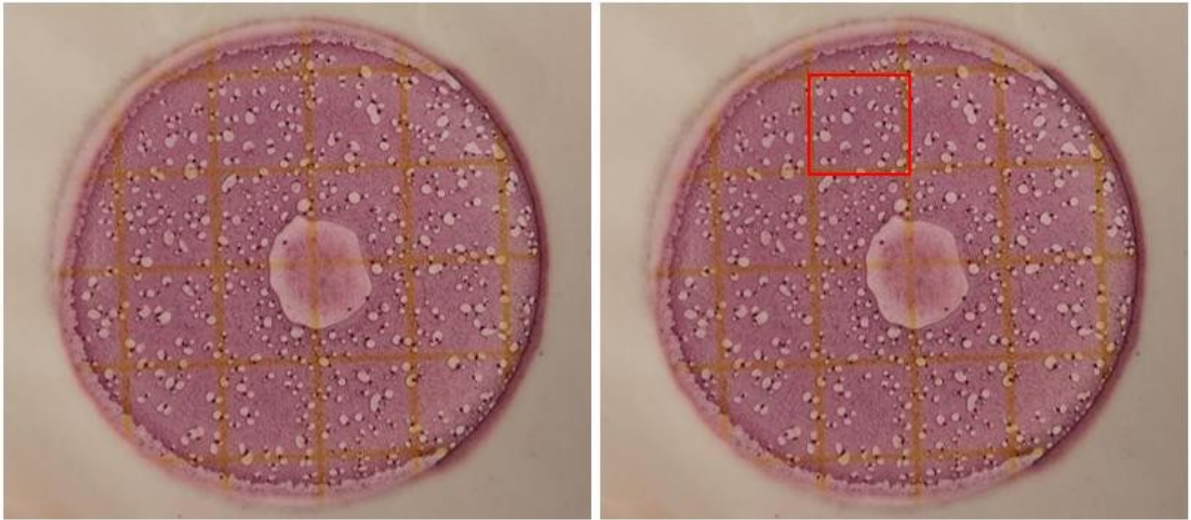
**Figura 26.** *Muestra 3 petrifilm EB*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Colonias contadas = 263
- Factor dilución = 100
- Volumen inoculado = 0.1 mL

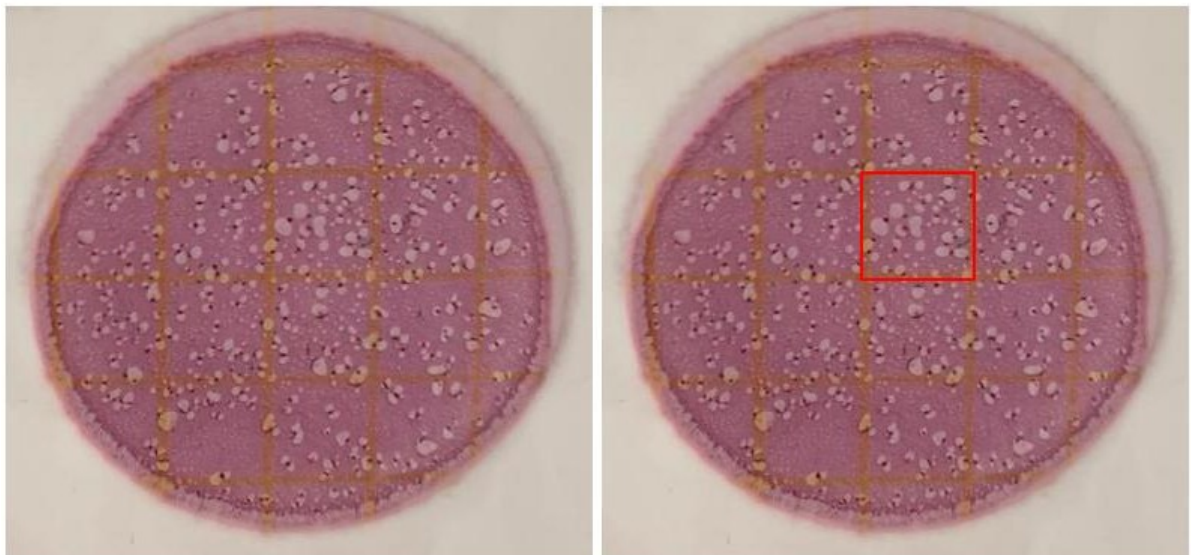
**Figura 27.** Muestra 4 petrifilm EB



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Colonias contadas = 350
- Factor dilución = 100
- Volumen inoculado = 0.1 mL

**Figura 28.** Muestra 5 petrifilm EB



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Colonias contadas = 258
- Factor dilución = 100
- Volumen inoculado = 0.1 mL

Contar colonias y calcular CFU/g

La fórmula es:

$$\text{CFU/g} = \text{Colonias contadas} \times \text{Factor de dilución} \times \text{Volumen inoculado (ml)}$$

**Donde:**

Factor de dilución = 100 (porque es 1:100)

Volumen inoculado = 0.1 mL

**Tabla 29.** *Cuantificación en petrifilm de EB*

Nº	Fecha	Día	Colonias contadas (0.1 mL, 1:100)	Dilución	CFU/g estimado	Interpretación microbiológica
1	2025-06-02	Lunes	258	1:100	258,000	Carga alta
2	2025-06-04	Miércoles	350	1:100	350,000	Carga alta
3	2025-06-06	Viernes	263	1:100	263,000	Carga alta
4	2025-06-09	Lunes	115	1:100	115,000	Carga media
5	2025-06-11	Miércoles	289	1:100	289,000	Carga alta
6	2025-06-13	Viernes	310	1:100	310,000	Carga alta
7	2025-06-16	Lunes	275	1:100	275,000	Carga alta
8	2025-06-18	Miércoles	198	1:100	198,000	Carga media
9	2025-06-20	Viernes	320	1:100	320,000	Carga alta
10	2025-06-23	Lunes	140	1:100	140,000	Carga media
11	2025-06-25	Miércoles	285	1:100	285,000	Carga alta
12	2025-06-27	Viernes	200	1:100	200,000	Carga media
13	2025-06-30	Lunes	340	1:100	340,000	Carga alta
14	2025-07-02	Miércoles	150	1:100	150,000	Carga media
15	2025-07-04	Viernes	270	1:100	270,000	Carga alta

**Fuente:** *Elaboración propia*

Los conteos oscilan entre 115,000 y 350,000 CFU/g, con un promedio alrededor de 260,000 CFU/g. Esta es una carga alta de bacterias (*Salmonella* spp. u otros indicadores

bacterianos). En general, una carga alta de bacterias patógenas puede ser problemática para procesos anaerobios si no se maneja adecuadamente.

