

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y

RECURSOS NATURALES



Tesis

**Determinación de la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su
uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024**

Asesor:

Mg. Alvarado Ramos Jessica

Autores:

Guevara Palomino, Karina Yemali

Miranda Palomino, Marx Anthony

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de Sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 042

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 22 días del mes de mayo del 2026, siendo las 11:30 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 091-2026-UTEA-FI-EPIARN de fecha 04 de mayo del 2026 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Ramos Ascue, Juan Diego
Dictaminante :	Mg. Vargas Amiquero, Milagros Carolina
Replicante :	Mg. Salas Peña, Vanesa

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: "Determinación de la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024"

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Guevara Palomino, Karina Yemali
(Apellidos y Nombres)

Br.: Miranda Palomino, Marx Anthony
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Guevara Palomino, Karina Yemali	Aprobado
Miranda Palomino, Marx Anthony	Aprobado

Siendo la 12:40 p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

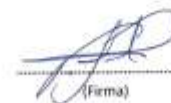
Presidente : Mg. Ramos Ascue, Juan Diego
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Dictaminante: Mg. Vargas Amiquero, Milagros Carolina
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Replicante : Mg. Salas Peña, Vanesa
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

(*) Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de Similitud



Página 2 de 133 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tmsolids3117596487212

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 133 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tmsolids3117596487212

Metadatos

Datos del Autor 1		
Apellidos y nombres	:	Guevara Palomino Karina Yemali
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	76180531
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0000-2861-7393
Datos del Autor 2		
Apellidos y nombres	:	Miranda Palomino Marx Anthony
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	74380405
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0004-2011-7887
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Alvarado Ramos Jessica
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	10372266
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0003-2038-3117
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2024 - 2025
Fuente de financiamiento	:	Propio
Porcentaje de similitud	:	15%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de investigación con profundo amor y gratitud a nuestros padres, por enseñarnos con su ejemplo, cariño y sacrificio que la perseverancia y el esfuerzo siempre tienen recompensa.

A nuestras familias, por su apoyo constante en toda nuestra vida académica y personal, por sus palabras de aliento cuando se generaban dudas en nosotros y por festejar cada pequeño progreso a nuestro lado.

Agradecimientos

A Dios, por brindarnos la vida, la sabiduría y la fuerza necesaria para culminar esta etapa tan importante que, sin él, este logro no habría sido posible.

A nuestros padres y familiares, por su apoyo incondicional, emocional, económico y moral, que fue primordial para llegar hasta la meta.

A nuestra Institución quien nos brindó la oportunidad de formarnos y a nuestras asesoras de tesis Jessica Alvarado y Mariela Rojas por acompañarnos en el proceso de nuestra investigación, de igual modo a nuestros docentes Waldir Pimentel, Milagros Vargas, Kristhel Calderon y Vanesa Salas, nuestros sincero reconocimiento, porque nos brindaron los conocimientos necesarios para nuestro desarrollo profesional y compartieron con paciencia y dedicación sus saberes y a nuestros compañeros y colegas, quienes compartieron con nosotros sus experiencias valiosas durante nuestra etapa Universitaria.

Resumen

Los residuos sólidos orgánicos poseen un alto potencial de aprovechamiento mediante su transformación en biogás, una fuente de energía renovable. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad de producción de biogás a partir de residuos orgánicos para uso doméstico en el distrito de Tamburco durante el año 2024. La investigación fue de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño cuasiexperimental. Se emplearon tres biodigestores de 80 L con diferentes tratamientos: T1 (20 kg de residuos orgánicos y 40 L de agua), T2 (10 kg de residuos orgánicos, 10 kg de estiércol avícola y 40 L de agua) y T3 (20 kg de estiércol avícola y 40 L de agua). Los biodigestores fueron monitoreados durante 60 días, evaluándose parámetros como pH, temperatura, volumen de biogás y porcentaje de metano. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y la prueba ANOVA. Los resultados mostraron una producción de 183,79 L de biogás para T1, 591,41 L para T2 y 686,35 L para T3. El contenido de metano fue de 40,6 %, 51,2 % y 49,9 %, respectivamente. En conclusión, la incorporación de estiércol avícola incrementó significativamente el volumen y la calidad del biogás, obteniéndose mayores porcentajes de metano en comparación con el uso exclusivo de residuos orgánicos.

Palabras clave: Biogás, digestión anaerobia, residuos orgánicos, estiércol avícola, metano.

Abstract

Organic solid waste has significant potential for valorization through its conversion into biogas, a renewable energy source. This study aimed to determine the biogas production capacity from organic waste for domestic use in the district of Tamburco during 2024. The research was applied in nature, with an explanatory level and a quasi-experimental design. Three 80-L biodigesters were operated under different treatments: T1 (20 kg of organic waste and 40 L of water), T2 (10 kg of organic waste, 10 kg of poultry manure, and 40 L of water), and T3 (20 kg of poultry manure and 40 L of water). The biodigesters were monitored for 60 days, and the evaluated parameters included pH, temperature, biogas volume, and methane content. Data were analyzed using descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA). The results showed biogas production of 183.79 L for T1, 591.41 L for T2, and 686.35 L for T3. The methane content was 40.6%, 51.2%, and 49.9%, respectively. The results indicate that the incorporation of poultry manure significantly increased both the volume and quality of the biogas, resulting in higher methane concentrations than those obtained using organic waste alone.

Keywords: Biogas, Anaerobic digestion, Organic waste, Poultry manure, Methane.

Índice

Portada.....	i
Acta de Sustentación.....	ii
Reporte de Similitud.....	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
I. Introducción	15
II. Planteamiento del Problema	17
2.1. Descripción de la realidad problemática.....	17
2.2. Objetivos	20
2.2.1. <i>Objetivo general</i>	20
2.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	20
2.3. Justificación e importancia	20
2.4. Hipótesis	22
2.5. Variables	23
III. Marco Teórico	24
3.1. Antecedentes	24

3.2.	Bases teóricas.....	32
3.3.	Definición de términos	43
IV.	Metodología	45
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	45
4.2.	Ámbito temporal y espacial	47
4.3.	Población y muestra.....	49
4.4.	Instrumentos	49
4.5.	Procedimientos	51
4.6.	Análisis de datos	58
4.7.	Consideraciones éticas	58
V.	Resultados y Discusión	60
VI.	Conclusiones.....	73
VII.	Recomendaciones	74
VIII.	Referencias Bibliográficas.....	75
IX.	Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Composición del biogás</i>	35
Tabla 2 <i>Producción de Biogás por tipo de residuo animal</i>	37
Tabla 3 <i>Diseño experimental de mezclas para biodigestión</i>	51
Tabla 4 <i>Localización por coordenadas de viviendas para la recolección de residuos orgánicos (residuos domiciliarios)</i>	54
Tabla 5 <i>Cantidad de residuos orgánicos (residuos domiciliarios), recolectados</i>	54
Tabla 6 <i>Localización por coordenadas de avícola para la recolección de residuos orgánicos (residuos excremento)</i>	55
Tabla 7 <i>Cantidad de residuo orgánico (excremento avícola), recolectado</i>	56
Tabla 8 <i>Producción total de biogás por tratamiento</i>	64
Tabla 9 <i>Prueba de ANOVA</i>	66
Tabla 10 <i>Prueba de Tukey</i>	66

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Rendimiento de 1m³ de biogás</i>	36
Figura 2 <i>Mapa departamental de Apurímac</i>	48
Figura 3 <i>Mapa ubicación del distrito de Tamburco</i>	48
Figura 4 <i>Flujograma de la experimentación</i>	52
Figura 5 <i>Localización de Viviendas para la obtención de muestras de residuos orgánicos (residuos domiciliarios)</i>	53
Figura 6 <i>Localización de avícola para la obtención de muestras de residuos orgánicos (residuos excremento)</i>	55
Figura 7 <i>Producción total y calidad de biogás</i>	60
Figura 8 <i>Temperaturas en los tratamientos</i>	61
Figura 9 <i>pH en los tratamientos</i>	62
Figura 10 <i>Porcentaje de metano en los tratamientos</i>	63

Índice de Anexos

Anexo 1 <i>Matriz de consistencia</i>	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2 <i>Validación de Instrumentos (validadores)</i>	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3 <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	71
Anexo 4 <i>Panel fotográfico</i>	¡Error! Marcador no definido.
No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.	
Anexo 5 <i>Ensayos de laboratorio</i>	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	¡Error! Marcador no definido.

I. Introducción

La generación de residuos sólidos constituye una problemática creciente a nivel global. En diversos países persisten limitaciones en la separación y adecuado aprovechamiento de los residuos, particularmente de los orgánicos, los cuales poseen un importante potencial para procesos de valorización. En España, por ejemplo, se produjeron 22.7 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales únicamente el 25% fue segregado correctamente; además, cada habitante genera cerca de 479 kg por año, de los cuales 32 kg corresponden a residuos de origen animal y vegetal (INE, 2023). Aunque desde el 2012 se observan avances en la gestión de residuos mediante la implementación de normativas e infraestructura, la participación ciudadana continúa siendo un elemento clave (Artaraz et al., 2012).

En el Perú, la situación presenta características similares. Durante el 2021, la generación de residuos sólidos domiciliarios alcanzó los 0.6 kg/hab/día, lo que representa alrededor de 8 215 000 toneladas anuales. De esta cantidad, aproximadamente el 60% corresponde a residuos orgánicos, los cuales poseen potencial para procesos de valorización como compostaje, producción de abonos y transformación energética (Huiman, 2023). Sin embargo, la gestión municipal aún enfrenta desafíos en materia de planificación, recolección diferenciada y aprovechamiento integral (Acuña y Reyes, 2021). Estos datos evidencian que la fracción orgánica constituye un componente predominante en los residuos y que su aprovechamiento sigue siendo limitado en la mayoría de municipios del país.

A nivel regional y local, la importancia de los residuos orgánicos adquiere un matiz particular debido a la composición de los desechos generados y a la disponibilidad variable de infraestructura para su tratamiento. En el distrito de Tamburco, como en muchas zonas semiurbanas del país, la gestión de los residuos se ve influenciada por factores como el

crecimiento poblacional, patrones de consumo y disponibilidad de servicios municipales. Estas condiciones hacen relevante el análisis de alternativas tecnológicas que permitan convertir dicha fracción orgánica en recursos útiles, reduciendo la presión sobre los sistemas de disposición final y promoviendo prácticas de economía circular.

En este contexto, la valorización energética mediante digestión anaerobia emerge como una alternativa de creciente interés. El biogás, producto de la descomposición de materia orgánica por acción microbiana en ausencia de oxígeno, se reconoce como una fuente renovable capaz de contribuir a la diversificación energética y a la reducción de emisiones derivadas de la descomposición natural de residuos. Su aplicación se ha extendido desde grandes plantas industriales hasta sistemas domésticos, especialmente en comunidades rurales o localidades donde el acceso a recursos energéticos convencionales puede ser limitado o costoso. La literatura científica reporta experiencias positivas donde el uso de biodigestores ha permitido transformar residuos de bajo valor en energía aprovechable, con beneficios ambientales y sociales significativos.

Bajo esta perspectiva, el presente estudio aborda el análisis del potencial de producción de biogás a partir de residuos orgánicos domiciliarios en el distrito de Tamburco, aportando información que permita comprender las oportunidades de valorización energética en el ámbito local.

II. Planteamiento del Problema

2.1.Descripción de la realidad problemática

El hombre siempre ha necesitado de la naturaleza para sobrevivir y desarrollar sus diferentes actividades, pero en ese proceso de utilización de los recursos tiende a desechar o eliminar lo que no necesita, y esto genera impactos negativos al medio; los residuos sólidos pueden reutilizarse, principalmente los inorgánicos para continuar con su producción, y los orgánicos pueden ser aprovechados por sus características en otras actividades (Bernache Pérez, 2015), como puede ser el caso de la producción de biogás, el cual es una alternativa energética amigable con el ambiente porque disminuye la presencia de estos residuos en el medio y brinda una alternativa energética económica (Ejarque et al., 2019)

En España, Según el Instituto Nacional de Estadística (2023) la gestión de residuos sólidos aún tiene mucho por mejorar, de los 22.7 millones de toneladas producidas, el 75% son residuos sólidos no separados y solo el 25% si están separadas, además tienen una producción por persona de 479 kg, de estos 32 kg pertenecen solamente a residuos de animales y vegetales donde. Desde los años 2012 se ha visto una mejora en los residuos sólidos con aplicación de normas, y la implementación de máquinas o infraestructura para la recolección y manejo, pero como factor fundamental es la concientización de los ciudadanos (Artaraz et al., 2012)

A nivel nacional, Huiman (2023) menciona que en el 2021 los residuos generados que se derivan de los domicilios por persona fue de aproximadamente 0.6 kg/hab/día, y de los residuos municipales fue de 0.54 kg/had/día, esto es equivalente a 8 215 000 toneladas, de esta cantidad casi el 60 % son orgánicos, el 21% inorgánicos, el 13% no pueden aprovecharse y lo sobrante son residuos peligrosos, y solo el 55% de las municipalidades del país cuenta con un plan para manejarlo.

La problemática actual que acarrea la población Abanquina, en relación a la gestión de sus Residuos Sólidos Municipales, y con ello lleva a la misma situación a la población del distrito de Tamburco, ya que ambos distritos no cuentan con un lugar de disposición final, esto en relación a lo sucedido desde la clausura del Botadero Municipal de Quitasol (lugar anterior de disposición final); observamos las deficiencias en conductas o educación ambiental de la población tamburquina en segregación selectiva de los residuos sólidos, ya que hoy en día los residuos sólidos dispuestos al vehículo recolector no son segregados correctamente. En este entender se buscan estrategias y tecnologías para poder revertir esta problemática, y es por esto que la Valorización de Residuos Sólidos es uno de los principios (según el Decreto Legislativo N° 1278) que mayor toma impulso.