### **Levaduras y mohos**

#### **Fórmula para calcular UFC/g con dilución 1:100**

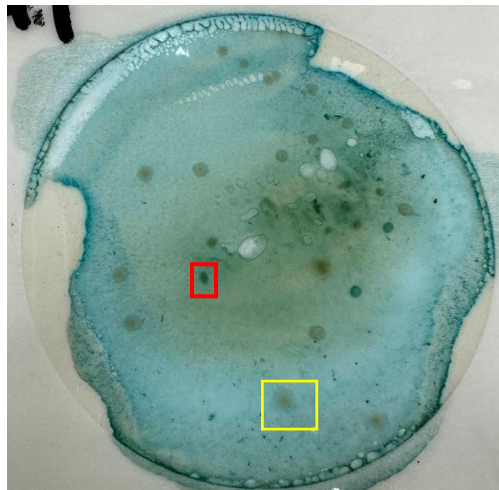
$$\text{UFC/g} = \frac{\text{Colonias contadas} \times \text{factor de dilución}}{\text{Volumen sembrado (mL)}}$$

#### **Se sembró en 1mL de la dilución 1:100**

$$\text{UFC/g} = \text{Colonias contadas} \times 100$$

La petrifilm se encontraron en incubación por 5 días de lo cual se puedo obtener los siguientes resultados en referencia a colonias presentes tanto de hongos como levaduras:

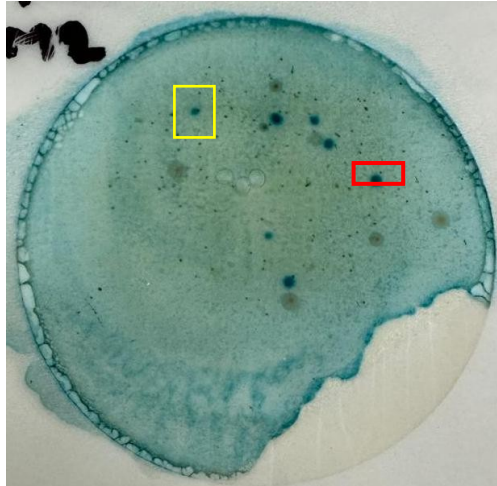
**Figura 29.** *Muestra 1 de petrifilm Mohos y levaduras*



**Fuente:** propia

- Dilución: 1:100
- Recuento de hongos: 19
- Recuento de levaduras: 10

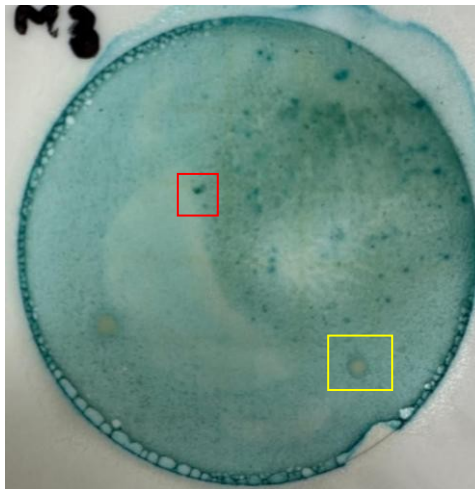
**Figura 30.** *Muestra 2 de petrifilm Mohos y levaduras*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Dilución: 1:100
- Recuento de Mohos: 6
- Recuento de levaduras: 7

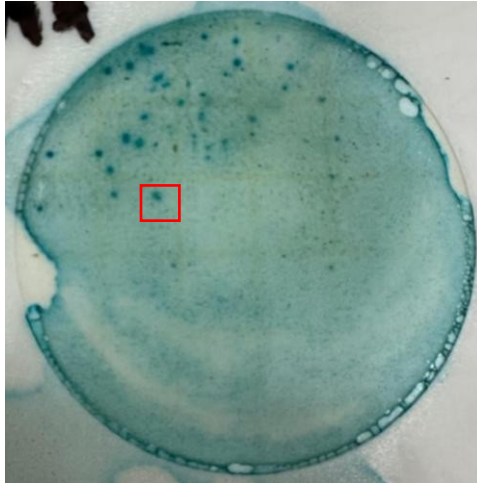
**Figura 31.** *Muestra 3 de petrifilm Mohos y levaduras*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Dilución: 1:100
- Recuento de Mohos: 2
- Recuento de levaduras: 19

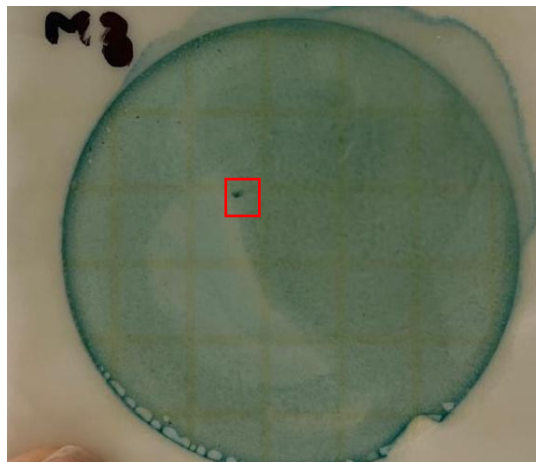
**Figura 32.** *Muestra 4 de petrifilm Mohos y Levaduras*



**Fuente:** Elaboración propia

- Dilución: 1:100
- Recuento de Mohos: 0
- Recuento de levaduras: 36

**Figura 33.** *Muestra 5 de petrifilm de Mohos y Levaduras*



**Fuente:** *Elaboración propia*

- Dilución: 1:100
- Recuento de Mohos: 0
- Recuento de levaduras: 1

**Tabla 30. Cuantificación de Mohos y Levaduras**

<b>Muestra</b>	<b>Mohos (colonias)</b>	<b>Levaduras (colonias)</b>	<b>Mohos (UFC/g)</b>	<b>Levaduras (UFC/g)</b>	<b>Interpretación</b>
Muestra 1	19	10	1,900	1,000	Moderada carga mixta
Muestra 2	6	7	600	700	Carga baja
Muestra 3	2	19	200	1,900	Carga mixta moderada
Muestra 4	0	36	0	3,600	Alta carga de levaduras
Muestra 5	0	1	0	100	Muy baja carga
Muestra 6	3	12	300	1,200	Carga media
Muestra 7	0	0	0	0	Negativa
Muestra 8	7	24	700	2,400	Alta levaduras
Muestra 9	21	8	2,100	800	Alta mohos
Muestra 10	14	6	1,400	600	Carga media
Muestra 11	2	4	200	400	Baja carga
Muestra 12	10	15	1,000	1,500	Moderada carga
Muestra 13	0	22	0	2,200	Alta levaduras
Muestra 14	8	2	800	200	Baja carga
Muestra 15	5	3	500	300	Carga baja

**Fuente:** Elaboración propia

Los datos analizados (15 muestras, dilución 1:100) muestran la presencia de levaduras en mayor proporción que mohos, con cargas microbianas variables, entre 100 y 3,600 UFC/g para levaduras y hasta 2,100 UFC/g para mohos.