En la actualidad la Municipalidad de Tamburco viene desarrollando la valorización material de residuos sólidos orgánicos a través del compostaje, según observamos en la región Apurímac el 100% de las municipalidades vienen desarrollando la valorización material de residuos sólidos orgánicos, sin apreciar que existe la valorización energética de residuos sólidos orgánicos a través del biogás (gas natural); considerando que los costos para acceder a un balón de gas oscilan entre S/. 48 - S/. 55, y un 25% de la población tamburquina no puede acceder a la compra de este recurso por temas económicos.

Por todo lo antes mencionado, la importancia ambiental que genera la producción de biogás, la utilización de recursos orgánicos y la energía renovable que genera, la presente investigación tratará en la producción de biogás mediante residuos orgánicos y excremento avícola.

Como se evidenció, la situación de los residuos sólidos a nivel mundial es una problemática latente, que puede repercutir en la salud de las personas y la salud ambiental, ya que los residuos generan contaminación en el medio, los inorgánicos como el plástico se

degradan lentamente creando micro plásticos que llegan indirectamente al organismo, y en los orgánicos puede generar la aparición de bacterias y otros microorganismos que afecten la salud, e inclusive llegar a la muerte (Vargas y Villavicencio, 2019); por lo tanto se buscan alternativas de uso a estos residuos orgánicos, con lo cual se minimice los impactos al medio ambiente y genere un valor agregado a estos, como pueden ser producción de humus, abono directo, biogás, etc. (Acuña y Reyes, 2021).

Una alternativa para la utilización de los residuos sólidos, específicamente para los orgánicos es utilizarlo para crear energía conocido como biogás, este compuesto es una alternativa de energía limpia y renovable (Machado-Higuera, 2018), para su producción se necesita de materias primas de procedencia biológica, como residuos de frutas, de alimentos, de carne, estiércol de animales, plantas, etc. Que mediante su digestión en ausencia de oxígeno los microorganismos trabajan descomponiendo estas materias primas (Awafo y Agyeman, 2020), estos se producen en biodigestores, el cual es una tecnología factible para tratar los materiales orgánicos, el biogás es comúnmente utilizado como combustible para cocinar, generación de energía y se calcula que un 1m³ puede producir energía eléctrica entre 60 a 100 watts durante 6 horas (Linares et al., 2017).

Por todo lo antes mencionado, la importancia ambiental que genera la producción de biogás, la utilización de recursos orgánicos y la energía renovable que genera, la presente investigación tratará en la producción de biogás mediante residuos orgánicos y excremento avícola.

2.1.1. Formulación del problema

2.1.1.1. Problema general

¿Cuál es la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024?

2.1.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué parámetros de operación influyen en la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024?
- ¿Qué parámetros de producción de biogás que se obtienen entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024?
- ¿Cuál de los tratamientos de mezcla de residuos orgánicos genera mayor producción de biogás para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024?

2.2. Objetivos de la investigación

2.2.1. Objetivo general

Determinar la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de operación que influyen en la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.
- Determinar los parámetros de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.
- Determinar cuál tratamiento de mezcla de residuos orgánicos genera la mayor producción de biogás para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

2.3.1.1. Justificación teórica

La investigación se sustenta en la necesidad de generar conocimiento científico sobre el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos domésticos y del estiércol avícola,

materiales disponibles en el distrito de Tamburco, pero poco estudiados desde un enfoque de valorización energética. Mediante el análisis de los parámetros de operación y de los diferentes tratamientos de mezcla, el estudio permitirá comprender cómo estas variables influyen en la producción de biogás, fortaleciendo el marco teórico relacionado con los procesos de digestión anaerobia a pequeña escala.

2.3.1.2. Justificación práctica

La relevancia práctica de la investigación radica en que demuestra un procedimiento sencillo y aplicable para transformar residuos orgánicos en energía renovable mediante biodigestores de pequeña escala. Esta alternativa contribuye a disminuir la acumulación de residuos que generan impactos negativos en el ambiente y la salud, proporcionando una opción viable para familias, organizaciones comunitarias y entidades locales interesadas en implementar sistemas sostenibles de gestión de residuos y producción de energía.

2.3.1.3. Justificación metodológica

Desde el punto de vista metodológico, el estudio incorpora un diseño experimental basado en distintos tratamientos de mezcla, permitiendo analizar cuantitativamente cuál de ellos ofrece mejores resultados en la producción de biogás. Este enfoque constituye una guía replicable para futuras investigaciones y para profesionales que requieran procedimientos claros y sistemáticos para evaluar el desempeño de biodigestores a pequeña escala.

2.3.1.4. Justificación social

La investigación posee una importante dimensión social y económica, ya que puede beneficiar especialmente a sectores vulnerables al demostrar la posibilidad de generar energía mediante insumos de bajo costo y fácil acceso. Asimismo, contribuye a reducir el gasto familiar en combustibles convencionales y promueve alternativas de autosuficiencia energética, fortaleciendo las condiciones de bienestar de la población.

2.3.2. *Importancia de la investigación*

La importancia de la investigación radica en su contribución a la gestión sostenible de los residuos orgánicos y a la promoción de energías renovables en el distrito de Tamburco. Desde la perspectiva ambiental, permite mitigar los impactos asociados a la disposición inadecuada de residuos, tales como la generación de malos olores, lixiviados y emisiones de gases de efecto invernadero. Además, fomenta prácticas de economía circular al transformar desechos orgánicos en un recurso energético útil, contribuyendo a la reducción de la contaminación del suelo y del aire, así como al fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental y energética a nivel local.

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

La capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos presenta un rendimiento significativo para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

- Los parámetros de operación (pH, temperatura y tiempo de retención) influyen de manera significativa en la capacidad de producción de biogás.
- Los parámetros de producción de biogás (volumen generado, porcentaje de metano y tasa de generación) alcanzan valores significativos durante el proceso de digestión anaerobia de los residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco.
- El Tratamiento 1 (T₁) genera una mayor producción de biogás que los tratamientos T₂ y T₃.

2.5. Variables

- **Variable independiente:** Residuos orgánicos
- **Variable dependiente:** Producción de biogás

* Las definiciones conceptuales, operacional e instrumental se encuentran en el **Anexo N° 6**.

Matriz de operacionalización de variables.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de la investigación

3.1.1. Internacionales

Duharte-Rodríguez et al. (2021) en su investigación titulada “Estimación del Potencial de Biogás a partir de la Gallinaza” tuvieron como objetivo evaluar la viabilidad de aprovechar los residuos generados en una empresa avícola de Sancti Spíritus como fuente de energía. La metodología fue de tipo experimental e incluyó la caracterización físico-química de la gallinaza y la estimación del potencial de producción de biogás, así como de la energía eléctrica y térmica obtenible. Los resultados mostraron valores de pH por encima del rango óptimo para la digestión anaerobia (8,07 y 8,84), contenidos de sólidos totales de 91,53 % y 61,91 %, sólidos volátiles de 44,20 % y 43,09 %, y concentraciones de N-NH_4^+ de 254 y 422 g/kg; además, se estimó una producción potencial diaria de 8 178 m³ de biogás, equivalente a entre 6 656 MWh de electricidad y 9 641 MWh de energía térmica anuales. En conclusión, el estudio determinó que este recurso podría cubrir parte de las necesidades energéticas de las Unidades Empresariales de Base y reducir el consumo nacional de combustibles fósiles en más de 6 000 MWh al año.

Parralejo et al. (2019) en su investigación titulada “Producción de Biogás a Pequeña Escala con Excrementos Animales y Residuos Agrícolas” tuvieron como objetivo analizar la generación de metano mediante la codigestión anaerobia de purines de cerdo ibérico, ternero y cordero combinados con subproductos agrícolas como pulpa de tomate ensilada, residuos de uva y de aceituna. La metodología fue experimental e incluyó el procesamiento de estas mezclas y la evaluación de la producción de metano mediante modelos cinéticos de primer orden, Gompertz modificado y Cono, con el fin de estimar tasas máximas de generación, constantes de producción y fases de retraso. Los resultados indicaron valores de constante de

tasa de producción entre 0,04 y 0,07 d⁻¹; tasas máximas de generación de metano entre 0,58 y 2,85 NLCH₄ kg VS⁻¹ d⁻¹; fases de retraso entre 0,004 y 18,96 días según el modelo de Gompertz; y constantes del modelo Cono entre 0,03 y 0,07 d⁻¹, con valores del parámetro n entre 2,07 y 3,07. En conclusión, la codigestión de purines con residuos agrícolas no solo mejora la generación de metano, sino que incrementa su rendimiento a medida que se aumenta la proporción de purines, evidenciando parámetros cinéticos consistentes con la literatura y confirmando su potencial como alternativa sostenible para la gestión de residuos y la producción de energía renovable.

Rivera et al. (2020) en su investigación titulada “Producción de Biogás mediante Codigestión de Estiércol Bovino y Residuos de Cosecha de Tomate” tuvieron como objetivo evaluar la viabilidad de producir biogás mediante la codigestión de estiércol bovino fresco y residuos de tomate. La investigación empleó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, utilizando fichas de observación para registrar la producción de gas. Se trabajó con 20 kg de estiércol y 20 kg de residuos de tomate, caracterizados por sólidos totales entre 20,7 % y 21,2 %, sólidos volátiles entre 17,3 % y 18,3 %, pH de 6,7 y 6,9, y relaciones C/N de 12,7 y 19,6. Los ensayos se realizaron en biodigestores plásticos de 3 L, herméticamente sellados, operados a 30 °C durante 75 días, bajo dos configuraciones: un biodigestor con 80 % de residuos de tomate y 20 % de estiércol, y otro con una mezcla 50:50. Los resultados mostraron que el pH influyó de manera decisiva en la formación de ácidos grasos volátiles y en la generación de metano. El biodigestor con 80 % de residuos de tomate produjo 2,4 L de biogás y 0,9 L de metano (37,5 %), valores insuficientes para su uso como combustible, mientras que el biodigestor 50:50 generó 7,9 L de biogás y 3,6 L de metano, aumentando la producción en 230 % y 300 % respectivamente. En conclusión, la codigestión de estiércol

bovino y residuos de tomate es una alternativa viable; además, la proporción 50:50 y un pH cercano a 7,5 optimizan la concentración de metano.

Da Luz Castro et al. (2024) en su investigación titulada “Análisis Tecnoeconómico de la Producción de Biogás a partir de Jugo de Hojas de Piña y Gallinaza en Codigestión Anaeróbica”, tuvieron como objetivo evaluar la producción de biogás empleando jugo extraído de hojas de piña en combinación con gallinaza como sustratos. La metodología fue experimental aplicada y contempló ensayos de potencial de biometano mediante diferentes proporciones de jugo y gallinaza (70/30, 80/20 y 90/10), además de pruebas individuales con cada uno de los sustratos. Los resultados mostraron que la mezcla 70/30 alcanzó el mayor rendimiento, con un promedio de 692 NL/kg VS, seguida de la combinación 80/20, que obtuvo un valor solo 2 % menor. Ambas formulaciones superaron ampliamente los rendimientos obtenidos con gallinaza pura (608 NL/kg VS) y con jugo de hojas de piña al 100 % (231 NL/kg VS). Adicionalmente, se realizó un análisis tecnoeconómico aplicando la metodología de Peters y Timmerhaus para estimar los costos de inversión. En conclusión, la codigestión anaerobia de jugo de hojas de piña y gallinaza no solo incrementa la producción de biogás, sino que también presenta alta rentabilidad económica, con un periodo de recuperación estimado de 2,3 años.

Borrero-Neninger et al. (2023) en su investigación titulada “Diseño de Planta para la Codigestión Anaerobia de Residuales Vinaza-Cachaza de la Industria Azucarera” tuvieron como objetivo estimar el potencial de producción de biometano a partir de la codigestión anaeróbica de vinaza procedente de destilerías y cachaza como material complementario. La metodología correspondió a un diseño experimental transversal y contempló el uso de equipos de operación continua mediante reactores anaeróbicos de flujo ascendente (UASB). La cachaza fue sometida previamente a un pretratamiento combinado de carácter alcalino y

térmico para optimizar su biodegradabilidad. Los resultados mostraron que, con cinco reactores UASB procesando 900 m³/día de residuales, es posible obtener tres subproductos de valor comercial: biogás, biol líquido y biol sólido. La producción diaria alcanzó 29 988 m³ de biogás y 900 m³ de biol líquido con una concentración de 2,8 kg DQO/m³, apto para su aplicación en fertirriego de cultivos cañeros, además del biol sólido. El biogás generado puede inyectarse a la red de gas natural o emplearse como sustituto de combustibles fósiles, dado que 1 m³ equivale a 0,55 L de fuel oil, lo que representa un ahorro aproximado de 16 500 L diarios y una considerable reducción en importaciones. En conclusión, el proyecto demuestra su viabilidad económica, reduce las emisiones de CO₂ y contribuye a mejorar la eficiencia energética en la producción de alcohol.

Vásquez et al. (2023) en su investigación titulada “Eficiencia Energética del Biogás CH₄ producido con Desechos de Cosechas Cacaoteras en el Cantón la Maná como una alternativa de Energía Renovable” tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia energética del biogás obtenido a partir de la digestión anaerobia de cáscaras de cacao, analizando tanto los parámetros físico-químicos del proceso como el contenido de metano (CH₄) en el producto final. La metodología correspondió a un diseño experimental que empleó tres botellas plásticas como biodigestores, cada una con 3 L de agua y cantidades variables de residuos de cacao (900, 800 y 700 g) combinadas con inóculo de estiércol bovino (100, 200 y 300 g, respectivamente). Los resultados mostraron una producción de 39,5 L de biogás por kilogramo de residuo orgánico, con un contenido promedio de metano del 58,77 %, logrando una producción equivalente de 23,21 L de CH₄ por kilogramo de residuo. El cálculo de energía potencial evidenció que el biogás generado anualmente podría sustituir aproximadamente 131 cilindros de GLP o aportar 25,67 MWh de energía eléctrica. En conclusión, el estudio confirma la viabilidad del uso de residuos de cosechas cacaoteras como

sustrato para la producción de biogás, constituyendo una alternativa energética renovable y una estrategia eficiente para la gestión de desechos orgánicos en zonas productoras.