#### **Levaduras interpretación de datos**

Las levaduras actúan como microorganismos fermentativos, descomponiendo carbohidratos complejos y liberando metabolitos como etanol, CO<sub>2</sub> y compuestos orgánicos que facilitan la acción de bacterias acidogénicas.

Su presencia en concentraciones moderadas/altas ( $>1,000$  UFC/g) puede acelerar la descomposición inicial de la materia orgánica del excremento.

### **Interpretación de datos Mohos**

Los mohos no son deseables en ambientes anaerobios ya que requieren oxígeno. Su presencia puede indicar contaminación o falta de sellado hermético, afectando la eficiencia del biodigestor. Sin embargo, si el sistema está bien sellado, los mohos no se desarrollan activamente y no interfieren directamente.

### **Viabilidad de estos resultados obtenidos**

El excremento canino, con su contenido orgánico comprobado, junto con una alta carga de levaduras fermentativas, resulta viable como sustrato para biodigestores a pequeña escala. Para lograr una producción eficiente de metano, se recomienda:

- Mantener una temperatura mesofílica (35–37 °C).
- Añadir co-sustratos ricos en carbono (ej. restos de cocina vegetales) para mejorar la relación C/N.
- Controlar la acumulación de levaduras, ya que en exceso pueden generar ácidos volátiles e inhibir la fase metanogénica.

## **5. DISCUSIÓN**

### **Análisis Físicoquímico del Excremento Canino**

El análisis físicoquímico del excremento canino constituye una fase crítica para determinar su viabilidad como sustrato en procesos de digestión anaerobia. A continuación, se presenta el desarrollo de los parámetros más relevantes, con base en los datos obtenidos en

campo y laboratorio, integrando el análisis de sólidos totales, fijos, volátiles, humedad, pH, temperatura y relación C/N.

**Sólidos Totales (ST):** Se analizaron 15 muestras de excremento canino recolectadas en parques urbanos, determinando un promedio de sólidos totales del 24,25 %. Este valor indica que una cuarta parte del excremento está constituido por materia seca, siendo un indicador positivo para su potencial energético. La variabilidad entre muestras refleja diferencias en dieta, hidratación y condiciones ambientales.

**Sólidos Fijos (SF):** El contenido promedio de sólidos fijos fue de 11,5 %, lo que representa la fracción mineral del sustrato. Aunque no contribuye directamente a la producción de metano, este valor es útil para calcular la materia orgánica disponible real.

**Sólidos Volátiles (SV):** Los sólidos volátiles alcanzaron un promedio del 12,5 %, valor que representa la fracción orgánica del sustrato que puede ser degradada por vía anaerobia. Este nivel es moderado, indicando una viabilidad aceptable para generar biogás.

**Humedad:** La humedad media del excremento fue de 70,46 %, dentro del rango funcional para digestión anaerobia. Una humedad adecuada facilita la movilidad microbiana, la hidrólisis de materia orgánica y la transferencia de nutrientes.

**pH:** El monitoreo del pH reflejó una estabilidad en torno al valor promedio de 7,51, dentro del rango óptimo para digestión anaerobia. Esta estabilidad asegura que las fases acidogénica y metanogénica estén balanceadas, permitiendo una producción sostenida de metano sin inhibición por ácidos grasos o amoníaco.

**Temperatura:** La temperatura del digestado se mantuvo entre 16,2 °C y 21,8 °C, correspondiente al rango inferior del régimen mesofílico. Aunque funcional para la actividad microbiana, estas temperaturas subóptimas pueden ralentizar la producción de biogás. Este factor justifica la necesidad de prolongar el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).

**Contenido de NPK:** Se registraron niveles promedios de 710,86 mg/kg de nitrógeno, 942,57 mg/kg de fósforo y 1882,21 mg/kg de potasio. Estos valores evidencian un contenido nutricional significativo del digestado, con potencial para uso agrícola como fertilizante orgánico post-digestión.

**Relación Carbono/Nitrógeno (C/N):** La relación C/N varió entre 6,15 y 3,94, con un promedio decreciente por semana de ensayo. Este valor se encuentra por debajo del rango ideal (20:1 a 30:1), indicando un exceso de nitrógeno, lo cual puede conducir a la formación de amoníaco, inhibiendo parcialmente la producción de metano. Este hallazgo sugiere que sería recomendable codigerir este sustrato con otro de alto contenido de carbono para mejorar el balance nutricional.

**Análisis Microbiológico:** Los microorganismos presentes en el excremento canino cumplen un rol fundamental en el proceso de digestión anaerobia. En particular, las bacterias fermentativas y acidogénicas (como *E. coli* y coliformes) contribuyen a la descomposición inicial de la materia orgánica, produciendo ácidos grasos volátiles que luego son transformados en metano por arqueas metanogénicas. Si bien no se identificaron arqueas directamente en este estudio, el ambiente microbiano observado es favorable para su desarrollo, especialmente bajo condiciones controladas de pH (7.4–7.5) y temperatura mesofílica (18–21 °C).

En conclusión, el excremento canino presenta un microbiota viable para procesos anaerobios. No obstante, debido a la alta carga patógena, debe considerarse un tratamiento complementario del digestato para su uso posterior como fertilizante o en otros fines agroecológicos.

El análisis microbiológico desempeña un papel fundamental en la comprensión de la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, ya que permite identificar la carga microbiana del sustrato, su composición y el posible riesgo sanitario asociado a su utilización. En este

estudio, el sustrato utilizado fue excremento canino, cuyo análisis bacteriológico reveló una alta presencia de coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y otras enterobacterias, reflejando una alta carga de materia orgánica fresca y activa.

Los recuentos bacterianos expresados en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) oscilaron entre 30 a 57 300 UFC/mL, observándose un aumento progresivo conforme se estabilizó el proceso de digestión. Esta alta densidad microbiana es esperable en residuos de origen fecal, especialmente en condiciones de anaerobiosis, humedad elevada y temperatura favorable. En particular, la presencia de bacterias como *E. coli* y coliformes fecales indica una fuente rica en sustratos fermentables y microorganismos fermentativos capaces de degradar la materia orgánica y generar compuestos intermedios como ácidos grasos volátiles, alcoholes y amoníaco.

Es importante destacar que, en las fases iniciales del proceso, la alta carga microbiana facilita las etapas hidrolítica y acidogénica, permitiendo una rápida descomposición de los sólidos volátiles (SV) del sustrato. Sin embargo, si no se logra un equilibrio adecuado entre los diferentes grupos microbianos (hidrolíticos, acidogénicos, acetogénicos y metanogénicos), puede producirse una acumulación de ácidos y compuestos tóxicos que inhiben la etapa metanogénica, reduciendo así la producción de biogás.

En el presente ensayo, el monitoreo del metano mostró una disminución significativa en la producción de CH<sub>4</sub> conforme bajó la temperatura ambiental y se estabilizó el pH (Tabla X). Por ejemplo, el 10/06/2025 se obtuvo una concentración máxima de 321 108 ppm de CH<sub>4</sub> a una temperatura de 21,5 °C, mientras que el 23/06/2025 la producción disminuyó drásticamente a 778 ppm, coincidiendo con una temperatura de 17,1 °C. Esta tendencia sugiere una fuerte correlación entre temperatura, actividad microbiana y generación de metano. Temperaturas más altas promueven una mayor actividad metabólica de las bacterias

metanogénicas, mientras que descensos térmicos pueden ralentizar o incluso detener su acción.

Por otro lado, la abundancia de bacterias patógenas como *Shigella spp.* o *Salmonella spp.*, si bien no contribuyen directamente a la producción de metano, constituyen un riesgo sanitario importante que debe ser considerado. Su eliminación o reducción mediante el proceso de digestión anaerobia es también un beneficio colateral, ya que la exposición prolongada a condiciones anaerobias, temperatura moderada y pH neutro puede inactivar parcialmente estos microorganismos, mejorando la seguridad del digestato para su posible uso agrícola.

Finalmente, el conteo elevado de microorganismos fermentativos y su dinámica durante el proceso proporcionan una indicación clara del potencial fermentativo del sustrato. Esta información permite ajustar parámetros como el tiempo de retención hidráulica (TRH), la relación C/N y la carga orgánica, optimizando así el rendimiento en la producción de biogás. Se concluye que el análisis microbiológico no solo es una herramienta diagnóstica, sino también un componente integral en el diseño, operación y evaluación de biorreactores anaerobios.

**Tiempo de Retención Hidráulica:** El TRH representa el tiempo que permanece el sustrato en el biorreactor y es un parámetro clave para permitir que las distintas fases del proceso anaerobio hidrolítica, acidogénica, acetogénica y metanogénica se desarrollen completamente. Para residuos con alta carga orgánica como el excremento canino, diversos estudios han demostrado que un TRH de 25 a 35 días es adecuado para lograr una degradación eficiente de los sólidos volátiles y una producción estable de metano, especialmente en condiciones mesofílicas (20–35 °C).

## **Efectos directos de la reducción del TRH a 15 días**

### **Sobre la producción de biogás y metano:**

Reducir el TRH a la mitad del óptimo limita significativamente el tiempo disponible para que las bacterias metanogénicas actúen sobre los productos intermedios generados en las fases anteriores. Como se observó en el monitoreo experimental:

- La producción máxima de CH<sub>4</sub> se dio alrededor del día 10, con un valor de 321 108 ppm.
- A partir del día 15, la producción disminuyó a 12 204 ppm, evidenciando que no se alcanzó la fase de producción estable de metano.

Esto indica que el proceso solo logró avanzar satisfactoriamente hasta la fase acidogénica, sin permitir que las arqueas metanogénicas alcanzaran su punto óptimo de actividad. La producción de metano en sistemas con TRH menores a 20 días tiende a ser inestable y baja, especialmente si no se cuenta con un inóculo adecuado o con co-sustratos complementarios.

### **b. Sobre la composición fisicoquímica:**

La reducción del TRH implica que no se degradan completamente los sólidos volátiles (SV), lo que se refleja en su concentración promedio elevada (12.53%) al final del proceso. Esto no solo reduce la eficiencia de conversión energética, sino que también limita la estabilización del digestato, afectando su calidad si se desea utilizar como abono.

Asimismo, el exceso de nitrógeno no se amortiguó suficientemente (relación C/N promedio = 4.96), favoreciendo la acumulación de amoníaco, que es un conocido inhibidor de las bacterias metanogénicas.

### **Sobre la dinámica microbiológica:**

Durante los primeros 15 días se observó una alta concentración de coliformes totales y fecales, lo que indica una intensa actividad en las primeras fases del proceso. Sin embargo, el corto tiempo de retención no permitió la transición y proliferación efectiva de las arqueas metanogénicas, las cuales requieren un entorno más estable y mayor tiempo de adaptación.

Como consecuencia, el sistema se mantuvo dominado por bacterias fermentativas, lo cual favorece la generación de ácidos volátiles, reduciendo aún más el pH y afectando la estabilidad del reactor.

### **Implicaciones en la interpretación de resultados y proyecciones futuras**

La decisión de operar el sistema con un TRH de 15 días debido a limitaciones temporales metodológicas no invalida los resultados obtenidos, pero sí delimita el alcance de la evaluación. Los resultados reflejan el comportamiento inicial del proceso anaerobio, particularmente las fases hidrolítica y acidogénica, más que el rendimiento total del sistema en términos de producción sostenida de metano.

No obstante, este estudio permite concluir que:

- El excremento canino tiene alto potencial bioquímico como sustrato energético.
- Para obtener rendimientos óptimos de metano, se requiere extender el TRH a 30 días o más.
- El sistema mostró signos de inhibición prematura debido a acumulación de nitrógeno, bajo pH y baja temperatura.
- Para futuras investigaciones o aplicaciones reales del sistema, se recomienda implementar:
- $TRH \geq 30$  días, con monitoreo del pH, temperatura y amoníaco.

- Control térmico, para mantener temperaturas mesofílicas constantes (~35 °C).
- Ajuste de la relación C/N mediante cosustratos ricos en carbono.
- Reducción microbiológica inicial del sustrato mediante pretratamientos higienizantes, para evitar competencia no deseada con las arqueas metanogénicas.

## 6. CONCLUSIONES

### **Viabilidad del excremento canino como sustrato para digestión anaerobia:**

El excremento canino, según la caracterización fisicoquímica realizada, presenta un contenido promedio de sólidos totales del 24,25 %, con un 12,53 % de sólidos volátiles (SV), lo cual indica una fracción orgánica degradable suficiente para procesos de producción de biogás. Su humedad del 70,46 % y pH promedio de 7,51 confirman que el sustrato reúne condiciones compatibles con la digestión anaerobia, siempre que se acompañe de ajustes en la relación C/N.

### **Alta carga microbiana favorable para las fases iniciales del proceso anaerobio:**

El análisis microbiológico demostró la presencia abundante de bacterias fermentativas como *Escherichia coli*, coliformes totales y fecales, con conteos entre 30 y 57 300 UFC/mL. Este microbiota propició un entorno eficiente para las fases hidrolítica y acidogénica, generando los precursores necesarios para la producción de metano. Sin embargo, la ausencia de arqueas metanogénicas dominantes y el corto tiempo de retención limitaron el rendimiento final del biogás.