3.1.2. Nacionales

Acuña y Reyes (2021) en su investigación titulada “Biogás a Base de Estiércol de Cuy y Residuos Orgánicos como Fuente de Energía - Lima” tuvieron como objetivo generar biogás empleando estiércol de cuy y residuos orgánicos como insumos principales. La metodología fue de tipo experimental e incluyó la construcción de tres biodigestores con proporciones de 1:3, 1:4 y 1:6 de residuos orgánicos respecto al estiércol de cuy. Los resultados evidenciaron producciones de 130,7 ml, 90,7 ml y 81 ml, respectivamente, durante un periodo de retención de 60 días, demostrando que todos los biodigestores fueron capaces de generar biogás, aunque con eficiencias influenciadas por variables como el pH, la temperatura, la relación C/N, los materiales, la agitación y el diseño de instalación. En conclusión, el estudio confirma que esta tecnología representa una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos sólidos y excretas de animales domésticos, contribuyendo a disminuir el consumo de gas doméstico y a mitigar la contaminación ambiental.

Vargas y Villavicencio (2019) en su investigación titulada “Eficacia del Biogás elaborado con Estiércol de Ganado Bovino y Porcino del Camal Municipal de Moyobamba” tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino recolectado en el camal municipal. La metodología correspondió a un diseño experimental aplicado y contempló la instalación de tres biodigestores con diferentes cargas y combinaciones de sustratos: uno con estiércol porcino, otro con estiércol bovino y un tercero con una mezcla en proporción 50/50. Los resultados mostraron que el biodigestor alimentado con estiércol porcino obtuvo el mayor rendimiento de biogás, seguido por el biodigestor mixto, mientras que el de estiércol bovino registró la menor producción. En

conclusión, el estudio evidenció que la mezcla de estiércol porcino y bovino favorece el equilibrio del proceso anaeróbico y constituye una alternativa eficaz para optimizar la generación de biogás.

Valdez y Lozano (2023) en su investigación titulada “Producción de Biogás mediante Combinación de Estiércol Vacuno y de Cuy en la Región Moquegua” tuvieron como objetivo determinar la capacidad de generación de biogás utilizando como sustratos una mezcla de estiércol de vaca y de cuy. La metodología fue experimental e incluyó un tratamiento con tres repeticiones, para lo cual se construyeron biodigestores de 80 L de capacidad cargados con 72 L de agua, 2,0 kg de estiércol de cuy y 2,5 kg de estiércol vacuno. Durante los 60 días de digestión anaerobia se monitorearon parámetros como pH y temperatura. Los resultados indicaron que esta combinación permitió obtener volúmenes importantes de biogás, con una etapa de mayor producción entre los días 35 y 50, alcanzando un total acumulado de 837,10 L al finalizar el periodo. En conclusión, la mezcla de estiércol vacuno y de cuy se presenta como una alternativa técnicamente viable para la generación de biogás, siempre que se mantengan condiciones adecuadas de pH (superior a 7) y una temperatura cercana a los 26 °C.

Seclen Castañeda (2023) en su investigación titulada “Generación de Electricidad a partir de Biogás obtenido del Estiércol de Ganado Vacuno para Suministrarla al CC.PP. Chochor – Morrope—Lambayeque” planteó como objetivo diseñar un sistema eléctrico alimentado por biogás generado a partir del estiércol de ganado bovino. La metodología fue de tipo no experimental, prospectiva y transversal, tomando como referencia cinco viviendas del centro poblado. Los resultados evidenciaron que la demanda eléctrica promedio era de 1 377 kWh diarios, mientras que las 43 cabezas de ganado producían aproximadamente 1 394 kg de estiércol por día, con un pH de 7,3 y un 6 % de materia seca. A partir de esta

información se estimó que un biodigestor de 3,69 m³ podría generar 1,83 m³ de biogás diarios. El análisis financiero mostró una Tasa Interna de Retorno del 14 % y un periodo de recuperación de seis años, demostrando la factibilidad económica del proyecto. La propuesta final consideró la instalación de un biodigestor tubular tipo Taiwán, con un volumen total de 5,52 m³, capaz de producir el biogás necesario para alimentar un generador eléctrico de 2,50 kW, suficiente para cubrir la demanda de las viviendas analizadas. En conclusión, el estudio confirma la viabilidad técnica y económica del sistema, constituyendo una alternativa energética sostenible para la comunidad.

Lozano y Gonzales (2023) en su investigación titulada “Propuesta de un Sistema generador de Energía Eléctrica con Biogás producido por Estiércol de Cerdos, en la Granja Don Víctor, Jaén” tuvieron como objetivo diseñar una propuesta para la generación de electricidad a partir del biogás obtenido del estiércol porcino. La metodología fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental descriptivo, considerando como población de referencia 100 cerdos. El procedimiento incluyó la recopilación de información sobre la producción diaria de estiércol y la implementación de un biodigestor tipo laguna. Los resultados indicaron que era posible generar 18,92 m³ diarios de metano (CH₄), lo cual, al ser empleado en un generador de 3 kW operando durante 12,55 horas, permitía producir 37,64 kWh por día. El análisis económico estimó un Valor Actual Neto de 35 790,11 y una Tasa Interna de Retorno del 36 %, demostrando la rentabilidad del proyecto. En conclusión, el estudio confirmó la viabilidad técnica y económica del sistema, señalando además que un incremento en el número de cerdos elevaría proporcionalmente la producción de biogás y el potencial de generación eléctrica.

3.1.3. Regionales o locales

Arias (2023) en su investigación titulada “Elaboración de Biodiesel a partir de Aceites Domésticos Reciclados en el Centro Poblado de Las Américas, Abancay – Apurímac” tuvo como objetivo producir biodiésel empleando aceite doméstico reciclado en la ciudad de Abancay. La metodología fue de tipo aplicada, con diseño no experimental, y consideró una población de 13 pollerías, de las cuales se seleccionaron 3 como muestra, obteniéndose 14 litros de aceite usado. Los resultados indicaron un rendimiento del 39 % en la producción de biodiésel, además de la evaluación de parámetros fisicoquímicos como número de acidez (0,42 mg KOH/g), residuo de carbón Conradson (0,06 % m/m), viscosidad cinemática a 40 °C (5,27 mm²/s), glicerol total (0,18 % m/m), glicerol libre (0,0 % m/m), contenido de humedad (0,06 % m/m), azufre (0,01 % m/m) y poder calorífico inferior (8 633,75 kcal/kg). Si bien varios indicadores se encontraron dentro de los rangos permitidos, el contenido de humedad y el poder calorífico inferior no cumplieron los estándares establecidos. En conclusión, el estudio demuestra que el biodiésel obtenido posee potencial para ser utilizado como biocombustible, aunque requiere ajustes adicionales para cumplir plenamente con las normas de calidad.

Chauca y Ruiz (2023) en su investigación titulada “Producción de Bioetanol a partir de Residuos de Naranja (*Citrus Sinensis*) y Plátano (*Musa Paradisiaca L.*)” tuvieron como objetivo obtener bioetanol utilizando residuos de ambas frutas provenientes del mercado Las Américas. El estudio fue de tipo aplicativo y consideró cuatro tratamientos con tres repeticiones: T1 (1 kg de residuos de naranja), T2 (1 kg de residuos de plátano), T3 (0,5 kg de residuos de naranja + 0,5 kg de residuos de plátano) y T4 (mezcla similar al T3, empleado como testigo). En los tres primeros tratamientos se añadió 5 g/L de levadura en jarabe glucosado, mientras que el testigo no recibió este aditivo. A todos los tratamientos se les

aplicaron las etapas de pretratamiento, hidrólisis ácida, fermentación y destilación simple. Los resultados mostraron que el T1 generó 221,67 mL de bioetanol con 12,33 % de pureza; el T2 alcanzó 235 mL con 14,67 %; el T3 obtuvo 255,33 mL con 14,67 %; y el T4 produjo 206,67 mL con una pureza del 9 %. En conclusión, el tratamiento T3 logró el mayor volumen y pureza de bioetanol, posicionándose como la alternativa más eficiente dentro del estudio.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Residuos sólidos

Los residuos son materiales que se descartan porque ya no tienen utilidad. Se clasifican según su origen, como residenciales, comerciales, industriales, agrícolas o sanitarios, y según su composición, como orgánicos, inorgánicos, peligrosos o inertes (Atehortúa, 2020). La gestión adecuada de estos residuos es crucial, ya que forman parte integral de la actividad humana. Una gestión ineficiente puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud pública. Por ejemplo, los residuos orgánicos pueden descomponerse y liberar gases de efecto invernadero, mientras que los residuos peligrosos pueden contaminar el suelo y el agua. Por lo tanto, implementar estrategias efectivas de gestión de residuos es esencial para minimizar su impacto negativo y promover la sostenibilidad (Sacatoro, 2020).

3.2.1.1. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son aquellos desechos que provienen de seres vivos, como plantas, animales y seres humanos. Estos residuos se descomponen de manera natural y pueden ser utilizados para la producción de compost o biogás. Según Navarro et al., (1995) los residuos orgánicos incluyen materiales como restos de alimentos, estiércol y residuos agrícolas, que pueden ser aprovechados en la agricultura para mejorar la fertilidad del suelo. Mientras tanto Smith y Brown (2022) han destacado la importancia de gestionar

adecuadamente estos residuos para reducir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad. Ellos señalan que los residuos orgánicos no solo son una fuente valiosa de nutrientes para el suelo, sino que también pueden ser transformados en energía renovable a través de procesos como la digestión anaeróbica. Este enfoque no solo ayuda a mitigar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también proporciona una solución viable para la gestión de residuos en áreas urbanas y rurales (Matamoros, 2024).

3.2.1.2. Clasificación de los residuos

Según Ramos y Quinte (2022), los residuos pueden presentarse en estados físicos como sólidos, líquidos, gaseosos y pastosos. Además, se clasifican según su estructura química, origen y destino final.

Residuos orgánicos. Son aquellos que provienen de un organismo vivo como plantas o animales, estos pueden ser putrescibles y no putrescibles.

Residuos inertes. Son biodegradables e incombustibles. Proviene de la extracción o empleo de los recursos naturales, como es el caso de la construcción, demolición, etc.

Residuos peligrosos. Aquellos que no se los pueden utilizar en procesos de recuperación o transformación convencionales.

3.2.2. Biogás

El interés en aprovechar la energía de residuos orgánicos, como el estiércol bovino, ha crecido en la literatura científica y en políticas de desarrollo sostenible. Este interés responde a la necesidad de fuentes de energía más limpias y la reducción de emisiones de GEI, especialmente en sectores como la ganadería, la sostenibilidad se está volviendo crucial en diversos sistemas de producción para enfrentar estos desafíos globales (Pablo et al., 2022).

Masache y Jimenez (2024) El biogás es una fuente de energía limpia y sostenible, producida mediante la digestión anaeróbica de materia orgánica. Este proceso, llevado a cabo por microorganismos, genera un gas útil para la generación de electricidad, calefacción, cocina y como biocombustible para el transporte y productos químicos.

Lagos (1013), El biogás es una mezcla de gases que se compone principalmente de metano y dióxido de carbono. Se genera cuando materiales orgánicos se descomponen sin oxígeno, gracias a la acción de microorganismos especiales. Este proceso es una forma eficiente de convertir residuos orgánicos en una fuente de energía renovable. El biogás tiene un alto contenido energético, lo que lo hace útil para generar electricidad y como combustible en diferentes aplicaciones. Además, su uso ayuda a reducir las emisiones de gases que causan el efecto invernadero, lo que lo hace una alternativa más sostenible y ecológica que los combustibles fósiles tradicionales. Este proceso no solo ayuda a gestionar residuos, sino que también ofrece una solución para producir energía limpia y renovable. (Banu y Kannah ,2020).

Hidrólisis. Es cuando los materiales orgánicos complejos se descomponen en compuestos más simples.

Acidogénesis. Es cuando estos compuestos simples se convierten en ácidos grasos volátiles.

Acetogénesis. Es cuando los ácidos grasos se transforman en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.

Metanogénesis. Es cuando se produce metano y dióxido de carbono a partir del acetato y el hidrógeno.

3.2.2.1. Composición del Biogás

Varía dependiendo del tipo de material orgánico y del proceso de producción utilizado. El biogás se compone principalmente de dióxido de carbono y metano, y también incluye algunas impurezas. Cuando el contenido de metano en el biogás es alto, más del 45%, se vuelve inflamable. La composición del biogás puede variar según la materia prima y el proceso utilizado. (Varnero, 2011).

Tabla 1

Composición del biogás

Compuestos	Fórmula química	Concentración
Agua	H ₂ O	Saturado
Hidrógeno	H ₂	0 – 2 %
Dióxido de carbono	CO ₂	20 – 50 %
Metano	CH ₄	50 – 80 %
Oxígeno	O ₂	0 – 1 %
Nitrógeno	N ₂	0 – 1 %
Monóxido de carbono	CO	0 – 1 %
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	100 - 700 ppm
Amoníaco	NH ₃	Trazas
Compuestos orgánicos	-	Trazas

Nota. La tabla muestra los componentes principales del biogás y los rangos típicos de concentración. *Adaptado de Varnero (2011).*

Características. El biogás es más liviano que el aire, con una temperatura de inflamación de aproximadamente 700°C y una llama que alcanza los 870°C. Está compuesto principalmente por 60% de metano (CH₄) y 40% de dióxido de carbono (CO₂), con pequeñas

cantidades de otros gases como el ácido sulfhídrico (H_2S). La proporción de metano en el biogás varía según la temperatura y el material de fermentación, siendo mayor a bajas temperaturas, pero con menor volumen total de gas producido (Inca, 2016).

El porcentaje de metano además depende del material de fermentación llegando a alcanzar, en diferentes sustratos los siguientes valores aproximadamente:

Estiércol de gallina 6%, de cerdo 68%, de establo 56%, Pasto 71%, desperdicios de cocina 51%.