### **Condiciones fisicoquímicas subóptimas limitaron la actividad metanogénica:**

La baja temperatura del sistema (16,2 °C a 21,8 °C) y una relación C/N deficitaria (promedio = 4,96) condicionaron la eficiencia de la fase metanogénica. Esto generó acumulación de productos intermedios como ácidos grasos volátiles y amoníaco, que inhibieron parcialmente

la producción de metano. Se requiere optimizar estos factores para lograr una digestión más completa y estable.

#### **El TRH reducido limitó la conversión total de materia orgánica a metano:**

Aunque el TRH óptimo fue estimado en 30 días, por limitaciones metodológicas solo se aplicaron 15 días de retención. Esta reducción impidió completar el ciclo anaerobio completo, afectando principalmente a la fase metanogénica. La producción máxima de metano (321 108 ppm) se observó en el día 10, seguida de una disminución progresiva, confirmando que el sistema no alcanzó un estado de estabilización.

#### **Importancia del monitoreo microbiológico para la seguridad y eficiencia del proceso:**

El elevado recuento de bacterias patógenas como *Shigella spp.* y *Salmonella spp.* resalta la necesidad de implementar tratamientos higienizantes del digestato si se proyecta su uso agroecológico. Asimismo, el seguimiento microbiológico demostró ser clave para evaluar el progreso y la estabilidad del proceso, permitiendo ajustes operativos a tiempo.

#### **Producción de biogás influenciada por temperatura, TRH y equilibrio microbiano:**

La disminución de la temperatura a 17,1 °C provocó una caída drástica en la producción de metano (778 ppm al día 23), evidenciando la fuerte correlación entre la temperatura y la actividad de las bacterias metanogénicas. La descompensación entre las fases microbiológicas y la falta de tiempo de residencia adecuado también contribuyeron a la baja eficiencia energética observada.

#### **Potencial del sistema como solución ambiental y energética alternativa:**

A pesar de los desafíos, los resultados confirman que el excremento canino es un sustrato

viable para la generación de energía renovable mediante digestión anaerobia. Se destaca el valor dual del sistema: reducir los impactos ambientales del manejo de residuos fecales en espacios urbanos y producir biogás con potencial uso doméstico o comunitario.

## **7. RECOMENDACIONES**

### **Extensión del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH):**

Para mejorar la producción de metano y asegurar que se completen las fases acidogénica, acetogénica y metanogénica, se recomienda extender el TRH a un mínimo de 30 días, especialmente si el sistema opera a temperaturas mesofílicas bajas (17–21 °C). Esto permitirá una mayor estabilización del sustrato y maximizará la conversión de sólidos volátiles en biogás.

#### **1. Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real:**

Se sugiere el diseño de un biorreactor automatizado, que integre sensores digitales de:

2. **pH**, para asegurar estabilidad entre 7.0 y 7.8, rango óptimo para las arqueasmetanogénicas.
3. **Temperatura interna del digestado**, con control térmico pasivo o activo que mantenga condiciones constantes entre 30–37 °C.
4. **Humedad**, con capacidad de ajuste por adición controlada de agua, permitiendo mantener niveles ideales del 65–75 %.
5. **Presión o acumulación de gas**, para monitorear el rendimiento del sistema y prever posibles bloqueos o sobrepresiones.
6. **Optimización de la relación C/N:**

Dado que el excremento canino presenta una relación C/N baja (~4.96), se recomienda codigerirlo con residuos orgánicos ricos en carbono (por ejemplo, restos

de poda, celulosa, cáscaras vegetales o papel) para elevar la relación a rangos entre 20:1 y 30:1. Esto reducirá la acumulación de amoníaco, mejorará la eficiencia de metanogénesis y aumentará la estabilidad del proceso.

#### **Pretratamiento microbiológico del sustrato:**

Para reducir la carga de microorganismos patógenos como *E. coli*, *Salmonella spp.* y *Shigella spp.*, se recomienda aplicar pretratamientos sanitarios (termofílicos, químicos o alcalinos), asegurando la inocuidad del digestato para su uso posterior como abono.

#### **Condiciones fisicoquímicas ideales para mantener:**

A fin de garantizar la estabilidad del sistema, se sugiere mantener los siguientes rangos:

- **Humedad:** 65–75 %
- **pH:** 7.2–7.8
- **Temperatura:** 30–37 °C (mesofílico)
- **Sólidos volátiles:** 10–15 %
- **Sólidos totales:** 20–25 %
- **Relación C/N:** 20–30

#### **Diseño estructural del nuevo biorreactor:**

Para mejorar la eficiencia del sistema y adaptarse a condiciones urbanas o rurales, se sugiere que el prototipo de biorreactor:

Tenga una estructura cilíndrica vertical con fondo cónico para facilitar la recolección del digestato.

- Incorpore un sistema de agitación manual o automatizado, para evitar sedimentación y favorecer la homogeneización del sustrato.

- Utilice materiales resistentes a la corrosión y de bajo costo (PVC de alta densidad o acero inoxidable).
- Incluya una válvula de purga de gas con medición de flujo para cuantificar el biogás producido.
- Integre una unidad de control electrónico (ej. Arduino o Raspberry Pi) para el registro y regulación automática de pH, temperatura y humedad.

#### **Futura evaluación a escala piloto o semiindustrial:**

Con base en los resultados promisorios obtenidos, se recomienda replicar el experimento en un sistema piloto de mayor volumen, con alimentación continua o semicontinua, para simular condiciones reales de operación y evaluar la escalabilidad del proceso.

#### **Validación del digestato como fertilizante orgánico:**

Una vez estabilizado el digestato, se sugiere realizar análisis de metales pesados, patógenos remanentes y nutrientes disponibles, con el fin de certificar su uso como abono orgánico seguro y efectivo en agricultura urbana o periurbana.

#### **Aplicación en políticas de manejo de residuos urbanos:**

El tratamiento del excremento canino mediante digestión anaerobia puede ser incorporado como solución innovadora para municipios y gobiernos locales, especialmente en zonas con alta población canina y escaso tratamiento de residuos orgánicos.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

3M Company. (2015). *3M Petrifilm Levaduras y mohos* .

[https://4552735.app.netsuite.com/core/media/media.nl?id=34358&c=4552735&h=69c61f26d2f63b22953e&\\_xt=.pdf](https://4552735.app.netsuite.com/core/media/media.nl?id=34358&c=4552735&h=69c61f26d2f63b22953e&_xt=.pdf)

Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C. J., & Romero-García, L. I. (2016). Biomethanization of sugar beet byproduct by semi-continuous single digestion and co-digestion with

cow manure. *Bioresource Technology*, 200, 311–319.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.10.051>

Aguilar, Á. G. (2013). *CONTROL DE TEMPERATURA Y pH APLICADO EN BIODIGESTORES MODULARES DE ESTRUCTURA FLEXIBLE CON RECICLADO DE LODOS A PEQUEÑA ESCALA* [Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI004010.PDF>

Anderson, L. (2019). *La eutrofización*. Eco260.

Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018a). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452–466.