Figura 1

Rendimiento de 1m^3 de biogás



Nota. La figura muestra los usos energéticos que pueden obtenerse a partir de 1m^3 de biogás. *Adaptado de* Seclen Castañeda (2023).

Tabla 2*Producción de Biogás por tipo de residuo animal*

ESTIÉRCOL (PESO DE ANIMAL VIVO)	DISPONIBILIDAD KG/DÍA	VOLUMEN DE BIOGÁS	
		m3/kg húmedo	m3/día/año
Bovino (500kg)	10.0	0.04	0.400
Porcino (50kg)	0.400	0.06	0.135
Aves (2kg)	0.18	0.08	0.014
Ovino (32kg)	1.5	0.05	0.075
Caprino (50kg)	2.0	0.05	0.100
Equino (450kg)	10.0	0.04	0.400
Conejo (3kg)	0.35	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	0.06	0.025

Nota. La tabla presenta la disponibilidad diaria de estiércol y el volumen estimado de biogás generado por diferentes tipos de animales y excretas humanas. *Adaptado de Varnero (2011)*

3.2.2.2. Uso Del Biogás

El biogás es un gas natural generado por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas y ganaderos, mediante microorganismos. Está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), con pequeñas cantidades de otros gases como ácido sulfhídrico (H_2S) y nitrógeno (N_2) (Fundación Conama, 2022).

A continuación, se presentan las fuentes de generación de energía:

Electricidad y Calor: Se utiliza en motores, turbinas de gas o calderas para generar electricidad y calor, siendo común en plantas industriales y agrícolas que utilizan residuos orgánicos.

Cogeneración: Se le conoce cuando generan calor y también electricidad, es una forma eficiente de aprovechar el biogás, maximizando su uso energético.

Combustible

Biocombustible para Vehículos. El biogás es un combustible que se puede utilizar de varias maneras. Una de las formas es como biocombustible para vehículos. El biogás se puede purificar y convertir en biometano, que se utiliza como combustible para vehículos. Esto ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte. (Lozada, 2013).

Inyección en la Red de Gas. El biometano puede inyectarse en la red de gas natural, sustituyendo parcialmente el gas fósil y disminuyendo la dependencia de combustibles no renovables (Lozada, 2013).

El biogás, una vez industrializado, puede servir como una fuente de energía alternativa al quemarse como combustible en diversos dispositivos. Su principal ventaja es que, al combustionar, se descompone en CO₂ y H₂O, reduciendo así las emisiones contaminantes (Lozada, 2013).

Entre los diferentes usos para el biogás producido por digestión anaerobia, están:

- La generación de calor o electricidad mediante una caldera.
- Generar electricidad mediante el uso de motores y turbinas.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de gases sulfurados y otros contaminantes.

- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

Producción del biogás. La producción de biogás es el proceso de generar gas mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas y estiércol, por microorganismos en un ambiente controlado. El gas resultante se utiliza como fuente de energía renovable. (Fundación Conama, 2022).

Recolección de Materia Orgánica. Se recolectan residuos orgánicos como estiércol, restos de alimentos y residuos agrícolas.

Preparación del Digestor. Se instala un digestor anaeróbico, un contenedor sellado donde se descompondrá la materia orgánica sin oxígeno.

Carga del Digestor. La materia orgánica se introduce en el digestor junto con agua para facilitar la descomposición.

Digestión Anaeróbica. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y digestato.

Captura del Biogás. El biogás generado se recoge en un tanque o bolsa de gas.

Purificación del Biogás. El biogás se purifica para eliminar impurezas como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbono (CO_2), obteniendo biometano.

Uso del Biogás. El biogás purificado se utiliza para generar electricidad, calor o como combustible para vehículos.

3.2.2.3. Fuentes para producir biogás

Se conoce que la producción de biogás depende de materiales orgánicos, materiales derivados de materia viva, como (Barrena et al., 2019):

Vegetación. Los residuos de vegetales al descomponerse liberan metano.

Pantanos y humedales. Estas fuentes son variadas, depende de lo que se encuentran dentro, normalmente son residuos de plantas y otras de animales, pero su predominancia es la vegetación, por tal motivo también influye en la producción de metano.

Estiércol de animales. Esta fuente cuando se tratan de animales criados en granja su estiércol presenta al descomponerse metano, esto producto de la principal alimentación de estos animales, el cual es vegetales.

Desagües. Estas fuentes también durante su proceso de descomposición y en condiciones controladas produce Metano.

Relleno Sanitario. Estas fuentes presentan variedad de productos, pero posterior a una correcta separación de los residuos predominan orgánicos, y estos al descomponerse, producen metano.

Con la presencia de materiales agropecuarios al momento de su composición estos generan gases a la atmósfera, los 3 principales son metano, dióxido de carbono y óxido nitroso, pero estos gases se encuentran dentro de los catalogados como de efecto invernadero, siendo el metano el que presenta mayor cantidad, por lo tanto, al ser utilizado en el biogás no estarán disponible en la atmósfera, cabe resaltar que para que un biogás sea considerado combustible debe presentar mínimo 45% hasta 70% (Silva et al., 2013).

3.2.2.4. Producción de biogás a partir de residuos orgánicos domiciliarios

Los residuos orgánicos domiciliarios constituyen una fuente importante de materia prima para la producción de biogás debido a su elevado contenido de materia biodegradable, principalmente restos de alimentos, frutas, verduras y residuos de cocina. Durante el proceso de digestión anaerobia, estos residuos son transformados por microorganismos en biogás y digestato, permitiendo el aprovechamiento energético de materiales que normalmente serían dispuestos en rellenos sanitarios. Diversos estudios indican que los residuos de cocina

presentan un alto potencial metanogénico debido a su contenido de carbohidratos, proteínas y lípidos fácilmente degradables (Abbasi et al., 2012).

La utilización de residuos domiciliarios en biodigestores contribuye a la reducción de los volúmenes de residuos sólidos urbanos y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su disposición final. Asimismo, representa una alternativa sostenible para la generación de energía renovable en zonas urbanas y rurales (Mata-Alvarez et al., 2014).

3.2.2.5. Producción de biogás a partir de estiércol avícola

El estiércol avícola es considerado uno de los sustratos con mayor potencial para la producción de biogás debido a su elevada concentración de materia orgánica y nutrientes. Su contenido de nitrógeno favorece el crecimiento microbiano durante la digestión anaerobia, permitiendo una mayor producción de metano cuando las condiciones operativas son adecuadas. Sin embargo, concentraciones excesivas pueden generar acumulación de amoníaco e inhibir parcialmente el proceso biológico (Ward et al., 2008).

Diversas investigaciones han demostrado que el estiércol avícola puede utilizarse de forma individual o combinado con otros residuos orgánicos para incrementar la producción de biogás. La cogestión con residuos de alimentos mejora la relación carbono/nitrógeno (C/N), optimizando la actividad microbiológica y aumentando el rendimiento energético del sistema (Mao et al., 2015).

3.2.2.6. Codigestión anaerobia de residuos orgánicos y estiércol avícola

La codigestión anaerobia consiste en el tratamiento simultáneo de dos o más sustratos orgánicos dentro de un biodigestor con la finalidad de mejorar la estabilidad del proceso y aumentar la producción de biogás. Esta estrategia permite complementar las características

fisicoquímicas de los residuos utilizados, favoreciendo el equilibrio nutricional requerido por los microorganismos metanogénicos (Mata-Alvarez et al., 2014).

La mezcla de residuos orgánicos domiciliarios con estiércol avícola ha mostrado resultados favorables debido a que los residuos de cocina aportan carbono fácilmente degradable, mientras que el estiércol suministra nitrógeno y microorganismos necesarios para la digestión anaerobia. Como resultado, se incrementa la producción de biogás y el porcentaje de metano en comparación con la utilización de un solo sustrato (Mao et al., 2015).

3.2.2.7. Experiencias de proyectos de producción de Biogás en Perú

Hasta el año 2023 en Perú los proyectos estatales dedicados a producir biogás para su uso doméstico y generación de energía son escasos, aunque existen ONGs internacionales que vienen apoyando estos proyectos, porque apuestan a una energía amigable (Seclen Castañeda, 2023), por ejemplo, uno de los proyectos más conocidos es el Proyecto Especial de Alto Mayo, se ubica en San Martín y se dedica a bio-procesar estiércol de vacuno para producir 10m³ de biogás, otro conocido tenemos a Biosinergia, el cual también se ubica en San Martín, se elige esta zona por la alta producción vacuna y porcina de la zona, este proyecto tiene la capacidad de producir 75m³ de biogás, lo cual equivale a 16 kW (MINAG, 2011, como se citó en Seclen Castañeda, 2023).

3.3. Definición de términos

- ✓ **Biogás:** Mezcla gaseosa obtenida de la degradación de materia orgánica mediante digestión anaeróbica realizada por microorganismos, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono. (Duharte-Rodríguez et al., 2021)
- ✓ **Biodigestor:** Estructura diseñada para contener material orgánico mezclado con agua en condiciones herméticas, permitiendo la producción controlada de biogás mediante digestión anaeróbica. (Corona, 2007).
- ✓ **Digestión anaeróbica:** Proceso microbiológico de fermentación en ausencia de oxígeno, que genera biogás y lodos ricos en nutrientes. (Acosta y Obaya, 2005).
- ✓ **Estiércol avícola:** Residuo orgánico producido por el sistema digestivo de las aves, utilizado como sustrato en la producción de biogás. (Manguiarotti et al., 1993).
- ✓ **Residuos orgánicos domiciliarios:** Material biodegradable proveniente de actividades domésticas, como restos de alimentos y vegetales, susceptible de aprovechamiento energético o compostaje. (Bernache Pérez, 2015).
- ✓ **Metano:** Gas incoloro e inflamable, principal componente del biogás, con alto poder calorífico y producido durante la digestión anaeróbica. (Wellinger et al., 2013).
- ✓ **pH:** Medida de acidez o alcalinidad de una sustancia, determinante en la actividad microbiana y la eficiencia de la digestión anaeróbica. (Varnero, 2011).
- ✓ **Producción de biogás:** Cantidad de gas generada en un tiempo determinado a partir de la digestión de sustratos orgánicos. (Parralejo et al., 2019).
- ✓ **Tasa de producción de metano:** Volumen de metano producido por unidad de tiempo, indicador de eficiencia del proceso anaeróbico. (Tabatabaei & Ghanavati, 2018).

- ✓ **Volumen de biogás:** Cantidad total de biogás producido en un periodo determinado, expresada en litros o metros cúbicos. (Masache & Jiménez, 2024).
- ✓ **Porcentaje de metano:** Proporción de metano en el biogás, determinante de su calidad energética. (Rivera et al., 2020).
- ✓ **Tiempo de retención:** Duración que permanece el sustrato en el biodigestor para completar la digestión anaeróbica. (Varnero, 2011).
- ✓ **Calidad de biogás:** Característica que determina el contenido de metano y otros gases presentes en el biogás, afectando su poder calorífico y eficiencia como fuente de energía (Wellinger et al., 2013).
- ✓ **Carga orgánica:** Cantidad de materia orgánica que se introduce en el biodigestor por unidad de volumen y tiempo, influye directamente en la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica (Varnero, 2011).
- ✓ **Economía circular:** Modelo económico que busca maximizar el aprovechamiento de los recursos y minimizar residuos mediante la valorización de subproductos y su reincorporación a la cadena productiva (Bernache Pérez, 2015).
- ✓ **Valorización de residuos:** Proceso mediante el cual los residuos orgánicos se transforman en productos útiles, como biogás o biofertilizantes, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y energética (Tabatabaei & Ghanavati, 2018).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

El proyecto de investigación al ser de tipo aplicada se enfoca en resolver problemas prácticos mediante la manipulación de variables independientes y la medición de sus efectos. La inclusión de más de dos grupos de comparación y la realización de pospruebas para evaluar los efectos de las condiciones experimentales demuestra un enfoque riguroso y detallado (Hernández Sampieri et al., 2014).

En la presente investigación, el carácter aplicado se evidencia en la búsqueda de una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios y estiércol avícola mediante la producción de biogás en biodigestores, contribuyendo a la valorización de residuos y a la generación de energía renovable para uso doméstico en el distrito de Tamburco.

Nivel de investigación

El nivel de investigación se clasifica como explicativo este enfoque busca entender cómo y por qué ocurren ciertos fenómenos mediante la manipulación de variables independientes y la medición de sus efectos (Hernández Sampieri et al., 2014).

En este estudio, el nivel explicativo se manifiesta al analizar la influencia de diferentes composiciones de sustratos sobre la producción y calidad del biogás generado. Asimismo, se busca explicar las diferencias observadas entre los tratamientos en función del volumen producido, el porcentaje de metano y las variaciones de pH y temperatura durante el proceso de digestión anaerobia.

El diseño cuasiexperimental se utiliza cuando no se puede asignar aleatoriamente a los participantes a los grupos de tratamiento y control. A diferencia de los diseños

experimentales puros, los grupos ya están formados antes del experimento, por ello se destaca la importancia de planificar cuidadosamente el tratamiento, controlar el proceso de investigación y analizar los datos para asegurar la calidad y validez de los resultados (Gallego Ortega, 2022).

En la presente investigación se empleó un diseño cuasiexperimental, mediante la evaluación de tres tratamientos establecidos previamente en biodigestores de 80 L de capacidad: T1 (20 kg de residuos orgánicos domiciliarios y 40 L de agua), T2 (10 kg de residuos orgánicos domiciliarios, 10 kg de estiércol avícola y 40 L de agua) y T3 (20 kg de estiércol avícola y 40 L de agua). Los tratamientos fueron monitoreados durante 60 días bajo las mismas condiciones experimentales.

La variable independiente estuvo constituida por la composición de los sustratos utilizados en cada tratamiento (residuos orgánicos domiciliarios y estiércol avícola), mientras que la variable dependiente fue la producción de biogás, evaluada mediante el volumen generado, el porcentaje de metano y el comportamiento de parámetros fisicoquímicos como el pH y la temperatura.