<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2018.01.011>

Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018b). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452–466.

<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2018.01.011>

Appels, L., Baeyens, J., Degreè, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781. <https://doi.org/10.1016/J.PECS.2008.06.002>

Buswell, A. M., & Mueller, H. F. (1952). Mechanism of Methane Fermentation.

*Industrial & Engineering Chemistry*, 44(3), 550–552.

<https://doi.org/10.1021/IE50507A033;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>

Cabos Sanchez, J. D., Lezama Escobedo, M. K., Bardales Vásquez, C. B., Medina Vásquez, K. M. E., & León Torres, C. A. (2023). Producción de Biogás y

- Bioabonos a partir de desechos lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico. *Revista Alfa*, 7(21), 583–597. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.239>
- Castro, A. (2023). “ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS HECESES FECALES CANINAS PRODUCTO DE LA DESCOMPOSICIÓN EN UN BIODIGESTOR.” <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21063/3/17T01970.pdf>
- Castro Rivera, R., Solís Oba, M. M., Chicatto Gasperín, V., & Solís Oba, A. (2019). Biogas production through co-digestion of cattle waste and agricultural residues of tomato cultivation (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 529–539. <https://doi.org/10.20937/RICA.53545>
- Christina, Olmedo Leon. (2004). Energías renovables. *El Universo - Tecnología*, 352.
- COA. (2017). *CODIGO CORGÁNICO DEL AMBIENTE*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Corona, I. (2007). *Biodigestores (1)*. 10. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/362/1/Biodigestores.pdf>
- Cortez, A., & Serrano, C. (2023). *Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante*. 65–69. <https://zenodo.org/records/8339322>
- CRE. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Díaz. (2020). *Implementación de un biodigestor para la generación de biogás y biol en Bogotá a partir de heces caninas usando un ecocatalizador como acelerante biológico*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)
- Durazno, A. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- EPEC. (2020). *Energía renovable: la biomasa*. <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>

- FAO. (2011). *Manual de biogás*. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- Fernández, J. (2021). *Energía de la Biomasa*. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/04/Cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa-fenercom.pdf>
- Gestión-Calidad. (2016, September 4). *Concepto Biomasa*. <https://Gestion-Calidad.Com/Biomasa>.
- Grima, N., & Campos, N. (2020). A farewell to glaciers: Ecosystem services loss in the Spanish Pyrenees. *Journal of Environmental Management*, 269, 110789. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110789>
- Guía de Interpretación. (n.d.). *Placas Petrifilm™ para Recuento de E. coli/Coliformes*. Retrieved July 10, 2025, from [https://microquimica.com.mx/wp-content/uploads/2021/09/6410\\_guia\\_de\\_interpretacion.pdf](https://microquimica.com.mx/wp-content/uploads/2021/09/6410_guia_de_interpretacion.pdf)
- INEC. (2023, September 13). *Instituto Nacional de Estadística y Censo*.
- Mancheno, R., & Ponce, D. (2022). *CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LOS PROCESOS DE BIODIGESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE Escherichia coli BLEE DE LOS RESIDUOS LECHEROS EN LA HACIENDA LYG FARM EN QUITO – ECUADOR*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/449bda65-4be6-45ee-b2c5-b45bba147cc3/content>
- Martínez, G. L. (n.d.). *BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS SÓLIDOS. Alternativa energética y fuente de trabajo*.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., & Astals, S. (2011). Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling. *Critical Reviews in*

*Biotechnology*, 31(2), 99–111.

<https://doi.org/10.3109/07388551.2010.525496;SUBPAGE:STRING:ACCESS>

Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)

Mejía, L., & Zelada, M. (2019). *ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA POBLACIÓN DEL CENTRO POBLADO PACHAPIRIANA, DISTRITO DE CHONTALÍ, PROVINCIA DE JAÉN– 2019* [Universidad Nacional de Jaén].

[https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/344/1/Mejia\\_TLM\\_Zelada\\_HME.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/344/1/Mejia_TLM_Zelada_HME.pdf)

Olvera, S. (2023). *LIMPIEZA DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTOS INDUSTRIALES. SEAG0209* (IC, Ed.; 1st ed.). IC EDITORIAL.

[https://www.google.com.ec/books/edition/Limpieza\\_de\\_instalaciones\\_y\\_equipamiento/P-fVEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=digestato+que+es&pg=PT60&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Limpieza_de_instalaciones_y_equipamiento/P-fVEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=digestato+que+es&pg=PT60&printsec=frontcover)

Osejos, M., Jaramillo, J., Marino, M., Quimis, A., & Alcívar, J. (2018). *Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador*.

<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/788/pdf>

Parlamento Europeo y del Consejo. (2018). *Directiva - 2018/2001 - EN - EUR-Lex*.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

Pelczar, R., & Pelczar, M. (2024). *Microbiology | Definition, History, & Microorganisms | Britannica*.

[https://www.britannica.com/science/microbiology?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.britannica.com/science/microbiology?utm_source=chatgpt.com)

- Peñaherrera, D., Paucar, B., Narváez, G., Torres, C., Villavicencio, A., Panchi, N., Enríquez, A., & Escobar, J. (2021). *Insumos agroecológicos: estrategia de resiliencia al cambio climático en la Agricultura Familiar Campesina (AFC)* (ETRA SABIA Servicios Editoriales, Ed.).
- PND. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una.*  
[www.planificacion.gob.ec](http://www.planificacion.gob.ec)
- RCOA. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE.*  
[www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Rodriguez, W. (n.d.). *AVA-Biodigestores 4. Arquitectura e Ingeniería Ambiental .*  
[Https://Www.Onlineaia.Com/Biodigestores-4.Html](https://Www.Onlineaia.Com/Biodigestores-4.Html).
- Saikat, B., Naveen, P., & Sivamani Selvaraju. (2022). Journal of Energy and Power Technology. [Https://Www.Lidsen.Com/Journals/Jept/Jept-04-01-004](https://Www.Lidsen.Com/Journals/Jept/Jept-04-01-004), (ISSN 2690-1692).
- Samaniego, Guerrero, & Inga. (2011). “*OPTIMIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR EN LA DEPURACIÓN DE AGUA RESIUDAL CON ESTIÉRCOL DE GANADO BOVINO.*” <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>
- Sanchez, J. D. C., Escobedo, M. K. L., Vásquez, C. B. B., Vásquez, K. M. E. M., & Torres, C. A. L. (2023). Producción de Biogás y Bioabonos a partir de desechos lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico. *Revista Alfa*, 7(21), 583–597.  
<https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V7I21.239>
- Santos, A., & Villena, F. (2021). *Revisión sistemática y metaanálisis: Gestión de residuos fecales caninos para mejorar la calidad del suelo y aire.*

Siddique, M. N. I., & Wahid, Z. A. (2018). Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 194, pp. 359–371).

Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>

Staner, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Painter, P. (1995). *Microbiología* (2nd ed.).