Representación gráfica del diseño de investigación

$$G_1 : X_1 - O$$

$$G_2 : X_2 - O$$

$$G_3 : X_3 - O$$

Donde:

G_1 = Biodigestor con Tratamiento 1.

G_2 = Biodigestor con Tratamiento 2.

G_3 = Biodigestor con Tratamiento 3.

X_1 = Aplicación del Tratamiento 1 (20 kg de residuos orgánicos domiciliarios + 40 L de agua).

X_2 = Aplicación del Tratamiento 2 (10 kg de residuos orgánicos domiciliarios + 10 kg de estiércol avícola + 40 L de agua).

X_3 = Aplicación del Tratamiento 3 (20 kg de estiércol avícola + 40 L de agua).

O = Observación o medición de la variable dependiente (producción de biogás)

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.1.1. Ámbito temporal

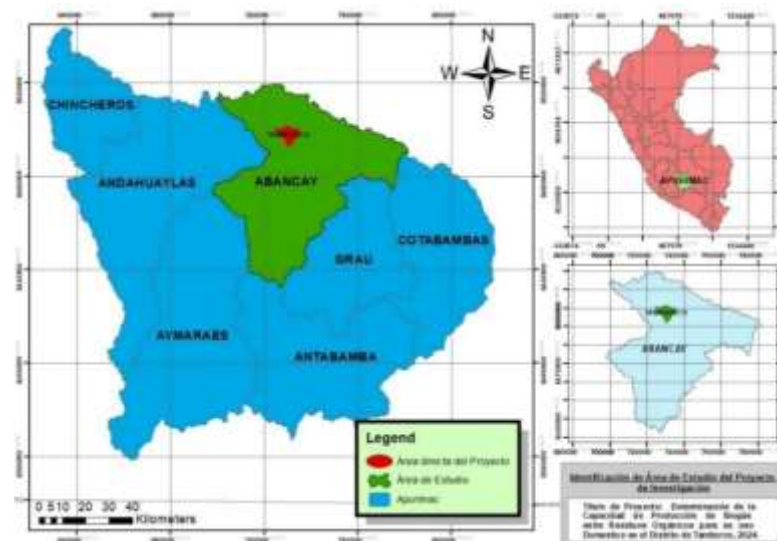
La presente investigación se desarrolló durante un período de ocho meses, tiempo en el cual se realizaron las actividades de recopilación de información, ejecución experimental, análisis de resultados y elaboración del informe final de investigación.

4.1.2. Ámbito espacial

El distrito de Tamburco, provincia de Abancay, del departamento de Apurímac, se encuentra ubicado a 2780 m.s.n.m., cuenta con una población censada según INEI (2018) de 10 900 personas aproximadamente, los cuales viven en 3100 viviendas, el 2.6% de las viviendas no tiene acceso a agua y el 13.3% no tienen acceso a saneamiento.

Figura 2

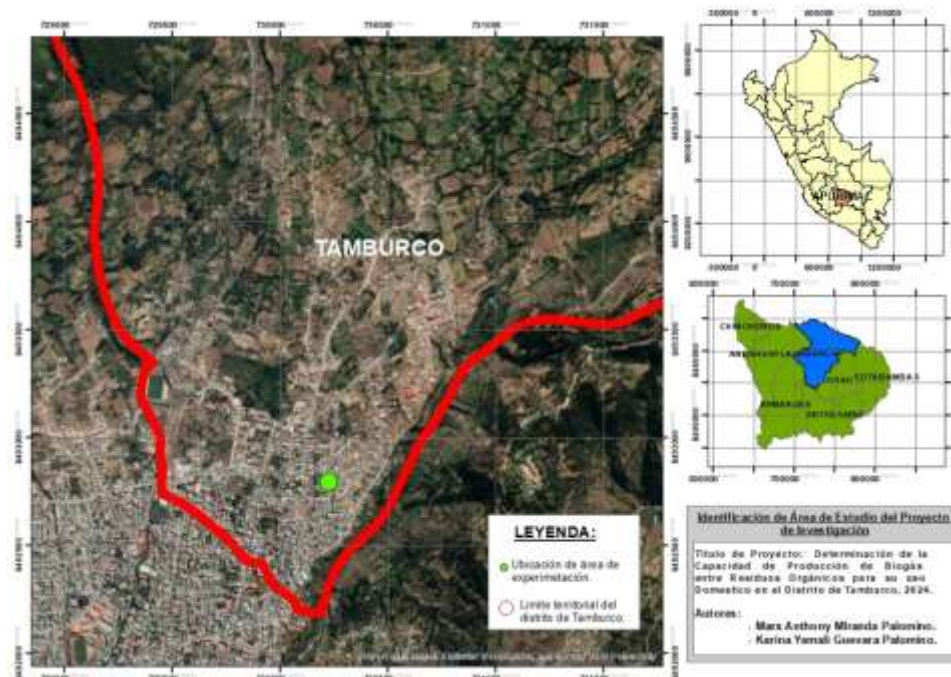
Mapa departamental de Apurímac



Nota. Elaboración propia MAMP/KYGP-2025.

Figura 3

Mapa ubicación del distrito de Tamburco



Nota. Elaboración propia MAMP/KYGP-2025.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población de estudio está conformada por los residuos orgánicos domiciliarios y el estiércol avícola generados en el distrito de Tamburco, que representan los sustratos potenciales para la producción de biogás en la zona. La población total es de 200kg.

4.3.2. Muestra

Se seleccionó una muestra de 30 kg de residuos orgánicos domiciliarios y 10 kg de estiércol avícola. La muestra se eligió considerando la representatividad de los sustratos más comunes y disponibles en el distrito, con el fin de asegurar que los resultados reflejen las condiciones locales de generación de residuos.

4.3.3. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el que los elementos se seleccionan según criterios de accesibilidad, disponibilidad y relevancia para el estudio. Este enfoque permite un manejo práctico de los sustratos y garantiza que los datos obtenidos sean útiles para evaluar la producción de biogás a partir de los materiales disponibles en el distrito (Hernández Sampieri et al., 2014)

4.4. Instrumentos

4.4.1. Técnicas

Observación

Para la producción de biogás, se empleará la técnica de observación, supervisando directamente los procesos y condiciones, con lo cual se obtendrá datos precisos sobre la cantidad de residuos orgánicos y estiércol avícola utilizados, las condiciones ambientales y el rendimiento del biogás producido.

Análisis estadístico

Es una técnica que consiste en aplicar métodos matemáticos y estadísticos para organizar, resumir, interpretar y extraer conclusiones de los datos recolectados.

Análisis de laboratorio y de campo

Es una técnica que implica la evaluación de muestras mediante procedimientos estandarizados para determinar propiedades físico-químicas, % de metano y otros parámetros relevantes del biogás. Incluye mediciones tanto en condiciones controladas de laboratorio como en condiciones reales de los biodigestores en campo (pH, T°, y otros).

Revisión bibliográfica

Es una técnica que consiste en recopilar, analizar y sintetizar información proveniente de investigaciones previas, libros, artículos y fuentes confiables, con el fin de sustentar el marco teórico, metodológico y contextual del estudio

4.4.2. Instrumentos

Ficha de observación

La ficha de observación registró de manera estructurada las variables relevantes durante la producción de biogás. Incluirá secciones para anotar la cantidad de materiales, condiciones de temperatura y humedad, tiempo de producción, y otros datos pertinentes que influyan en la eficiencia y calidad del biogás, las fichas de observación serán para apuntar (Tiempo (días), Temperatura (°C), pH)

Equipos de laboratorio y medición en campo

Los parámetros que requieren equipos especializados, como el porcentaje de metano, serán determinados en un laboratorio acreditado, asegurando resultados precisos. Por otro lado, parámetros como el pH y la temperatura del sustrato se medirán directamente en campo,

utilizando equipos portátiles, lo que permite un control continuo durante el proceso de digestión anaeróbica y garantiza la confiabilidad de los datos.

Software estadístico

Se utilizó SPSS versión 25 y Microsoft Excel para procesar los datos obtenidos, calcular promedios, porcentajes, desviaciones estándar, elaborar gráficas y realizar pruebas de significancia (ANOVA).

Gestores bibliográficos y bases de datos académicas

Se utilizó buscadores académicos como Google Scholar, Scopus, SciELO y otras plataformas especializadas, con el fin de acceder a información actualizada y confiable.

4.5. Procedimientos

Para la investigación se elaboró 3 biodigestores de plástico, estos tendrán capacidad de 80 L.

Se acopló tuberías, llaves de paso, manómetro, manguera de gas, y otros para asegurar la producción de biogás, teniendo en cuenta que debe estar completamente sellado.

Los 3 biodigestores serán llenados de la siguiente manera:

Tabla 3

Diseño experimental de mezclas para biodigestión

	Residuos orgánicos	Estiércol avícola	Agua
T ₁	20kg	-	40L
T ₂	10kg	10kg	40L
T ₃	-	20kg	40L

Nota. Se muestra el diseño experimental que se ejecutó en cada uno de los biodigestores.

Se sellarán los biodigestores para iniciar el proceso de producción natural de biogás a través de la digestión anaeróbica de los microorganismos.

Durante este tiempo se estarán realizando mediciones de los parámetros que influyen en el proceso de producción cada 5 días, hasta llegar a un total de 60 días.

Figura 4

Flujograma de la experimentación



Nota. Elaboración propia.

Armado de Biodigestores para los Tratamientos

Esta primera fase se inició el 10 de enero al 29 de enero (20 días), y se comenzó con las actividades de la perforación de orificios en la tapa para la instalación del agitador, colocación del termómetro y la instalación de válvula de salida de gas, y en la parte inferior del bidón para la extracción de muestras para el control del pH; las cuales se realizaron con el uso de un taladro.

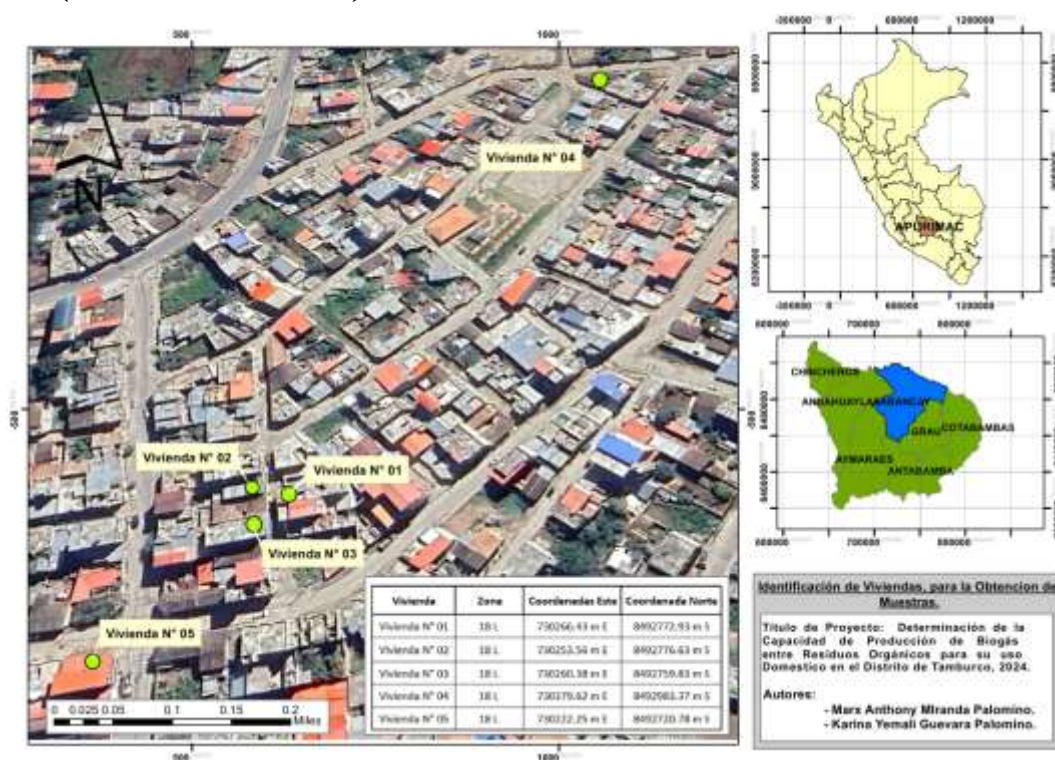
Socialización y recolección de muestras para la ejecución del proyecto

Esta segunda fase se desarrolló en el periodo del 27 de enero al 31 de enero (5 días), los dos primeros días se realizó la socialización este con el objetivo de obtener las muestras de residuos orgánicos (residuos domiciliarios), la cual se contó con el apoyo de algunos

vecinos cercanos a la vivienda donde se desarrolló el experimento, para esto se le brindó información para una segregación correcta de los residuos orgánicos necesario para este estudio; para los siguientes días se realizó la recolección de manera diaria para la obtención de la cantidad necesaria para realizar el experimento.

Figura 5

Localización de Viviendas para la obtención de muestras de residuos orgánicos (residuos domiciliarios).



Nota. Elaboración propia MAMP/KYGP-2025.

Tabla 4

Localización por coordenadas de viviendas para la recolección de residuos orgánicos (residuos domiciliarios).

Vivienda	Zona	Coordenadas Este	Coordenada Norte
Vivienda N° 01	18 L	730266.43 m E	8492772.93 m S
Vivienda N° 02	18 L	730253.56 m E	8492776.63 m S
Vivienda N° 03	18 L	730260.38 m E	8492759.83 m S
Vivienda N° 04	18 L	730379.62 m E	8492983.37 m S
Vivienda N° 05	18 L	730222.25 m E	8492720.78 m S

Nota. Se muestra a detalle la localización por coordenadas de las Viviendas.

Tabla 5

Cantidad de residuos orgánicos (residuos domiciliarios), recolectados.

Vivienda (vecino)		Días de recolección de residuos orgánicos (residuos domiciliarios)		
		Día 29	Día 30	Día 31
Vivienda N° 01	Cantidad recolectada (Kg) de la Vivienda por Día.	5	4	3
Vivienda N° 02			3	2
Vivienda N° 03		3	3	
Vivienda N° 04			2	2
Vivienda N° 05		2	2	3
TOTAL (Kg)				34

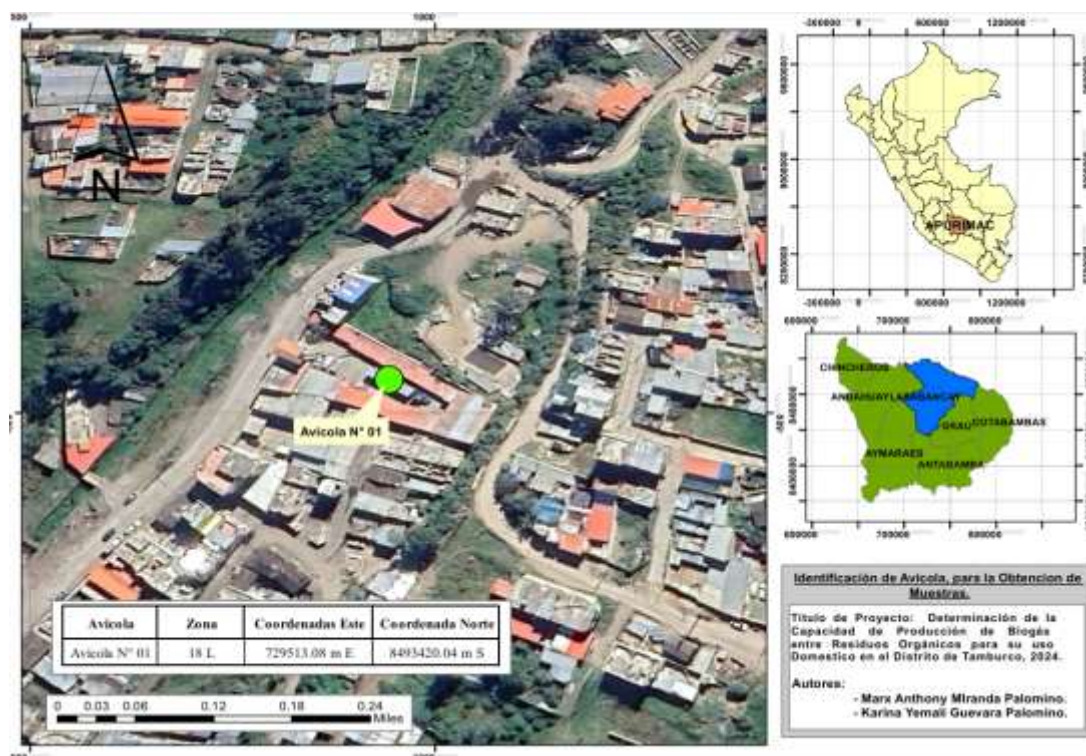
Nota. Se muestra a detalle la cantidad de residuos orgánicos (residuos domiciliarios)

recolectados por día de cada vivienda socializada durante 3 días.

Para la obtención de residuos orgánicos (estiércol avícola), se realizó el recojo en avícolas presentes por el sector de Maucacalle, distrito de Tamburco, provincia de Abancay.

Figura 6

Localización de avícola para la obtención de muestras de residuos orgánicos (residuos excremento).



Nota. Elaboración propia MAMP/KYGP-2025.

Tabla 6

Localización por coordenadas de avícola para la recolección de residuos orgánicos (residuos excremento).

Avícola	Zona	Coordenadas Este	Coordenada Norte
Avícola N° 01	18 L	729513.08 m E	8493420.04 m S

Nota. Se muestra a detalle la localización por coordenadas de las Viviendas.

Tabla 7

Cantidad de residuo orgánico (excremento avícola), recolectado.

Avícola (empresas)		Dia de recolección de residuo orgánico (excremento avícola)
Avícola N° 01	Cantidad recolectada (Kg)	Dia 30
		30
TOTAL (Kg)		30

Nota. Se muestra a detalle la cantidad de residuos orgánicos (excremento avícola) recolectado de la avícola.

Pesado y preparado de muestras para los tratamientos

Esta tercera fase se desarrolló el día 01 de febrero 2025, se dio inicio con el pesado de muestras para la preparación de cada uno de los 03 tratamientos, y la mezcla de esto con el agua obtenida por medio de agua potable, con las cantidades precisas según establecido para el estudio, para este se hizo uso de una balanza electrónica y un balde común de 20 litros, esto realizando los ajustes necesarios y la tara (peso que se rebaja en la pesada total, peso del balde).

Se realizó la inserción de las muestras pesadas a los biodigestores y con esto la mezcla total con los Agitadores instalados.

Calibración de Equipos

Esta cuarta fase se desarrolló el día 01 de febrero 2025, se dio inicio después de la inserción de muestras y mezclado con agua, se realizó el calibrado del pHmetro con los Buffer Powder, las cuales se realizaron con 3 sobres con puntos de calibración de pH

(4.00), pH (6.86) y pH (9.18); precisión de ± 0.01 pH a 25 °C; los cuales se prepararon con agua destilada en frascos graduados con tapa de una capacidad de 250 ml; se realizaron la agitación para poder finalmente realizar la calibración del equipo.

Sellado y control de parámetros, inicio de experimentación

Esta quinta fase se desarrolló el día 01 de febrero 2025, se dio inicio después de realizar la medición de parámetros al inicio del estudio, se selló herméticamente los biodigestores con ayuda de los cinturones que contaban los bidones.

Control de Parámetros durante los 60 días

Esta sexta fase se desarrolló en el periodo del día 01 de febrero al 01 de abril 2025 (60 días), se dio inicio después de realizar el sellado, el cual se realizó el control de parámetro de temperatura durante los primeros 20 días (de forma diaria), seguido los 20 días (cada 03 días) y los ultimo 20 días (cada 05 días); el control de temperatura se realizó con un Termómetro Digital Genérico de modelo DALTECH (TP300), los rangos de temperatura (-50°C a 300°C) y longitud de onda de 14.5 cm (aprox.).

El control del parámetro de pH se realizó de forma semanal durante los 60 días, este control se realizó con un equipo Medidor Digital de pH Litmus de modelo PH-2 PRO con tapa protectora, los rangos de medición (0.00 a 14.00), con precisión de ± 0.01 pH.

Los demás parámetros de control se realizaron mediante un laboratorio acreditado, según informe.

Abertura válvula de acceso de gas

Esta séptima fase se realizó el 01 de abril del 2025, se dio inicio al culminar los 60 días de monitoreo, para lo cual consistió en la apertura de la válvula de salida de gas instalada en los biodigestores durante un periodo de 20 min a 30 min, para el llenado de las

cámaras instaladas en cada biodigestor con el gas producido en cada biodigestor por cada tratamiento, para realizar el análisis de los parámetros faltantes.

Análisis de Parámetros en Laboratorio

Esta octava fase se desarrolló del 28 de abril al 02 de mayo del 2025, se dio inicio al culminar el estudio de monitoreo, para completar el análisis de algunos parámetros faltantes como el volumen producido y el porcentaje de metano; los cuales se realizaron en el laboratorio acreditado por INACAL “SLab-Laboratorio de Ensayos e Investigación” (ubicado en Lima – Perú) los cuales determinaron el porcentaje de metano mediante el método de Detector de Gases MULTIRAE-LITE, y la cantidad de volumen mediante el método Medidor de Gas Inteligente NB-IoT.

Análisis de Datos Obtenidos para la Redacción de Resultados

Esta novena fase, se dio inicio al culminar la obtención de datos y procesarlas para poder obtener los resultados finales de este estudio.

4.6. Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el software Microsoft Excel para la estadística descriptiva y SPSS versión 25 para la estadística inferencial. Se aplicó técnicas de estadística descriptiva, incluyendo porcentaje, variación, promedio y elaboración de gráficos (diagramas circulares, de barras y de variación) para facilitar la interpretación de los resultados. Posteriormente, se empleó estadística inferencial, utilizando la prueba ANOVA, con el fin de determinar diferencias significativas entre los biodigestores evaluados y establecer la significancia de los resultados obtenidos.

4.7. Consideraciones éticas

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos que orientan la actividad científica, garantizando la veracidad, objetividad y transparencia en todas las etapas

del estudio. La información obtenida durante el proceso experimental fue registrada y analizada de manera íntegra, sin alteraciones ni manipulaciones que pudieran afectar la confiabilidad de los resultados.

Asimismo, se respetó la propiedad intelectual mediante la adecuada citación de las fuentes bibliográficas empleadas, de acuerdo con las normas académicas vigentes, evitando cualquier forma de plagio. Del mismo modo, las actividades experimentales se realizaron procurando minimizar cualquier impacto negativo sobre el ambiente y promoviendo el manejo responsable de los residuos generados durante la investigación, en concordancia con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

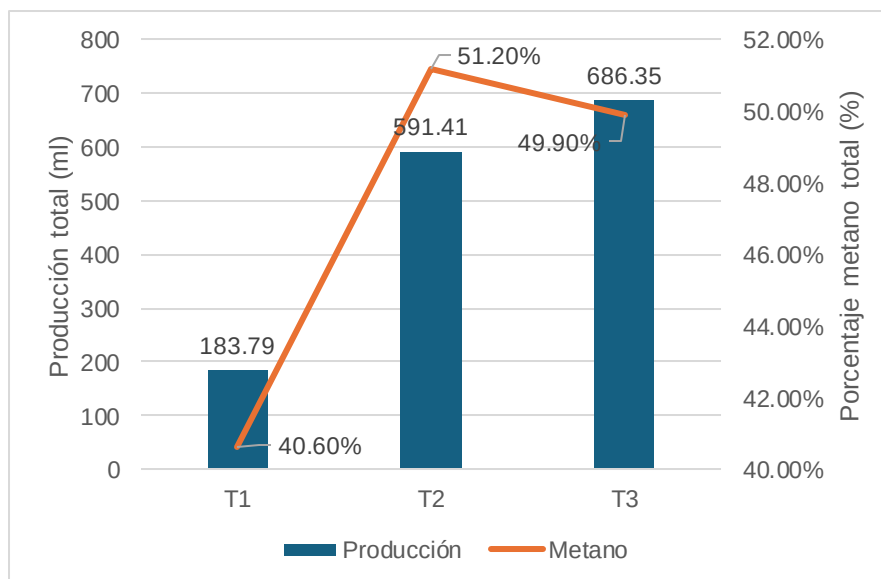
V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Determinar la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024

Figura 7

Producción total y calidad de biogás



En la Figura 7 se presentan los resultados de la producción total de biogás y el porcentaje de metano obtenidos en los tratamientos evaluados. Se observa que el tratamiento T3 registró la mayor producción acumulada de biogás con 686.35 mL, seguido del tratamiento T2 con 591.41 mL y del tratamiento T1 con 183.79 mL.

En cuanto al contenido de metano, el tratamiento T2 presentó el mayor porcentaje con 50.20 %, seguido del tratamiento T3 con 49.90 % y del tratamiento T1 con 40.60 %. Asimismo, se aprecia que los tratamientos T2 y T3 alcanzaron valores de metano cercanos al 50 %, mientras que el tratamiento T1 registró un porcentaje inferior.

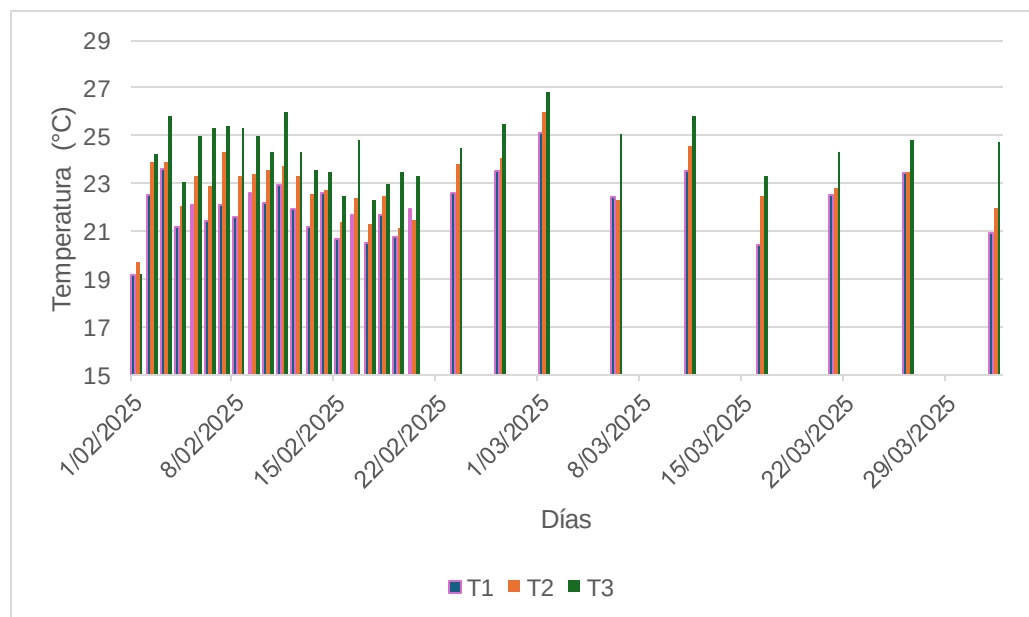
De manera general, los mayores valores de producción de biogás correspondieron a los tratamientos T2 y T3, mientras que el menor volumen se observó en el tratamiento T1. Del mismo modo, los porcentajes de metano obtenidos en T2 y T3 fueron superiores al registrado en T1.

5.1.2. Evaluar los parámetros de operación que influyen en la capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024

Temperatura

Figura 8

Temperaturas en los tratamientos



En la Figura 8 se presentan los valores de temperatura registrados en los tratamientos durante todo el periodo experimental. Se observa que la temperatura mostró variaciones a lo largo del tiempo en los tres tratamientos evaluados. Sin embargo, el tratamiento T3 registró de manera constante los valores más altos en comparación con los demás tratamientos.