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5>

[&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc\\_ny0YBWm-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-)

[RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbiolog%C3%ADa&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbiolog%C3%ADa&f=false)

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2025). *Shigella* | *Description*,

*Characteristics, & Infection* | *Britannica*.

<https://www.britannica.com/science/Shigella>

University of Florida IFAS Extension. (2012). *Biogas - Feedstocks*.

<https://biogas.ifas.ufl.edu/feedstocks.asp>

(Castro, 2023) la

[c://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&d](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-)

[q=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc\\_ny0YBWm-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-)

[RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbio](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbio)

3M Company. (2015). *3M Petrifilm Levaduras y mohos* .

<https://4552735.app.netsuite.com/core/media/media.nl?id=34358&c=4552735&h=69c6>

[1f26d2f63b22953e&\\_xt=.pdf](https://4552735.app.netsuite.com/core/media/media.nl?id=34358&c=4552735&h=69c61f26d2f63b22953e&_xt=.pdf)

Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C. J., & Romero-García, L. I. (2016). Biomethanization of

sugar beet byproduct by semi-continuous single digestion and co-digestion with cow manure. *Bioresource Technology*, *200*, 311–319.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.10.051>

- Aguilar, Á. G. (2013). *CONTROL DE TEMPERATURA Y pH APLICADO EN BIODIGESTORES MODULARES DE ESTRUCTURA FLEXIBLE CON RECICLADO DE LODOS A PEQUEÑA ESCALA* [Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/904/1/RI004010.PDF>
- Anderson, L. (2019). *La eutrofización*. Eco260.
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018a). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452–466. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2018.01.011>
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018b). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452–466. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2018.01.011>
- Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781. <https://doi.org/10.1016/J.PECS.2008.06.002>
- Buswell, A. M., & Mueller, H. F. (1952). Mechanism of Methane Fermentation. *Industrial & Engineering Chemistry*, 44(3), 550–552. <https://doi.org/10.1021/IE50507A033;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION>
- Cabos Sanchez, J. D., Lezama Escobedo, M. K., Bardales Vásquez, C. B., Medina Vásquez, K. M. E., & León Torres, C. A. (2023). Producción de Biogás y Bioabonos a partir de desechos lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico. *Revista Alfa*, 7(21), 583–597. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.239>

- Castro, A. (2023). “ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS HECES FECALES CANINAS PRODUCTO DE LA DESCOMPOSICIÓN EN UN BIODIGESTOR.”  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21063/3/17T01970.pdf>
- Castro Rivera, R., Solís Oba, M. M., Chicatto Gasperín, V., & Solís Oba, A. (2019). Biogas production through co-digestion of cattle waste and agricultural residues of tomato cultivation (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(3), 529–539. <https://doi.org/10.20937/RICA.53545>
- Christina, Olmedo Leon. (2004). Energías renovables. *El Universo - Tecnología*, 352.
- COA. (2017). *CODIGO CORGÁNICO DEL AMBIENTE*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Corona, I. (2007). *Biodigestores (1)*. 10.  
<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/362/1/Biodigestores.pdf>
- Cortez, A., & Serrano, C. (2023). *Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante*. 65–69. <https://zenodo.org/records/8339322>
- CRE. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Díaz. (2020). *Implementación de un biodigestor para la generación de biogás y biol en Bogotá a partir de heces caninas usando un ecocatalizador como acelerante biológico*.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)
- Durazno, A. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL*.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- EPEC. (2020). *Energía renovable: la biomasa*.  
<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>
- FAO. (2011). *Manual de biogás*. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

- Fernández, J. (2021). *Energía de la Biomasa*. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/04/Cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa-fenercom.pdf>
- Gestión-Calidad. (2016, September 4). *Concepto Biomasa*. <https://Gestion-Calidad.Com/Biomasa>.
- Grima, N., & Campos, N. (2020). A farewell to glaciers: Ecosystem services loss in the Spanish Pyrenees. *Journal of Environmental Management*, 269, 110789. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110789>
- Guía de Interpretación. (n.d.). *Placas Petrifilm™ para Recuento de E. coli/Coliformes*. Retrieved July 10, 2025, from [https://microquimica.com.mx/wp-content/uploads/2021/09/6410\\_guia\\_de\\_interpretacion.pdf](https://microquimica.com.mx/wp-content/uploads/2021/09/6410_guia_de_interpretacion.pdf)
- INEC. (2023, September 13). *Instituto Nacional de Estadística y Censo*.
- Mancheno, R., & Ponce, D. (2022). *CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LOS PROCESOS DE BIODIGESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE Escherichia coli BLEE DE LOS RESIDUOS LECHEROS EN LA HACIENDA LYG FARM EN QUITO – ECUADOR*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/449bda65-4be6-45ee-b2c5-b45bba147cc3/content>
- Martínez, G. L. (n.d.). *BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS SÓLIDOS. Alternativa energética y fuente de trabajo*.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., & Astals, S. (2011). Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling. *Critical Reviews in Biotechnology*, 31(2), 99–111. <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.525496;SUBPAGE:STRING:ACCESS>

- Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)
- Mejía, L., & Zelada, M. (2019). *ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA POBLACIÓN DEL CENTRO POBLADO PACHAPIRIANA, DISTRITO DE CHONTALÍ, PROVINCIA DE JAÉN– 2019* [Universidad Nacional de Jaén].  
[https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/344/1/Mejia\\_TLM\\_Zelada\\_HME.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/344/1/Mejia_TLM_Zelada_HME.pdf)
- Olvera, S. (2023). *LIMPIEZA DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTOS INDUSTRIALES. SEAG0209* (IC, Ed.; 1st ed.). IC EDITORIAL.  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Limpieza\\_de\\_instalaciones\\_y\\_equipamiento/P-fVEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=digestato+que+es&pg=PT60&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Limpieza_de_instalaciones_y_equipamiento/P-fVEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=digestato+que+es&pg=PT60&printsec=frontcover)
- Osejos, M., Jaramillo, J., Marino, M., Quimis, A., & Alcívar, J. (2018). *Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador*. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/788/pdf>
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2018). *Directiva - 2018/2001 - EN - EUR-Lex*.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>
- Pelczar, R., & Pelczar, M. (2024). *Microbiology | Definition, History, & Microorganisms | Britannica*. [https://www.britannica.com/science/microbiology?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.britannica.com/science/microbiology?utm_source=chatgpt.com)
- Peñaherrera, D., Paucar, B., Narváez, G., Torres, C., Villavicencio, A., Panchi, N., Enríquez, A., & Escobar, J. (2021). *Insumos agroecológicos: estrategia de resiliencia al cambio climático en la Agricultura Familiar Campesina (AFC)* (ETRA SABIA Servicios Editoriales, Ed.).
- PND. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una*. [www.planificacion.gob.ec](http://www.planificacion.gob.ec)

RCOA. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*.