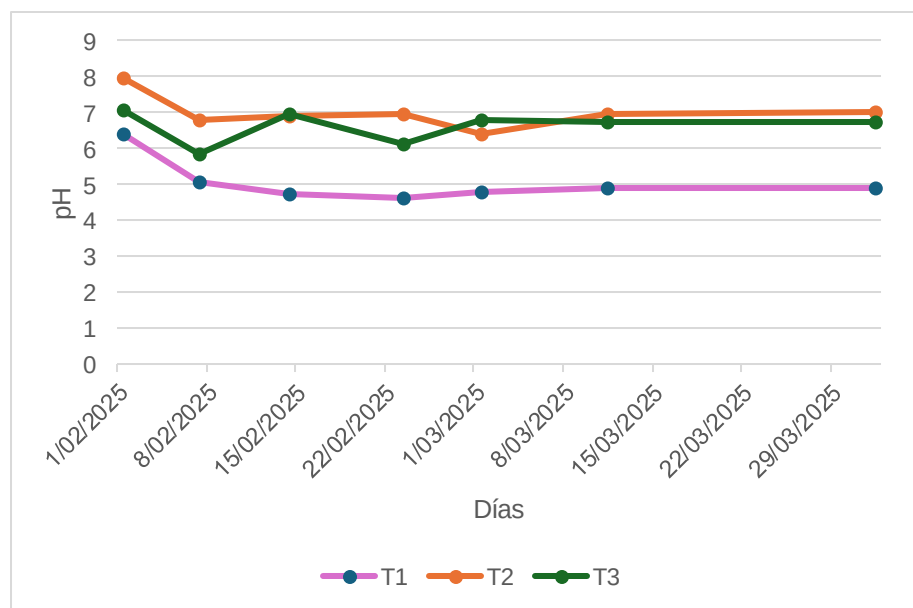
Asimismo, el tratamiento T2 presentó temperaturas intermedias durante el desarrollo del experimento, manteniéndose por debajo de los valores registrados en T3 y por encima de los obtenidos en T1. Por su parte, el tratamiento T1 evidenció las temperaturas más bajas durante el periodo de monitoreo.

De manera general, se aprecia una tendencia diferenciada entre los tratamientos, donde T3 mantuvo los mayores registros de temperatura, seguido por T2, mientras que T1 presentó los menores valores a lo largo de la evaluación. Estas diferencias pueden observarse en la evolución de las curvas de temperatura mostradas en la figura.

pH

Figura 9

pH en los tratamientos



En la Figura 9 se presentan los valores de pH registrados en los tratamientos durante el proceso de digestión anaerobia. Se observa que los tres tratamientos mostraron variaciones en sus valores de pH a lo largo del periodo experimental.

El tratamiento T1 registró los valores más bajos de pH durante el seguimiento, manteniéndose por debajo de los valores observados en los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos T2 y T3 presentaron valores de pH más elevados y cercanos a la neutralidad durante gran parte del proceso experimental.

Tiempo de producción

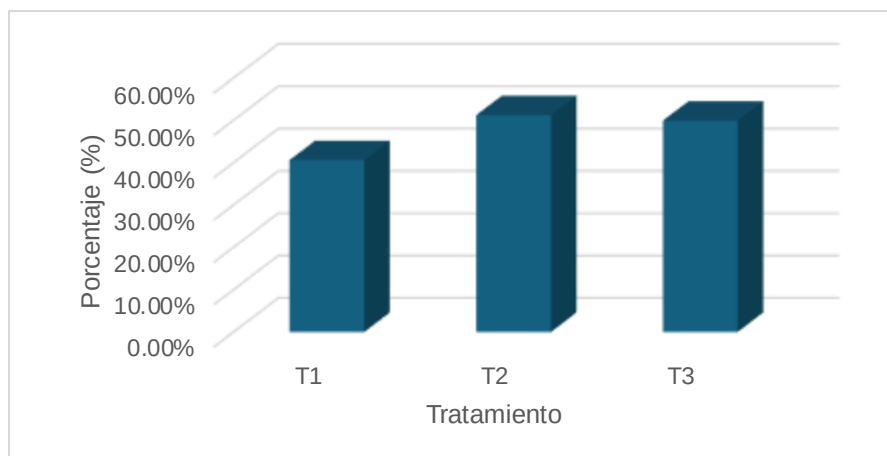
Los tres tratamientos fueron monitoreados durante un periodo de 60 días, tiempo en el cual se realizó el seguimiento de los parámetros operativos y la producción de biogás.

5.1.3. *Determinar los parámetros de producción de biogás entre residuos orgánicos para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.*

Calidad de biogas (% de metano)

Figura 10

Porcentaje de metano en los tratamientos



En la Figura 10 se presentan los porcentajes de metano obtenidos en los tratamientos evaluados durante el proceso de producción de biogás. Se observa que el tratamiento T2 registró el mayor contenido de metano, alcanzando un valor de 51.2 %, seguido por el tratamiento T3 con 49.9 %, mientras que el tratamiento T1 presentó el menor porcentaje con 40.6 %.

Asimismo, se aprecia que los tratamientos T2 y T3 alcanzaron valores de metano muy próximos entre sí, con una diferencia mínima de 1.3 puntos porcentuales. En contraste, el tratamiento T1 mostró un porcentaje de metano inferior al registrado en los demás tratamientos.

De manera general, los resultados evidencian una distribución diferenciada del contenido de metano entre los tratamientos evaluados, observándose los mayores porcentajes en T2 y T3, mientras que T1 registró el valor más bajo durante la evaluación de este parámetro.

5.1.4. Determinar cuál tratamiento de mezcla de residuos orgánicos genera la mayor producción de biogás para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024

Tabla 8

Producción total de biogás por tratamiento

Tratamiento	Residuos orgánicos (kg)	Estiércol avícola (kg)	Agua (L)	Producción total de biogás (L)	% Metano
T ₁	20	-	40	183,79	40,6
T ₂	10	10	40	591,41	51,2
T ₃	-	20	40	686,35	49,9

En la Tabla 8 se presentan las composiciones de los tratamientos evaluados y los resultados obtenidos en términos de producción total de biogás y porcentaje de metano. Se observa que el tratamiento T1 estuvo conformado por 20 kg de residuos orgánicos y 40 L de agua, alcanzando una producción total de 183.79 L de biogás y un contenido de metano de 40.6 %.

Por su parte, el tratamiento T2 estuvo constituido por 10 kg de residuos orgánicos, 10 kg de estiércol avícola y 40 L de agua. Este tratamiento registró una producción total de 591.41 L de biogás y el mayor porcentaje de metano entre los tratamientos evaluados, con un valor de 51.2 %.

Asimismo, el tratamiento T3, conformado por 20 kg de estiércol avícola y 40 L de agua, presentó la mayor producción total de biogás con 686.35 L, mientras que su contenido de metano alcanzó 49.9 %.

5.2. Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

HG: La capacidad de producción de biogás entre residuos orgánicos presenta un rendimiento significativo para su uso doméstico en el distrito de Tamburco, 2024.

Se acepta la hipótesis general, debido a que los tratamientos evaluados produjeron entre 183.79 y 686.35 L de biogás, obteniéndose porcentajes de metano entre 40.6% y 51.2%, valores que evidencian el potencial de aprovechamiento energético de los residuos orgánicos.

Hipótesis específicas

HE1: Los parámetros de operación (pH, temperatura y tiempo de retención) influyen de manera significativa en la capacidad de producción de biogás.

Los resultados obtenidos evidenciaron variaciones en los parámetros de operación evaluados durante el proceso de digestión anaerobia. La temperatura se mantuvo dentro de rangos favorables para la actividad microbiana, mientras que el pH presentó diferencias entre tratamientos según la composición de los sustratos utilizados. Asimismo, el tiempo de retención de 60 días permitió el desarrollo y estabilización del proceso de producción de biogás.

HE2: Los parámetros de producción de biogás (volumen generado, porcentaje de metano y tasa de generación) alcanzan valores significativos durante el proceso de digestión anaerobia.

Se acepta la hipótesis, debido a que los tratamientos evaluados produjeron volúmenes de biogás entre 183.79 y 686.35 L, porcentajes de metano entre 40.6% y 51.2%, y tasas de producción que evidencian el funcionamiento adecuado del proceso de digestión anaerobia.

HE3: El Tratamiento 1 (T1) genera una mayor producción de biogás que los tratamientos T2 y T3.

Tabla 9

Prueba de ANOVA

	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2	5940,753	8,666	0,001
Dentro de grupos	33	685,545		
Total	35			

Nota. gl= grados de libertad, F=frecuencia y Sig.=Significancia.

El valor de significancia obtenido fue de 0.001, menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 10

Prueba de Tukey

Producción		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.
T ₁	T ₂	-33,96833*	10,68913	0,009
	T ₃	-41,88000*	10,68913	0,001
T ₂	T ₁	33,96833*	10,68913	0,009

Producción		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.
T ₃	T ₃	-7,91167	10,68913	0,742
	T ₁	41,88000*	10,68913	0,001
	T ₂	7,91167	10,68913	0,742

Nota. gl= grados de libertad, F=frecuencia y Sig.=Significancia.

La prueba de Tukey evidenció diferencias significativas entre T1-T2 y T1-T3, mientras que entre T2 y T3 no se encontraron diferencias significativas.

Se rechaza la hipótesis específica 3, debido a que el T1 presentó la menor producción de biogás (183.79 L), mientras que el T3 obtuvo la mayor producción (686.35 L).

5.3. Discusión

5.3.1. Discusión del objetivo general

El presente estudio permitió determinar la capacidad de producción de biogás a partir de residuos orgánicos domiciliarios y estiércol avícola en el distrito de Tamburco. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados, tanto en la producción total de biogás como en el contenido de metano. En este sentido, el tratamiento T3 alcanzó la mayor producción acumulada de biogás con 686.35 L, mientras que el tratamiento T2 presentó el mayor porcentaje de metano con 51.2 %. Por otro lado, el tratamiento T1 registró los menores valores tanto en producción total como en calidad del biogás generado.

La diferencia observada entre los tratamientos permite apreciar que la composición del sustrato empleado desempeña un papel importante en el comportamiento del proceso de digestión anaerobia. Los tratamientos que incluyeron estiércol avícola mostraron mayores valores de producción de biogás en comparación con el tratamiento compuesto únicamente

por residuos orgánicos domiciliarios. Asimismo, los porcentajes de metano obtenidos en T2 y T3 fueron superiores a los registrados en T1, evidenciando una mejora en la calidad energética del biogás producido.

Los resultados obtenidos guardan concordancia con lo reportado por Parralejo et al. (2019) y Rivera et al. (2020), quienes señalaron que la incorporación de estiércol animal en los procesos de digestión anaerobia favorece la generación de biogás y contribuye a obtener mayores rendimientos en comparación con otros sustratos orgánicos. De manera similar, en la presente investigación los tratamientos que incorporaron estiércol avícola registraron los mayores niveles de producción durante el periodo experimental.

Asimismo, los porcentajes de metano obtenidos presentan similitud con los hallazgos de Acuña y Reyes (2021), quienes reportaron concentraciones de metano comparables en sistemas de producción de biogás que empleaban residuos orgánicos y estiércol. Esta coincidencia refuerza la importancia de evaluar la composición de las mezclas utilizadas, debido a que el contenido de metano constituye uno de los principales indicadores de la calidad energética del biogás.

5.3.2. Discusión del objetivo específico 1: Evaluar los parámetros de operación que influyen en la capacidad de producción de biogás

Los resultados obtenidos permitieron evaluar dos de los principales parámetros de operación involucrados en el proceso de digestión anaerobia: la temperatura y el pH. Durante el periodo experimental, las temperaturas registradas oscilaron entre 19.2 °C y 26.8 °C, observándose que el tratamiento T3 presentó los mayores registros, seguido por T2 y finalmente T1. Estas condiciones permitieron el desarrollo del proceso de digestión anaerobia y la consecuente producción de biogás en los tres tratamientos evaluados.

Los valores de temperatura obtenidos presentan similitud con los reportados por Vásquez Carrera et al. (2023), quienes registraron temperaturas comprendidas entre 24 °C y 28.5 °C durante la producción de biogás a partir de residuos orgánicos. La cercanía entre ambos estudios evidencia que los procesos de digestión anaerobia pueden desarrollarse bajo rangos térmicos semejantes, aun cuando existan diferencias en los sustratos empleados, el diseño experimental o las condiciones ambientales de cada investigación.

Por otro lado, el pH mostró diferencias entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos T2 y T3 registraron valores cercanos a la neutralidad durante gran parte del proceso experimental, mientras que el tratamiento T1 presentó valores relativamente más bajos. Estas diferencias coinciden con el comportamiento observado en la producción de biogás, donde los tratamientos T2 y T3 alcanzaron mayores rendimientos respecto a T1.

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observa concordancia con Valdez y Lozano (2023), quienes reportaron valores de pH entre 7.20 y 8.00 durante procesos de digestión anaerobia. Los valores registrados en los tratamientos T2 y T3 se aproximan a dicho rango, mostrando un comportamiento similar al descrito por estos autores. Sin embargo, los resultados difieren de los obtenidos por Duharte-Rodríguez et al. (2021), quienes registraron valores comprendidos entre 8.07 y 8.84. Esta diferencia puede estar asociada a las características propias de los residuos utilizados, así como a las condiciones de operación implementadas en cada estudio.

5.3.3. *Discusión del objetivo específico 2: Determinar los parámetros de producción de biogás*

Los resultados obtenidos permitieron evaluar los principales parámetros de producción del biogás, considerando tanto el porcentaje de metano como el volumen generado durante el periodo experimental. En relación con el contenido de metano, se

registraron valores de 40.6 % para el tratamiento T1, 51.2 % para el tratamiento T2 y 49.9 % para el tratamiento T3. Estos resultados evidencian diferencias en la calidad del biogás producido por cada tratamiento, siendo T2 el que presentó el mayor porcentaje de metano.