[www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Rodriguez, W. (n.d.). *AVA-Biodigestores 4. Arquitectura e Ingeniería Ambiental* .

[Https://Www.Onlineaia.Com/Biodigestores-4.Html](https://Www.Onlineaia.Com/Biodigestores-4.Html).

Saikat, B., Naveen, P., & Sivamani Selvaraju. (2022). Journal of Energy and Power

Technology. [Https://Www.Lidsen.Com/Journals/Jept/Jept-04-01-004](https://Www.Lidsen.Com/Journals/Jept/Jept-04-01-004), (ISSN 2690-1692).

Samaniego, Guerrero, & Inga. (2011). “*OPTIMIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR EN LA DEPURACIÓN DE AGUA RESIUDAL CON ESTIÉRCOL DE GANADO BOVINO.*”

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>

Sanchez, J. D. C., Escobedo, M. K. L., Vásquez, C. B. B., Vásquez, K. M. E. M., & Torres,

C. A. L. (2023). Producción de Biogás y Bioabonos a partir de desechos

lignocelulósicos en un biorreactor anaeróbico. *Revista Alfa*, 7(21), 583–597.

<https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V7I21.239>

Santos, A., & Villena, F. (2021). *Revisión sistemática y metaanálisis: Gestión de residuos*

*fecales caninos para mejorar la calidad del suelo y aire.*

Siddique, M. N. I., & Wahid, Z. A. (2018). Achievements and perspectives of anaerobic co-

digestion: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 194, pp. 359–371). Elsevier

Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>

Staner, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Painter, P. (1995). *Microbiología* (2nd ed.).

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc\\_ny0YBWm-RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbiolog%C3%ADa&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZE8oEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=microbiolog%C3%ADa&ots=BvlsS22Pqk&sig=okllslSqc_ny0YBWm-RH2mFL-ow#v=onepage&q=microbiolog%C3%ADa&f=false)

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2025). *Shigella* | *Description, Characteristics, &*

*Infection* | *Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Shigella>

University of Florida IFAS Extension. (2012). *Biogas - Feedstocks*.

<https://biogas.ifas.ufl.edu/feedstocks.asp>

Haga clic o pulse aquí

## **9. APÉNDICE/ANEXOS**

### ***9.1. Anexo A. Fotografías del prototipo del biorreactor***

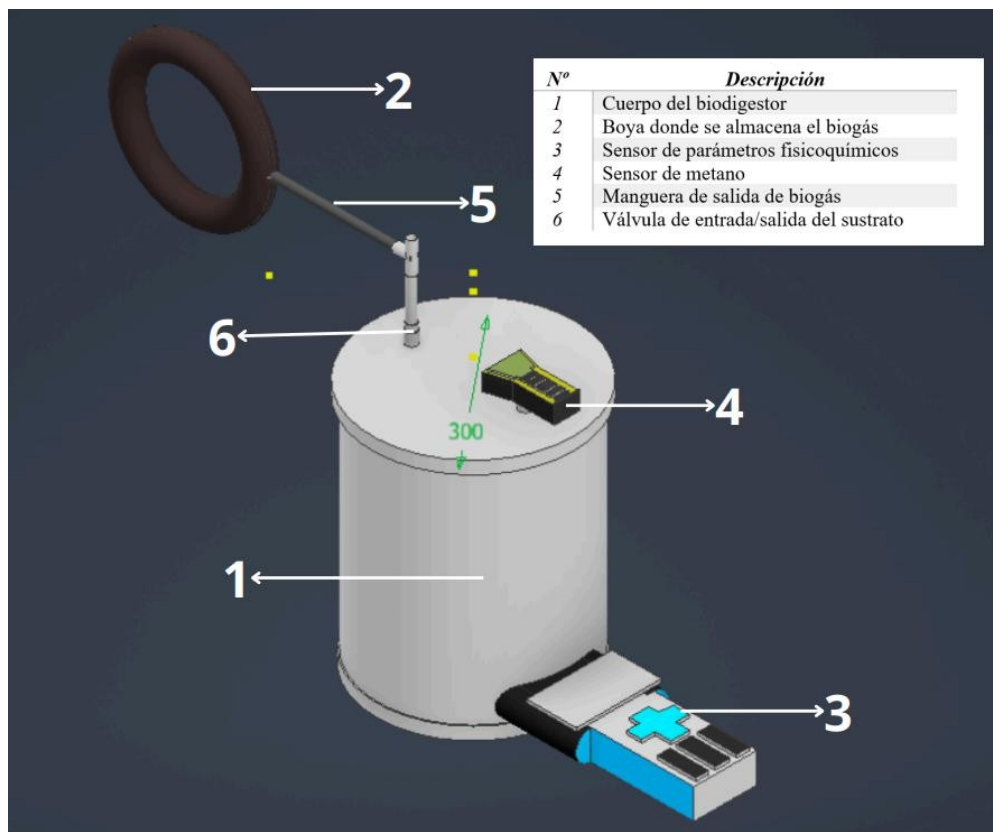
#### **Ensayo #1**



**Ensayo #2**



9.2. Anexo B. Esquema del biorreactor



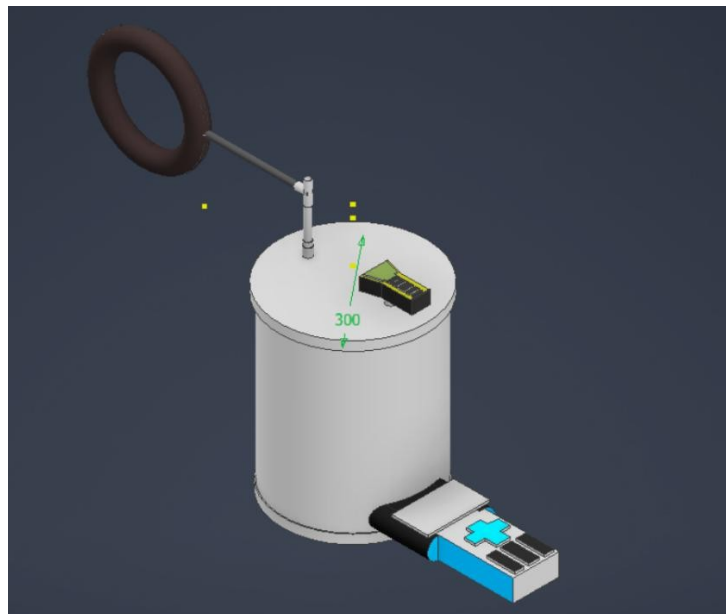


#### 9.4 Anexo D. Equipos utilizados



Fuente: *Propia*

#### 9.5 Anexo E. Esquema del biorreactor



### 9.6 Anexo F. Recolección de muestras



### 9.7 Anexo G. Análisis fisicoquímico



## 9.8 Anexo H. Análisis microbiológico