Al comparar estos resultados con investigaciones previas, se observa concordancia con Rivera et al. (2020), quienes reportaron concentraciones cercanas al 37 % en tratamientos con menor presencia de estiércol y aproximadamente 46 % en tratamientos con una mayor proporción de este sustrato. De manera similar, en el presente estudio los tratamientos que incluyeron estiércol avícola alcanzaron porcentajes de metano superiores a los obtenidos en el tratamiento conformado únicamente por residuos orgánicos domiciliarios.

Asimismo, existe similitud con los resultados reportados por Acuña y Reyes (2021), quienes encontraron concentraciones de metano de hasta 52.3 % en sistemas de digestión anaerobia con presencia de estiércol. La proximidad entre estos valores y los obtenidos en el tratamiento T2 permite evidenciar comportamientos comparables en cuanto a la calidad energética del biogás producido.

Por otro lado, Vásquez Carrera et al. (2023) reportaron porcentajes de metano comprendidos entre 57.97 % y 59.40 %, valores superiores a los obtenidos en la presente investigación. Estas diferencias podrían estar relacionadas con diversos factores, tales como el tipo de sustrato empleado, las características fisicoquímicas de los residuos, las condiciones de operación del biodigestor o el tiempo de retención utilizado en cada estudio.

Respecto al volumen de biogás producido, los tratamientos T2 y T3 registraron mayores rendimientos en comparación con T1. El tratamiento T3 alcanzó una producción total de 686.35 L, seguido por T2 con 591.41 L, mientras que T1 obtuvo 183.79 L. Del mismo modo, la producción diaria promedio mostró una tendencia similar durante todo el periodo experimental, manteniéndose los mayores valores en T3, seguido de T2 y finalmente T1.

Los resultados obtenidos guardan relación con lo reportado por Rivera et al. (2020) y Acuña y Reyes (2021), quienes señalaron que los tratamientos con presencia de estiércol presentan mayores niveles de producción de biogás en comparación con aquellos conformados únicamente por residuos orgánicos. En la presente investigación se observó un comportamiento semejante, ya que los tratamientos que incorporaron estiércol avícola alcanzaron los mayores volúmenes de producción y los mayores porcentajes de metano durante el periodo de evaluación.

5.3.4. *Discusión del objetivo específico 3: Determinar cuál tratamiento genera la mayor producción de biogás*

Los resultados obtenidos permitieron identificar diferencias en la producción total de biogás entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 alcanzó la mayor producción acumulada con 686.35 L, seguido por el tratamiento T2 con 591.41 L y finalmente el tratamiento T1 con 183.79 L. Estos resultados evidencian que los tratamientos que incorporaron estiércol avícola registraron mayores volúmenes de biogás en comparación con el tratamiento conformado únicamente por residuos orgánicos domiciliarios.

Al comparar estos hallazgos con investigaciones previas, se observa concordancia con Parralejo et al. (2019), quienes reportaron que la incorporación de estiércol animal favorece el proceso de digestión anaerobia, incrementando tanto la producción de biogás como el contenido de metano. De manera similar, en la presente investigación los tratamientos que incluyeron estiércol avícola presentaron los mayores niveles de producción durante todo el periodo experimental.

Asimismo, Da Luz Castro et al. (2024) encontraron que los sistemas que empleaban estiércol de pollo como parte del sustrato generaban mayores volúmenes de biogás en comparación con aquellos que utilizaban únicamente residuos orgánicos. Este

comportamiento coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde el tratamiento T3, conformado exclusivamente por estiércol avícola y agua, alcanzó la mayor producción total de biogás entre los tratamientos evaluados.

De igual manera, Rivera et al. (2020) reportaron una producción superior en tratamientos que incorporaban estiércol animal respecto a aquellos elaborados únicamente con residuos orgánicos. La similitud entre ambos estudios refuerza la importancia del estiércol como materia prima para la generación de biogás, debido a su capacidad para favorecer los procesos biológicos involucrados en la digestión anaerobia.

Por otro lado, aunque los resultados muestran una tendencia similar a la reportada por los estudios revisados, las cantidades específicas de biogás producidas pueden variar entre investigaciones. Estas diferencias pueden estar asociadas a factores como la composición de los sustratos utilizados, la proporción de las mezclas, las condiciones ambientales, la temperatura de operación, el pH, el diseño de los biodigestores y el tiempo de retención empleado durante el proceso experimental.

VI. Conclusiones

La capacidad de producción de biogás en los tratamientos es de 183.79 litros para el T₁, 591.41 litros para el T₂ y 686.35 litros para el T₃, y existe diferencia significativa en la producción de biogás entre los T₁ - T₂ y T₁ - T₃, pero no existe diferencia significativa entre los T₂ y T₃.

Durante el proceso de digestión anaerobia se monitorearon los parámetros de tiempo, temperatura y pH en los tres tratamientos evaluados. La temperatura presentó un comportamiento relativamente estable entre los biodigestores, mientras que el pH mostró variaciones asociadas a la composición de los sustratos utilizados. No se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a estos parámetros, por lo que las variaciones observadas en la producción de biogás estarían principalmente relacionadas con la composición de los sustratos empleados.

El porcentaje de metano obtenido fue de 40.6% para el T₁ (183.79 L), 51.2% para el T₂ (591.41 L) y 49.9% para el T₃ (686.35 L), indicando que los tratamientos con presencia de estiércol (T₂ y T₃) generaron biogás con mayor calidad energética y volumen suficiente.

El T₃ generó la mayor producción total de biogás (686.35 L), mientras que el T₂ obtuvo el biogás con mayor porcentaje de metano (51.2%). Esto indica que, para maximizar volumen, se recomienda T₃, y para priorizar calidad energética, T₂ es la opción más adecuada.

VII. Recomendaciones

A los pobladores que tienen la capacidad de obtener estiércol de ave, reutilizar este material y realizar biodigestores para que sean utilizados como biogás para su uso diario, con lo cual podrían ahorrarse en la compra de gas comercial a precios elevados.

A las municipalidades locales, si bien se observa en nuestras localidades que realizan la práctica de valorización de los residuos orgánicos domiciliarios por medio del Programa de Incentivos del MINAM, el cual tiene la finalidad de disminuir el impacto que generan hoy en día los residuos sólidos y con estos residuos segregados correctamente obtener productos materiales como son el compost (abono orgánico) y el biol (fertilizante líquido), y dar una mirada e invertir en la obtención de estos productos como es el biogás (gas natural), que sin duda alguna no es una tecnología extraña ya que en sectores amazónicos ya se realizan estas prácticas; de igual manera a los gobiernos seguir fortaleciendo las capacidades de educación ambiental y prácticas de segregación en nuestras localidades.

A los futuros investigadores ampliar la investigación con diferentes proporciones de los materiales utilizados e implementar otros, así mismo, llegar a realizar una comparativa económica para su uso doméstico.

A futuros investigadores o cualquier persona, sellar bien los biodigestores, con esto se evitará la fuga de calor en los biodigestores, esto puede afectar negativamente los resultados, así mismo, puede generar fugas de gas.

A futuros investigadores que quieren replicar la investigación, ampliar los días del ensayo para conocer la fecha final de producción de biogás con las cantidades de materiales utilizados.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2012). *Biogas Energy*. Springer.
- Abomohra, A., y Salama, E. (2022). *Biogas - Basics, Integrated Approaches, and Case Studies*. IntechOpen.
- Acosta, L.y Obaya, M. (2005) La digestión anaeróbica, aspectos teóricos, parte 1. *ICIDCA, sobre los derivados de la caña de azúcar*, 35 – 48.
- Acuña, M. y Reyes, C. (2019) Biogás a base de estiércol y residuos orgánicos como fuente de energía, Lima. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Arias, B. (2023). *Elaboración de biodiesel a partir de aceites domésticos reciclados en el centro poblado de Las Américas, Abancay – Apurímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andres].
- Armijo Hidalgo, J. y Vera Sánchez, J. (2024). *Evaluación de la producción de biogás y biol en un biodigestor tipo batch utilizando residuos orgánicos del camal del cantón San José de Chimbo* (Tesis doctoral).
- Artaraz, M.; Forcada, J. y García, O. (2012) La gestión de los residuos municipales en España: ¿vamos por el buen camino?
- Atehortúa Hernández, M. (2020). *La gobernanza ambiental en el manejo integral de residuos sólidos. Caso de estudio en el municipio de La Ceja del Tambo, Antioquia, Colombia* [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales].
- Awafo, E. y Agyeman, V. (2020) Development of biogas resources and technologies in Ghana, a survey. *International Journal of Energy and Environment*, 11, 167-178.
- Banu, J. y Kannah, R. (2020). *Anaerobic digestion processes: Applications and developments*. Elsevier.

- Barrena, M.; Maicelo, J.; Gamarra, O.; Oliva, M.; Leiva, S.; Taramona, L. y Ordinola, C. (2019) *Biogás: Producción y aplicaciones*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).
- Bernache Pérez, G. (2015). La gestión de los residuos sólidos: Un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 7.
- Bernache Pérez, R. (2015). *Gestión y aprovechamiento de residuos orgánicos en el contexto de la economía circular*. Revista Iberoamericana de Gestión Ambiental, 6(2), 45-59.
- Chauca, S. y Ruiz, Y. (2023). *Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (Citrus sinensis) y plátano (Musa paradisiaca L.) del mercado Las Américas, Abancay – Apurímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].
- Duarte-Rodríguez, W.; Odales-Bernal, L.; Álvarez-Meneses, R.; González-López, L. y Barrera-Cardoso, E. (2021). Estimación del potencial de biogás a partir de la gallinaza. *Revista Cubana de Química*, 33(1), 54-69.
- Ejarque, M.; Barrionuevo, M.; Zanovello, L. y Bartucci, S. (2019). Prácticas y usos de los residuos pecuarios de productores familiares en un valle de la Patagonia argentina*. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44), 1-15.
- Fundación Conama. (2022). *Análisis sobre las oportunidades y barreras del desarrollo del biogás*.
- Gallego Ortega, J. (2022). Validez estructurada para una investigación cuasiexperimental de calidad. *Anales de Psicología*, 30(2), 166-191.
- Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Huiman, A. (2023) Situación actual de los residuos sólidos. *El Peruano*.

- Inca Guerrero, J. (2016). *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogás a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la Granja Avícola “Bilbao” en la parroquia Cotaló–Pelileo* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- INEI (2018). *Resultados definitivos – Apurímac*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- INEI (2023) *Estadística sobre recogida y tratamiento de residuos*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Lagos Susaeta, F. (2013). *Análisis de factibilidad técnica y económica de la generación de biogás a partir de purines mediante biodigestores anaerobios*.
- Linares, G.; Echeverria, C. y Cespedes, T. (2017) Energy potential of the rural area of “La Libertad” department (Peru) produced by biogas obtained from human waste. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 108–117.
- Lozada Jerez, J. (2013). *Obtención de biogás en base a mezclas de gallinaza con residuos orgánicos de cerdo y cuy* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato].
- Lozano, J. y Gonzales, D. (2023). *Propuesta de un sistema generador de energía eléctrica con biogás producido por estiércol de cerdos, en la granja Don Víctor, Jaén*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
- Machado-Higuera, M. (2018). Una alternativa numérica en la solución de un sistema que modela la producción de biogás. *Revista Mexicana de Métodos Numéricos*.
- Manguiarotti, A.; Caretta, G.; De Luca, C. y Piontelli, E. (1993). Hongos aislados del plumaje y excremento de gallinas en una industria avícola de Monferrato (Pavia- Italia). *Boletín Micológico*, 8, 91–98.

- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). *Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555.
- Masache Bravo, J. y Jimenez Romero, J. (2024). Aprovechamiento de la cáscara de banano para la obtención de biogás: una alternativa energéticamente sostenible para el ambiente.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., & Astals, S. (2014). *A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 412-427.
- Matamoros, J. y Rosa, J. (2024). *Diseño de la investigación para la producción de biogás y biofertilizante por medio de la biodigestión de residuos orgánicos generados en el mercado municipal de San José Pinula, Guatemala* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Pablo, M. M. F., y Alvarez, J. L. D. (2022). *Rural Renaissance: Acción, promoción y resiliencia*. Aranzadi/Civitas.
- Parralejo, A.; Royano, L.; González, J. y González, J. (2019) Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues. *Industrial Crops and Products* 131, 307 – 314.
- Ramos Poma, R., y Quinte Soto. (2022). *Efecto del manejo de residuos sólidos en la salud de trabajadores de limpieza pública de la Municipalidad Provincial de Huancavelica—2022* [Universidad Continental].
- Reyna Gómez, L. (2021). *Producción de H₂ a partir de la codigestión de cáscaras de frutas y lodos de una planta tratadora de agua residual a escala laboratorio* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

- Rivera, R.; Oba, M.; Gasperín, V. y Oba, A. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(3), 529-539.
- Sacatoro Toaquiza, M. (2020). *Gestión integral de los residuos sólido-urbanos en la Ciudad de Sigchos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Seclen Castañeda, O. (2023). *Generación de Electricidad a partir de Biogás obtenido del estiércol de ganado vacuno para suministrarla al CC.PP. Chochor – Morrope— Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán].
- Silva, A.; Gomez, A.; Landazury, B. y Preciado, B. (2013) Evaluación de gases de efecto invernadero en sistemas de ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 6(1), 36-43.
- Tabatabaei, M., & Ghanavati, H. (2018). *Anaerobic digestion and biogas production from organic wastes: Kinetics and optimization*. *Renewable Energy*, 115, 1165–1175.
- Tabatabaei, M., y Ghanavati, H. (Eds.). (2018). *Biogas: Fundamentals, Process, and Operation*. Springer.
- Valdez, Y. y Lozano, D. (2023). *Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]
- Vargas, P. y Villavicencio, M. (2019). *Eficacia del biogás elaborado con estiércol de ganado bovino y porcino del camal municipal de Moyobamba*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Varnero, L. (2011). *Digestión anaerobia: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial Académica Española.
- Varnero, M. (2011). *Manual de Biogás*. Ministerio de Energía – Chile.

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources*. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928-7940.

Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D. (2013). *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Woodhead Publishing.

Wellinger, A.; Murphy, J. y Baxter, D. (Eds.). (2013). *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Elsevier.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes