

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Percy Rivas, Ubeta

ASESORA: Valdivia Martel, Perfecta Sofía

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Biotecnología ambiental

Disciplina: Biotecnología ambiental

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76820937

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43616954

Grado/Título: Maestro en Ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-7194-3714

H

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cámara Llanos, Frank Erick	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Cajahuanca Torres, Raul	Maestro en gestión pública	22511841	0000-0002-5671-1907
3	Chahua Garcia, Niler Rosario	Maestro en educación, mención: investigación y docencia superior	46905368	0000-0003-3517-5751



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día 10 del mes de abril del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:


- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Raul Cajahuanca Torres (Secretario)
- Mg. Niler Rosario Chahua Garcia (Vocal)

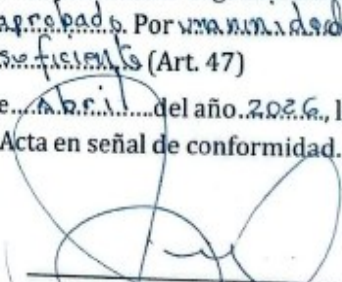
Nombrados mediante la **Resolución N° 0474-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: "**Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos**", presentado por el (la) Bach. **RIVAS UBETA, PERCY** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.


Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **aprobado**. Por **unanimidad** con el calificativo cuantitativo de **100%** y cualitativo de **Satisfactorio** (Art. 47)

Siendo las **16:35** horas del día **10** del mes de **abril** del año **2026**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Presidente


Mg. Raul Cajahuanca Torres
DNI: 22511841
ORCID: 0000-0002-5671-1907
Secretario


Mg. Niler Rosario Chahua Garcia
DNI: 46905368
ORCID: 0000-0003-3517-5751
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: PERCY RIVAS UBETA, de la investigación titulada "Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos", con asesor(a) PERFECTA SOFIA VALDIVIA MARTEL, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0357-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 25 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 02 de marzo de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

108. PERCY RIVAS UBETA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	25%	10%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	revistas.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Politécnica del Perú Trabajo del estudiante	1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fuerza, guía en cada momento de este camino.

A mis padres, por ser el fundamento sobre el cual se ha construido mi formación personal y profesional. Su ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y compromiso ha sido una guía constante en mi vida.

A mis hijas, por ser mi mayor fuente de inspiración y la razón más profunda de cada uno de mis esfuerzos. Su existencia da sentido a todo lo que hago y este logro es también para ustedes, con la esperanza de que un día comprendan que cada esfuerzo realizado tuvo como objetivo construir un futuro mejor.

A mi pareja, por su apoyo constante y su acompañamiento ha sido fundamental para alcanzar esta meta académica. Gracias por ser mi fuerza y mi inspiración, por creer en mi cuando más lo necesité. Este logro también es fruto compartido, un testimonio vivo de nuestra unión y de la fuerza que nace del corazón.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por la fortaleza. Sabiduría y guía que me ha brindado a lo largo de todo este proceso.

Deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mis padres, por su confianza en mis capacidades y su respaldo incondicional han sido un pilar esencial en cada etapa de esta trayectoria.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis hijas, cuya existencia ha sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. A mi pareja por su constante apoyo a lo largo de este proceso. Gracias por estar, por creer en mí y sostenerme con amor cuando más lo necesitaba.

Extiendo mi sincero agradecimiento a mis hermanos, por su compañía, palabras de aliento y comprensión, que me han motivado a seguir adelante en los momentos más desafiantes. A todos ustedes mi gratitud eterna.

Expreso mi agradecimiento a mi alma mater, la Universidad de Huánuco y a los docentes del P.A. de Ingeniería Ambiental, quienes con su conocimiento y dedicación contribuyeron significativamente a mi formación profesional. Mi gratitud especial al Mg. Perfecta Sofía Valdivia Martel por su valiosa asesoría en la realización de este estudio.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1. SISTEMAS DE CODIGESTIÓN	23
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	38
2.4 HIPÓTESIS.....	40
2.5. VARIABLES	40
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN.....	40
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA.....	40

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	41
CAPÍTULO III	42
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
3.1.1. ENFOQUE	42
3.1. 2. ALCANCE O NIVEL	42
3.1. 3. DISEÑO	42
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	43
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	44
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	46
CAPÍTULO IV	48
RESULTADOS	48
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	48
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	54
CAPITULO V	55
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	65
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 “Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos”	41
Tabla 2 Para la recolección de datos.....	44
Tabla 3 Descripción de la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	48
Tabla 4 Descripción de la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	49
Tabla 5 Descripción de la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	50
Tabla 6. Descripción de la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	51
Tabla 7 Análisis Consolidado para el Objetivo General	52
Tabla 8 Prueba de normalidad con Shapiro Wilk.....	53
Tabla 9 Prueba de contrastación de hipótesis	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de digestión anaerobia	27
Figura 2 Sustratos de actividades ganaderas para la producción de biogás	34
Figura 3 Sustratos agrícolas para la producción de biogás	34

RESUMEN

El presente estudio titulado evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos, tuvo como objetivo evaluar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás, abordando la problemática de la gestión de residuos y la necesidad de energías renovables. La metodología consistió en un estudio experimental comparativo de dos biodigestores a escala de laboratorio monitoreados en el tiempo. El primer sistema (Biodigestor 01) utilizó una mezcla de estiércol de oveja con residuos de frutas (manzana y plátano), mientras que el segundo (Biodigestor 02) empleó estiércol de vaca con residuos vegetales (maíz morado y ají amarillo). Se analizó periódicamente la composición del biogás (CH_4 , O_2 , CO , H_2S) y se aplicaron pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales. Como resultado principal, el Biodigestor 01 demostró una eficacia energética descriptivamente superior, alcanzando un pico de concentración de metano del 72%, en comparación con el 27% del Biodigestor 02. Sin embargo, este mayor rendimiento estuvo asociado a una mayor producción del contaminante ácido sulfhídrico (pico de 48 ppm frente a 28 ppm). Se concluye que la eficacia de un sistema de codigestión presenta un balance entre el rendimiento energético y la calidad del gas, siendo la composición de los sustratos el factor determinante. La mezcla con estiércol de oveja y frutas es más potente para la generación de energía, pero su viabilidad práctica depende de la implementación de sistemas de purificación para mitigar los riesgos asociados al H_2S .

Palabras clave: biogás, eficacia, combustión, combustible, ganado, estiércol, Recursos energéticos.

ABSTRACT

The present study, titled Evaluation of the Effectiveness of Two Codigestion Systems for Biogas Production from Livestock and Organic Waste, aimed to assess the effectiveness of two codigestion systems for biogas production, addressing the challenges of waste management and the need for renewable energy. The methodology consisted of a comparative experimental study using two laboratory-scale biodigesters monitored over time. The first system (Biodigester 01) used a mixture of sheep manure with fruit waste (apple and banana), while the second system (Biodigester 02) used cow manure with vegetable waste (purple corn and yellow chili pepper). The biogas composition (CH_4 , O_2 , CO , H_2S) was periodically analyzed, and descriptive and inferential statistical tests were applied. As the main result, Biodigester 01 showed a descriptively superior energy efficiency, reaching a peak methane concentration of 72%, compared to 27% in Biodigester 02. However, this higher yield was associated with increased production of the contaminant hydrogen sulfide (a peak of 48 ppm versus 28 ppm). It is concluded that the effectiveness of a codigestion system presents a balance between energy yield and gas quality, with substrate composition being the determining factor. The mixture of sheep manure and fruit waste is more potent for energy generation, but its practical viability depends on the implementation of purification systems to mitigate the risks associated with H_2S .

Keywords: biogas, efficiency, combustion, fuel, livestock, manure, energy resources.

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos representa uno de los desafíos más apremiantes del siglo XXI, con proyecciones alarmantes que indican que la generación de residuos sólidos urbanos aumentará de 2.100 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones en 2050. A esta cifra se suman los aproximadamente 4.000 millones de toneladas de estiércol generados anualmente por el sector ganadero a nivel mundial. El manejo inadecuado de estos volúmenes masivos de residuos orgánicos y ganaderos desencadena graves impactos económicos, sanitarios y ambientales, incluyendo la contaminación del suelo y las fuentes de agua, la emisión de gases de efecto invernadero y la afectación a la salud humana y la biodiversidad.

En el contexto peruano, esta problemática adquiere dimensiones significativas. Se estima que en el país se generan anualmente alrededor de 4,5 millones de toneladas de residuos orgánicos, constituyendo cerca del 40% del total de residuos sólidos. A su vez, el sector ganadero aporta aproximadamente 10 millones de toneladas de estiércol al año. Esta situación se agrava a nivel local, como en la ciudad de Huánuco, donde se depositan 100 toneladas diarias de residuos en el botadero municipal y la cobertura de disposición final en rellenos sanitarios autorizados es mínima, evidenciando una brecha crítica en la gestión sostenible de los desechos.

Frente a este escenario, la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica se presenta como una solución innovadora y sostenible. Esta tecnología permite transformar un problema ambiental en una oportunidad, reduciendo la cantidad de residuos destinados a botaderos y convirtiéndolos en dos productos de valor: biogás, una fuente de energía renovable que mitiga el cambio climático y biol, un fertilizante orgánico. La implementación de proyectos de biogás en una región como Huánuco no solo ofrece beneficios ambientales, sino también económicos y sociales, al poder generar ingresos, crear empleos y mejorar la salud pública.

Evaluar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás, abordando la problemática de la gestión de residuos y la necesidad de energías renovables

Ante el desafío ambiental que representa la gestión de residuos orgánicos y la creciente demanda de fuentes energéticas sostenibles, esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás. El Biodigestor 01 alcanzó una concentración máxima de metano del 72%, superando ampliamente al Biodigestor 02, que registró un 27%. No obstante, este mayor rendimiento energético implicó una mayor emisión de ácido sulfhídrico (48 ppm frente a 28 ppm), lo que evidencia la necesidad de considerar no solo la eficiencia en la generación de energía, sino también el control de emisiones contaminantes en los procesos de valorización energética de residuos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La generación de residuos sólidos urbanos aumentará de 2.100 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones en 2050, impactando la economía, salud y medio ambiente. Entre los impactos se tiene: Costo económico: \$252.000 millones en 2020, potencialmente alcanzando \$640.300 millones en 2050. Salud: contaminación y enfermedades. Medio ambiente: cambio climático, pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y agua según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2024).

La producción de residuos ganaderos también es significativa, ya que se estima que se generan alrededor de 4.000 millones de toneladas de estiércol al año. La falta de manejo adecuado de estos residuos puede llevar a la contaminación del suelo, el agua y el aire, lo que puede tener impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Es necesario actuar para evitar el peor escenario y abordar este problema global según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017)

La generación de residuos orgánicos y ganaderos es un problema ambiental significativo en la actualidad. Estos residuos, si no se manejan adecuadamente, pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, lo que a su vez puede afectar la salud humana y la biodiversidad. Los residuos ganaderos como los estiércoles y orines, pueden contener patógenos y nutrientes que pueden contaminar las fuentes de agua y el suelo. Por otro lado, los residuos orgánicos, como los desechos de alimentos y jardinería, pueden producir metano, un gas de efecto invernadero, cuando se descomponen en condiciones anaeróbicas.

En Perú, menciona que la generación de residuos orgánicos y ganaderos también es un problema significativo. Estima que se generan alrededor de 4,5 millones de toneladas de residuos orgánicos al año, lo que representa aproximadamente el 40% de los residuos sólidos generados en todo el país

según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2021). A su vez menciona que en cuanto a la producción de residuos ganaderos, se estima que se generan alrededor de 10 millones de toneladas de estiércol al año según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI, 2019).

La ciudad de Huánuco enfrenta un problema significativo en la gestión de residuos sólidos, con un total de 100 toneladas diarias depositadas en el botadero, lo que equivale a 0.50-0.60 kg/día por persona, y donde solo el 19.3% de los residuos municipales se dispone en rellenos sanitarios autorizados a nivel nacional, con una cobertura de disposición final de apenas 26%, siendo el distrito de Huánuco el mayor generador de residuos sólidos, seguido de Amarilis y Pillcomarca según la Dirección Regional De Salud Huánuco - Diresa Huánuco (DIRESA, 2019).

La producción de biogás a partir de residuos orgánicos en Huánuco puede ser una solución innovadora y sostenible para abordar el problema de la gestión de residuos sólidos en la región. La producción de biogás reduce la cantidad de residuos orgánicos que se depositan en los botaderos, lo que a su vez reduce la contaminación del suelo, el agua y el aire. Además, el biogás es una fuente de energía renovable que puede reemplazar a los combustibles fósiles, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la mitigación del cambio climático.

La implementación de proyectos de biogás en Huánuco también puede generar beneficios económicos y sociales. La producción de biogás puede generar ingresos para las comunidades locales a través de la venta de energía eléctrica o calor. Además, la implementación de proyectos de biogás puede crear empleos en la región, tanto en la fase de construcción como en la operación y mantenimiento de las plantas. La reducción de la contaminación del aire y del agua también puede mejorar la salud pública en la región.

La producción de biogás en Huánuco también puede contribuir a la diversificación de la matriz energética de la región, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. Además, la producción de biogás puede ser más eficiente que la producción de energía a partir de combustibles fósiles, ya que

puede aprovechar la energía contenida en los residuos orgánicos. En general, la producción de biogás a partir de residuos orgánicos en Huánuco puede ser una solución innovadora y sostenible para abordar el problema de la gestión de residuos sólidos en la región. Sin embargo, es importante investigar cuál es el tipo de residuo más adecuado para la producción de biogás, ya que la eficacia de la codigestión puede variar dependiendo de la composición y las características de los residuos. Por lo tanto, el objetivo de esta tesis es comparar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos, con el fin de determinar cuál es el tipo de residuo más adecuado para esta aplicación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?

- ¿Cuál es la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?
- ¿Cuál es la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?
- ¿Cuál es la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás
- Describir la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás
- Describir la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás
- Describir la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La investigación se fundamentó en la teoría de la gestión de residuos y la producción de biogás, que es una tecnología sostenible que permite transformar residuos orgánicos y ganaderos en energía renovable. La codigestión de residuos orgánicos y ganaderos ha sido reconocida como una opción eficiente para mitigar problemas ambientales como la contaminación del suelo, agua y aire. El estudio de la eficacia de diferentes sistemas de codigestión contribuye al cuerpo teórico sobre energías renovables, manejo de residuos y tecnologías de tratamiento ambiental.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Desde una perspectiva práctica, esta investigación buscó proporcionar soluciones tecnológicas viables para la gestión de residuos en Huánuco, una región que enfrenta un aumento significativo en la generación de desechos ganaderos y orgánicos. La comparación de sistemas de codigestión permitirá identificar cuál es más eficiente en la producción de biogás, lo que podría ser implementado por los productores locales y autoridades para mejorar la gestión de los residuos y generar energía renovable, optimizando recursos y reduciendo costos.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Metodológicamente, la investigación se justificó por el diseño experimental de comparación entre dos sistemas de codigestión. Esta metodología permitirá obtener datos precisos sobre la eficacia de cada sistema en la producción de biogás, contribuyendo al desarrollo de nuevas metodologías para la gestión de residuos y el aprovechamiento de los mismos en contextos rurales y periurbanos. El enfoque comparativo entre dos sistemas permitirá una evaluación objetiva y clara de los resultados obtenidos.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN SOCIAL Y CULTURAL

En términos sociales y culturales, la investigación tuvo una gran relevancia, ya que busca mejorar la calidad de vida de la población local de Huánuco. La adecuada gestión de los residuos ganaderos y orgánicos contribuirá a reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública. Además, la adopción de tecnologías sostenibles, como la producción de biogás, puede promover una cultura de cuidado ambiental y sostenibilidad en las comunidades rurales, generando conciencia sobre la importancia de la gestión adecuada de los recursos naturales.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Se tiene las siguientes limitaciones

- La investigación se realizó en una hacienda familiar de tamaño moderado, lo que limita la extrapolación de los resultados a haciendas de mayor o menor tamaño.
- El enfoque de la investigación se centró únicamente en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y ganaderos, sin abordar otros aspectos de la gestión de residuos en la hacienda.
- No se tuvo control sobre variables externas, como la calidad del agua empleada en el proceso de digestión anaeróbica o la variabilidad en la composición de los residuos.
- La disponibilidad de personal capacitado para operar y mantener los sistemas de biogás limitó la eficacia y eficiencia de los resultados.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Es viable porque:

- Existía una disponibilidad constante y abundante de residuos orgánicos y ganaderos en la hacienda.
- La tecnología de producción de biogás era sencilla, accesible y de bajo costo.
- El proceso de producción de biogás contribuyó a reducir la contaminación ambiental.
- La actividad favoreció la mitigación del cambio climático, generando un impacto positivo en la comunidad.
- La hacienda contó con recursos básicos y condiciones adecuadas para implementar el sistema de biogás.
- El interés regional en tecnologías sostenibles respaldó la implementación de proyectos como este.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Valdes (2022), En su tesis **titulada** “Estudio de la producción de biogás a escala de laboratorio a partir de estiércol de cerdo y residuos de cosecha de yuca como estrategia de gestión de residuos sólidos orgánicos” realizado en Colombia, tuvo como **objetivo** evaluar el potencial de producción de biogás a partir de estiércol de cerdo y residuos de yuca para aprovechar los residuos sólidos orgánicos y generar energía renovable. La **metodología** consistió en dos fases experimentales a escala de laboratorio con digestores de 2 litros durante 30 días, donde se probaron distintas mezclas, pretratamientos térmicos y relaciones carbono/nitrógeno. Como **resultado** mostró una mayor y más rápida producción de biogás en la segunda fase gracias al ajuste nutricional, en comparación con la primera fase. Se **concluye** que optimizar las condiciones operativas, especialmente el balance de nutrientes, mejora el rendimiento en la producción de biogás.

Ramírez & Suquillo (2024), en su tesis **titulada** “Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca San José recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas” realizado en Ecuador tuvo como **objetivo** diseñar y construir un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol bovino en la finca San José, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La **metodología** incluyó el muestreo aleatorio simple para análisis físico-químicos, la recolección de estiércol, el diseño del biodigestor chino utilizando cálculos técnicos y software AutoCAD, y la construcción con materiales como tanque y tubería de PVC. Se estableció una relación de dilución estiércol-agua de 1:1, realizando dos cargas y monitoreando temperatura, presión y producción de biogás

durante 25 días. Como **resultado**, se obtuvo biol de buena calidad y biogás, evidenciado por una llama azul al encender el gas liberado. Se **concluye** que la construcción del biodigestor permitió aprovechar el estiércol bovino de manera eficiente, siendo la temperatura y el tiempo de retención factores clave en el éxito del proceso.

Alvarado (2023). En su **tesis** titulada “Producción de biogás por digestión anaeróbica a partir de vinaza y estiércol vacuno a escala laboratorio” realizado en Guatemala tuvo como **objetivo** aprovechar la vinaza como sustrato y el estiércol vacuno como inóculo para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica. La **metodología** consistió en instalar 13 reactores operados en condiciones ambientales, utilizando tres relaciones de inóculo-sustrato (50:50, 50:25 y 50:75 m/v) en cuadruplicado, midiendo la producción de biogás mediante el desplazamiento de hidróxido de sodio al 10% y analizando las propiedades fisicoquímicas de la vinaza. Los **resultados** mostraron tras 6 semanas que la mayor producción de biogás fue con la relación 50:50 m/v, aunque la mejor eficiencia de digestión correspondió a la relación 50:25 m/v; además, el análisis económico mostró que todas las relaciones tienen un índice costo-beneficio menor a 1. Se **concluye** que la relación 50:50 m/v es recomendable para maximizar la producción de biogás, mientras que la relación 50:75 m/v es más adecuada para reducir costos y mejorar la eficiencia de digestión.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Borda et al. (2023), en su tesis **titulada** “Efectividad del hongo *Aspergillus niger* en la biodegradación de polietileno de baja densidad” Perú, tuvo como **objetivo** realizar el diseño de un reactor de biogás mediante el uso de tubos de PVC para la obtención de gas a través de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos domésticos, el enfoque de la investigación fue cualitativo de método experimental el cual se ejecutó en el anexo 14 del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, Junín, comprendido entre enero y noviembre del 2023. La **metodología** consiste en que el reactor casero, NBS Gas Home Organic Reactor,

cuenta con seis dispositivos conectados en serie, con una capacidad de carga o volumen efectiva de 42.41 litros de mezcla compuesta por agua, residuos domiciliarios y biomasa de ovinos y vacunos, el TRH fue de 40 días a 30°C para lograr el resultado deseado. Además, para la captación de biogás, se adaptó una cámara de geomembrana de vehículo con una resistencia de presión máxima de R17 el cual fue complementado con válvulas schrader para biogás. También, se realizó la medición de pH obteniendo valores de 6.8 a 7, esta condición permitió que los microorganismos anaerobios se desarrollen de forma correcta. Finalmente, se realizó la prueba de existencia del biogás mediante el uso de una cocina casera de dos hornillas, con **resultado** exitoso.

Taipe (2020), en su **tesis** titulada “Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol”, Perú tuvo como **objetivo** diseñar un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol. La **metodología** consiste en la fabricación de un prototipo para el desarrollo de la investigación se utilizó el diseño de aplicación, que requiere un equipo experimental que es el diseñado y fabricado, y un equipo de control que es un biodigestor existente, los que nos sirvió para evaluar o hacer las comparaciones entre el equipo experimental y el equipo de control. La técnica recolección, procesamiento y análisis de datos de la investigación experimental comprende: técnica empírica de observación, el cual permite obtener datos próximos a cómo está funcionando el objeto de investigación en el presente. La aplicación de la norma VDI 2221 en el diseño del biodigestor permitió encontrar la alternativa de solución óptima, posteriormente la fabricación del prototipo, y que luego de los cálculos respectivos se determinaron los siguientes parámetros: el volumen del biodigestor es de 1.04 m³, el volumen de producción estimada del biogás es de 315.6 litros/día, el volumen de biol es de 7 litros/día. Por otro lado, en el digestor se utilizó la bosta como biomasa que se mezcló con agua en una proporción de 1:3, que luego de la descomposición anaerobia permitió encontrar los parámetros como el tiempo de retención que fue de 28 días en comparación a los 50 días del biodigestor del grupo de control. De igual manera se **concluye** que el

volumen de gas obtenido alcanza para utilizarse en la cocina por 2 horas 30 minutos/día.

Valdez & Lozano (2023). En su **tesis** titulada “Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua” Perú, tuvo como **objetivo** producir biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en el trabajo de investigación presente se produjo biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy. En el Centro Poblado de San Francisco, distrito de Moquegua se realizó la investigación, se sustentó el aprovechamiento del estiércol vacuno y cuy como fuente de energía renovable. La **metodología** consiste en un diseño experimental de un tratamiento con tres repeticiones construyéndose tres biodigestores de 80 L de capacidad poniendo en funcionamiento con la mezcla de 72 L de agua con 2.0 Kg estiércol de cuy y 2.5 Kg estiércol de vaca. Durante los 60 días de producción de biogás, se evaluó la temperatura y el pH, y se obtuvo **resultados** promedio de 26.91°C de temperatura y pH de 7.60. El tiempo de mayor producción de biogás se obtuvo a partir de los 35 días hasta los 50 días de iniciado el experimento. Producir biogás mediante la combinación de estiércol vacuno y cuy si es posible poniendo en funcionamiento biodigestores, que el pH se debe mantener por encima de 7 para obtener mayores cantidades de biogás y la temperatura debe estar en un rango de 26° C.

Aguilar (2022) en su **tesis** titulada “Producción de biogás y biol a partir de los residuos de la pulpa de café mediante un biodigestor artesanal en el distrito de Milpuc, provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas”. Tuvo como **objetivo** mostrar cómo producir biogás y biol a partir de la utilización de residuos orgánicos como la pulpa de café, y el estiércol de ganado vacuno y del cuy, mediante un biodigestor artesanal. Se utilizó una **metodología** experimental cuantitativa y se obtuvieron los siguientes resultados. En principio, la primera muestra de pulpa de café más estiércol de ganado vacuno arrojó los valores 2,480 L y, después de 15 días, se obtuvo el

valor de 2,100 L. La segunda muestra de pulpa de café más estiércol de cuy obtuvo los valores de 4,790 L y, por último, la muestra final, 4,170 L. Esto permitió revalorar la importancia de estos componentes que, por lo general, no son aprovechados por desconocimiento y por la limitada iniciativa de algunos agricultores. De esta manera los **resultados** de esta investigación muestran que estos residuos pueden mitigar el impacto ambiental en los suelos, el agua y el aire. Se concluye que el estiércol de cuy, debido a su mayor humedad y menor conductividad eléctrica, sirve para producir el biogás en menor tiempo. Asimismo, esta sustancia contiene un alto porcentaje de materia orgánica que aporta considerables beneficios a los cultivos, en comparación con las deposiciones de ganado vacuno.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Picon E. Y. (2021). En su tesis titulada “Producción de compost con microorganismos eficaces a partir del estiércol de ganado vacuno en el centro de criadero Kotosh de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, del distrito de Huánuco - provincia Huánuco”. Tuvo como **objetivo** demostrar la eficacia de los microorganismos eficaces (EM) en la producción de compost a partir del estiércol de ganado vacuno. La **metodología** fue experimental completamente al azar con tres tratamientos: EM más estiércol, EM más levadura más estiércol y un testigo sin EM. Los **resultados** indicaron que la aplicación de EM acelera el proceso de compostaje, reduciendo el tiempo de producción de compost de 4-6 meses a solo 2 meses, y mejorando la calidad del compost obtenido.

España (2018) en su **tesis** titulada “Aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás como propuesta al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja ecológica Linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco 2017”. Tuvo como **objetivo** determinar si el aprovechamiento del estiércol de ganado vacuno mediante un biodigestor de polietileno contribuye al manejo adecuado de residuos pecuarios en la granja ecológica Linderos, en Tomayquichua, Huánuco.

La **metodología** fue experimental, con la construcción de un biodigestor tipo piloto de 3.50 m x 1.20 m, alimentado con estiércol fresco, bazofia de vaca y agua, monitoreando parámetros físicos, fisicoquímicos y microbiológicos entre diciembre 2017 y julio 2018. Como **resultado**, en los cuatro tratamientos con diferentes temperaturas se obtuvo una producción de biogás satisfactoria, demostrando la viabilidad del prototipo para las necesidades de la granja, con reducción de la carga microbiana y del impacto ambiental. Se **concluye** que el diseño propuesto es una alternativa efectiva y accesible para gestionar adecuadamente los residuos pecuarios, minimizando la contaminación y contribuyendo al control del calentamiento global.

Falcón (2018). En su Tesis titulada “Diseño de sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento de agua residual”, UNHEVAL. Tuvo como **objetivo** proponer un biogestor piloto de producción de biogás y a su vez obtención de energía renovable y a la vez abono orgánico y mejoraría la calidad de suelos degradados y por tanto aguas residuales. Como parte de la **metodología**, el sistema incluye un diseño de tanque de sedimentación biológica un modelo tubular Para la obtención de biogás es por ello obligatorio saber de antemano el volumen que contenerla el biorreactor diariamente. Como **resultado** se logrará que el biogestor produzcas una energía sostenible, la obtención de metano y fertilizantes orgánicos bio suelo se encuentran de los indicadores del parámetro. Llegaron a la **conclusión** que el biodigestor que la producción de energía renovable y abono orgánico del biorreactor de estiércol de cuy, el cual es modelo tubular o taiwanés, la producción de gas metano quema en un periodo de 12 horas para cocinar los sustentos del hogar.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. SISTEMAS DE CODIGESTIÓN

La codigestión es un proceso que combina la digestión anaeróbica de dos o más tipos de materia orgánica, con el objetivo de producir

biogás de manera más eficiente y reducir los residuos orgánicos. Este proceso se basa en la sinergia entre los diferentes tipos de materia orgánica, que permite aumentar la producción de biogás y reducir los problemas de estabilidad y eficiencia asociados con la digestión anaeróbica de un solo tipo de residuo (Kaparaju et al., 2009).

La digestión conjunta se define como la digestión anaeróbica conjunta de dos o más tipos de materia orgánica, con el objetivo de producir biogás y reducir los residuos orgánicos. Este proceso se ha convertido en una opción atractiva para la gestión de residuos orgánicos, ya que permite la producción de energía ren1.4

Ovable y la reducción de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos (Alatraste et al., 2013). La codigestión es un proceso que se basa en la cooperación entre diferentes microorganismos, que trabajan juntos para descomponer la materia orgánica y producir biogás. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y requiere la presencia de microorganismos anaeróbicos (Gerardi, 2003).

La biometanización conjunta se ha convertido en una opción atractiva para la gestión de residuos orgánicos, ya que permite la producción de energía renovable y la reducción de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos. Además, la codigestión puede ayudar a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos durante la descomposición de los residuos orgánicos (Mata et al., 2014).

La codigestión es un proceso que se puede llevar a cabo en diferentes escalas, desde la escala laboratorial hasta la escala industrial. Este proceso se ha convertido en una opción atractiva para la gestión de residuos orgánicos, ya que permite la producción de energía renovable y la reducción de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos. La codigestión es un proceso que requiere una cuidadosa planificación y monitoreo, para asegurarse de que se lleve a cabo de manera eficiente y segura. Este proceso se ha convertido en una opción atractiva para la gestión de residuos orgánicos, ya que permite la producción de energía

renovable y la reducción de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos (Gómez et al., 2011).

2.2.2. TIPOS DE MATERIA ORGÁNICA UTILIZADA EN LA CODIGESTIÓN

La codigestión es un proceso que puede utilizar una variedad de materiales orgánicos, incluyendo residuos agrícolas, ganaderos, urbanos e industriales. Los residuos agrícolas, como el estiércol y los restos de cosecha, son ricos en carbono y pueden ser utilizados para producir biogás (Kumar et al., 2022).

Los residuos ganaderos, como el estiércol y la orina, son ricos en nitrógeno y pueden ser utilizados para producir biogás y abono. Los residuos urbanos, como los restos de alimentos y la jardinería, también pueden ser utilizados para producir biogás. La codigestión de residuos agrícolas y ganaderos puede ser una opción atractiva para la producción de biogás, ya que puede ayudar a reducir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y producir energía renovable. Además, la codigestión puede ayudar a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos durante la descomposición de los residuos orgánicos (Ramos et al., 2022).

La elección de los materiales orgánicos para la codigestión depende de varios factores, incluyendo la disponibilidad de los materiales, el costo de transporte y el contenido de nutrientes. Es importante seleccionar materiales que sean compatibles entre sí y que puedan ser digeridos de manera eficiente (Kothari et al., 2022).

La codigestión de residuos urbanos y agrícolas puede ser una opción atractiva para la producción de biogás en áreas urbanas, ya que puede ayudar a reducir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y producir energía renovable. Además, la codigestión puede ayudar a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos durante la descomposición de los residuos orgánicos (Singh et al., 2022).

2.2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CODIGESTIÓN

La codigestión es un proceso complejo que se ve influenciado por una variedad de factores, que pueden afectar la eficiencia y la estabilidad del proceso. Algunos de los factores que influyen en la codigestión incluyen la relación C/N, el pH, la temperatura, la concentración de microorganismos y el tiempo de retención hidráulica (Kumar et al., 2022).

La relación C/N es un factor crítico en la codigestión, ya que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos y la producción de biogás. Una relación C/N óptima puede ayudar a maximizar la producción de biogás y minimizar la producción de compuestos tóxicos (Ramos et al., 2022).

El pH es otro factor importante que puede influir en la codigestión, ya que puede afectar la actividad de los microorganismos y la producción de biogás. Un pH óptimo puede ayudar a maximizar la producción de biogás y minimizar la producción de compuestos tóxicos. La temperatura también es un factor crítico en la codigestión, ya que puede afectar la actividad de los microorganismos y la producción de biogás. Una temperatura óptima puede ayudar a maximizar la producción de biogás y minimizar la producción de compuestos tóxicos (Singh et al., 2022).

La concentración de microorganismos también es un factor importante que puede influir en la codigestión, ya que puede afectar la velocidad y la eficiencia del proceso. Una concentración óptima de microorganismos puede ayudar a maximizar la producción de biogás y minimizar la producción de compuestos tóxicos. El tiempo de retención hidráulica también es un factor crítico en la codigestión, ya que puede afectar la velocidad y la eficiencia del proceso. Un tiempo de retención hidráulica óptimo puede ayudar a maximizar la producción de biogás y minimizar la producción de compuestos tóxicos (Ramos et al., 2022).

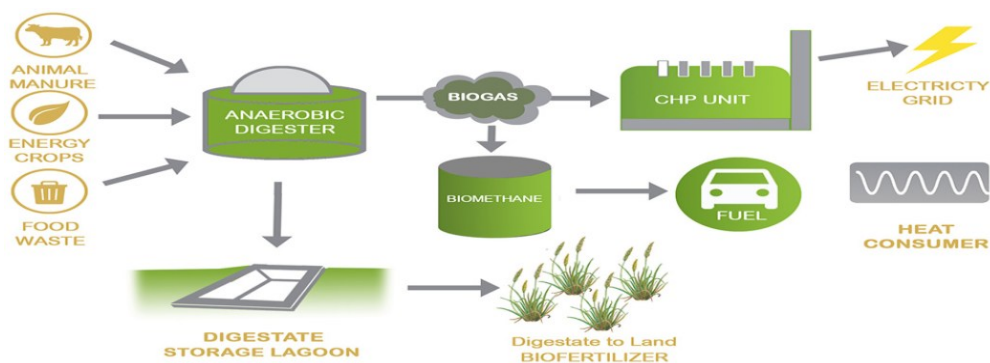
2.2.4. DISEÑO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE CODIGESTIÓN

El diseño y la operación de sistemas de codigestión son fundamentales para asegurar la eficiencia y la estabilidad del proceso.

El diseño de un sistema de codigestión debe considerar factores como la cantidad y tipo de residuos a tratar, la relación C/N, el pH, la temperatura y la concentración de microorganismos (Kumar et al., 2022). Un sistema de codigestión típico consta de un reactor anaeróbico, un sistema de alimentación y evacuación de residuos, un sistema de tratamiento del biogás producido y un sistema de control y monitoreo. El reactor anaeróbico es el corazón del sistema, donde se lleva a cabo la digestión anaeróbica de los residuos (Ramos et al., 2022).

La operación de un sistema de codigestión requiere una cuidadosa planificación y monitoreo, para asegurarse de que el proceso se lleve a cabo de manera eficiente y segura. El monitoreo de parámetros como el pH, la temperatura, la concentración de microorganismos y la producción de biogás es fundamental para asegurar la estabilidad del proceso. La selección del tipo de reactor anaeróbico es también un factor importante en el diseño y la operación de sistemas de codigestión. Los reactores anaeróbicos pueden ser clasificados en diferentes tipos, como reactores de flujo continuo, reactores batch y reactores de lecho fluidizado (Kumar et al., 2022). La automatización y el control de los sistemas de codigestión son también fundamentales para asegurar la eficiencia y la estabilidad del proceso. La automatización puede ayudar a reducir la necesidad de intervención manual y a mejorar la precisión del monitoreo y el control (Ramos et al., 2022).

Figura 1
Proceso de digestión anaerobia



Nota. Proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o biogás. Fuente: Ramos (2022).

El proceso controlado de digestión anaeróbica es idóneo para la reducción de emisiones del efecto invernadero, y el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. La digestión anaeróbica puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Donde la digestión anaeróbica también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias según SPENA GROUP (SPENA, 2016).

2.2.5. VENTAJAS Y DESAFÍOS DE LA CODIGESTIÓN

Ventajas

Según Alvarado (2021), las ventajas de la codigestión son:

- Mayor producción de biometano: La codigestión de distintos tipos de residuos orgánicos permite optimizar el rendimiento de producción de biometano.
- Mejora del equilibrio de nutrientes: La codigestión anaeróbica ofrece varias ventajas, como la mejora del equilibrio de nutrientes y la reducción de residuos.
- Reducción de residuos: La codigestión puede reducir significativamente la cantidad de residuos orgánicos que se envían a los vertederos.
- Producción de biogás: La codigestión se ha probado para diferentes mezclas de sustratos, obteniendo buenos resultados, con altas producciones de biogás.

Desafíos

Según Serna (2020), los desafíos de la codigestión son:

- **Compatibilidad de los residuos:** La codigestión requiere la compatibilidad de los residuos que se van a tratar, lo que puede ser un desafío si se están tratando residuos con características muy diferentes.
- **Control de la relación C/N:** La relación carbono/nitrógeno es fundamental para el funcionamiento eficiente de la codigestión, y su control puede ser un desafío.
- **Riesgos de contaminación:** La codigestión puede conllevar riesgos de contaminación si no se manejan adecuadamente los residuos y los productos de la digestión.
- **Necesidad de infraestructura especializada:** La codigestión requiere infraestructura especializada, como reactores anaeróbicos y sistemas de tratamiento de biogás, lo que puede ser un desafío para las comunidades con recursos limitados.

2.2.6. CLASIFICACIÓN DE RESIDUO

Los residuos se clasifican, de acuerdo al manejo que reciben, en municipales y no municipales. Un primer gran cambio de paradigma está referido a considerar el residuo sólido como un insumo para otras industrias. La nueva Ley deja de concebirlo como basura para pensarlo como materia prima en otras industrias que pueden darle valor al desperdicio de otras industrias (MINAM,2019).

Según MINAM (2019), clasifica:

- **Residuos no municipales:** son aquellos de carácter peligroso y no peligroso que se generan en el desarrollo de actividades extractivas, productivas y de servicios.
- **Residuos municipales:** están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden

asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción.

2.2.7. CODIGESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Los residuos orgánicos se generan en todos los sectores y su volumen aumenta cada año, generando problemas ambientales. Para lo cual se realizó la innovación y desarrollo de la tecnología, buscando una mayor eficiencia y rentabilidad económica de las plantas de biogás, ha avanzado hacia el tratamiento conjunto de distintos tipos de residuos orgánicos mediante procesos de codigestión según la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (DGCAEMN, 2016).

2.2.8. TIPOS DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Los residuos orgánicos que se utilizan como materia prima para la obtención de biogás pueden tener distintos orígenes, siendo el sector agroalimentario donde se generan en mayor cantidad (DGCAEMN, 2016).

Según DGCAEMN (2016), Menciona los principales tipos de residuos:

- **Residuos orgánicos de la industria ganadera:** Estiércol y los purines. El estiércol es el que ofrece mejores rendimientos. Por su parte, los purines contribuyen en gran medida con oligoelementos útiles para la metanogénesis (fase de la digestión anaerobia) y actúan como diluyente y efecto tampón en el digestor. También se pueden valorizar los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales de las explotaciones ganaderas.
- **Residuos de la industria alimentaria:** se pueden aprovechar los productos perecederos y de rechazo, los residuos generados en los procesos de envasado y transformación, y las hojas, tallos y material leñoso de los cultivos. Una fracción especial dentro de este grupo son

los residuos sandach que se corresponden a los subproductos animales no destinados al consumo humano.

2.2.9. LA CODIGESTIÓN DE RESIDUOS

La codigestión anaerobia consiste en el tratamiento conjunto de distintos tipos de residuos orgánicos, de diferente origen y composición. Su objetivo es mejorar el balance de nutrientes y características físico-químicas de la materia prima y, por tanto, lograr una mejor estabilización del sistema y una mayor eficiencia en la producción de biogás. Durante el proceso, resulta importante monitorizar y controlar los parámetros como la temperatura, el pH, la concentración de ácidos grasos volátiles, etc., a fin de asegurar dicha estabilidad del proceso. De este modo, la codigestión se presenta como una alternativa sostenible y rentable para la gestión de residuos orgánicos. (DGCAEMN, 2016).

2.2.10. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según Tchobanoglous et al. (2021), el biogás es un combustible renovable que se produce a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas, ganaderos, forestales y urbanos, el biogás es una mezcla de gases que contiene principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), con pequeñas cantidades de otros gases como el hidrógeno (H₂), el nitrógeno (N₂) y el oxígeno (O₂).

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en ausencia de oxígeno, donde los microorganismos anaeróbicos descomponen la materia orgánica en gases y líquidos. La digestión anaeróbica es un proceso complejo que involucra la acción de diferentes grupos de microorganismos, cada uno con su propia función y requerimientos (Mata et al., 2014).

Según Alvarado (2021), el biogás puede ser utilizado como fuente de energía renovable para generar electricidad, calor y combustible para vehículos, el biogás es una alternativa prometedora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático.

La calidad del biogás depende de varios factores, como el tipo y cantidad de materia orgánica, la temperatura, el pH y la presencia de inhibidores. Como menciona Chen et al. (2014), la relación carbono/nitrógeno (C/N) es un parámetro importante para determinar la calidad del biogás (Chen, 2014).

2.2.11. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según Tchobanoglous et al. (2021), la temperatura es un factor crucial que influye en la producción de biogás, la temperatura óptima para la producción de biogás varía entre 25°C y 40°C, dependiendo del tipo de microorganismos presentes. Temperaturas extremas pueden inhibir la actividad microbiana, reduciendo la producción de biogás.

Como menciona Mata et al. (2014), la relación carbono/nitrógeno (C/N) es otro factor importante que influye en la producción de biogás., una relación C/N óptima entre 20:1 y 30:1 es necesaria para mantener una población microbiana saludable y productiva. Una relación C/N desequilibrada puede llevar a la inhibición de la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Según Chen et al. (2014), el pH es otro factor que influye en la producción de biogás, el pH óptimo para la producción de biogás varía entre 6,5 y 8,0, dependiendo del tipo de microorganismos presentes. Un pH extremo puede inhibir la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Alvarado (2021), menciona que la presencia de inhibidores es otro factor que puede influir en la producción de biogás, la presencia de inhibidores como los metales pesados, los pesticidas y los disolventes puede inhibir la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Según Serna (2020), la carga orgánica es otro factor que influye en la producción de biogás, una carga orgánica óptima es necesaria para mantener una población microbiana saludable y productiva. Una carga orgánica excesiva puede llevar a la inhibición de la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

2.2.12. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según Tchobanoglous et al. (2021), el proceso de producción de biogás es una serie de reacciones bioquímicas que ocurren en ausencia de oxígeno, donde los microorganismos anaeróbicos descomponen la materia orgánica en biogás y líquidos, el proceso de producción de biogás involucra cuatro etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La hidrólisis es la primera etapa del proceso de producción de biogás, donde los microorganismos hidrolíticos descomponen la materia orgánica en compuestos solubles. La hidrólisis es una etapa crítica, ya que determina la cantidad de compuestos solubles disponibles para las etapas posteriores (Mata et al., 2014).

La acidogénesis es la segunda etapa del proceso de producción de biogás, donde los microorganismos acidogénicos convierten los compuestos solubles en ácidos grasos volátiles. La acidogénesis es una etapa importante, ya que los ácidos grasos volátiles son los principales sustratos para la producción de biogás (Chen, 2014).

La acetogénesis y la metanogénesis son las etapas finales del proceso de producción de biogás, donde los microorganismos acetogénicos y metanogénicos convierten los ácidos grasos volátiles en acetato y dióxido de carbono, y luego en biogás. La acetogénesis y la metanogénesis son etapas críticas, ya que determinan la cantidad y la calidad del biogás producido (Alvarado, 2021).

Según Serna (2020), el proceso de producción de biogás es una serie de reacciones bioquímicas que ocurren en ausencia de oxígeno, donde los microorganismos anaeróbicos descomponen la materia orgánica en biogás y líquidos. El proceso de producción de biogás es una tecnología prometedora para la gestión de residuos orgánicos y la producción de energía renovable.

Figura 2
Sustratos de actividades ganaderas para la producción de biogás



Nota. Los sustratos que pueden ser utilizados para la producción de biogás proceden de diferentes actividades, y pueden utilizarse dos o más sustratos. Fuente: FAO (2011)

Figura 3
Sustratos agrícolas para la producción de biogás



Nota. Los sustratos pueden provenir de actividades agrícolas, desechos de cosechas. Fuente: FAO (2011).

2.2.13. VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según Tchobanoglous et al. (2021), la carga orgánica es una variable crítica que afecta la producción de biogás, la carga orgánica óptima para la producción de biogás varía entre 1 y 5 kg de materia seca por metro cúbico de reactor por día. Una carga orgánica excesiva puede llevar a la inhibición de la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Como menciona Mata et al. (2014), el tiempo de retención hidráulica (TRH) es otra variable importante que afecta la producción de biogás, el TRH óptimo para la producción de biogás varía entre 10 y 30 días, dependiendo del tipo de reactor y la carga orgánica. Un TRH demasiado corto puede no permitir una descomposición completa de la

materia orgánica, mientras que un TRH demasiado largo puede llevar a la inhibición de la actividad microbiana.

Según Chen et al. (2014), la temperatura es una variable que afecta significativamente la producción de biogás, la temperatura óptima para la producción de biogás varía entre 25°C y 40°C, dependiendo del tipo de microorganismos presentes. Temperaturas extremas pueden inhibir la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Como menciona Alvarado (2021), el pH es otra variable importante que afecta la producción de biogás, el pH óptimo para la producción de biogás varía entre 6,5 y 8,0, dependiendo del tipo de microorganismos presentes. Un pH extremo puede inhibir la actividad microbiana y reducir la producción de biogás.

Serna (2020), refieren que la agitación y mezcla son variables que afectan la producción de biogás, la agitación y mezcla adecuadas pueden mejorar la transferencia de masa y la actividad microbiana, lo que puede aumentar la producción de biogás.

2.2.14. TÉCNICAS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Tchobanoglous et al. (2021), señala que la codigestión es una técnica que consiste en la digestión anaeróbica de una mezcla de residuos orgánicos, lo que puede optimizar la producción de biogás, la codigestión puede mejorar la estabilidad del proceso y aumentar la producción de biogás. La codigestión puede ser especialmente beneficiosa para la digestión de residuos con una relación carbono/nitrógeno desequilibrado.

Como menciona Mata et al. (2014), el pretratamiento de los residuos es otra técnica que puede optimizar la producción de biogás, el pretratamiento puede mejorar la accesibilidad de los compuestos orgánicos y aumentar la velocidad de digestión. El pretratamiento puede incluir técnicas como la trituración, la desintegración o la hidrólisis enzimática.

Según Chen et al. (2014), el uso de aditivos y enzimas es una técnica que puede optimizar la producción de biogás, el uso de aditivos y enzimas puede mejorar la eficiencia de la digestión y aumentar la producción de biogás. Los aditivos y enzimas pueden incluir sustancias como los nutrientes, los microelementos o las enzimas proteolíticas.

Alvarado (2021), indican que la optimización del pH y la temperatura es una técnica que puede optimizar la producción de biogás, el pH y la temperatura óptimos para la producción de biogás varían dependiendo del tipo de microorganismos presentes. La optimización del pH y la temperatura puede incluir la regulación del pH y la temperatura en el reactor de digestión.

Por su lado Serna (2020), refiere que el monitoreo y control del proceso de digestión es una técnica que puede optimizar la producción de biogás, el monitoreo y control del proceso de digestión pueden ayudar a identificar problemas y optimizar la producción de biogás. El monitoreo y control pueden incluir la medición de parámetros como el pH, la temperatura, la producción de biogás y la calidad del biogás.

2.2.15. APLICACIONES Y BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La producción de biogás tiene varias aplicaciones en la generación de energía renovable. El biogás puede ser utilizado para generar electricidad, calor y combustible para vehículos. La generación de energía a partir de biogás es una alternativa prometedora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático, (Tchobanoglous et al, 2021).

La producción de biogás también tiene beneficios ambientales significativos. La producción de biogás puede reducir la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano y el dióxido de carbono. Además, la producción de biogás puede ayudar a reducir la contaminación del agua y del suelo, (Mata et al, 2014).

La producción de biogás también tiene beneficios económicos significativos. La producción de biogás puede generar ingresos a partir de la venta de electricidad, calor y combustible. Además, la producción de biogás puede crear empleos y estimular el desarrollo local, (Chen et al, 2014).

La producción de biogás también tiene beneficios sociales significativos. La producción de biogás puede mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y urbanas. La producción de biogás puede proporcionar energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, (Alvarado, 2021).

Según Serna (2020), la producción de biogás tiene varias aplicaciones y beneficios significativos en la generación de energía renovable, la protección del medio ambiente, el desarrollo económico y el bienestar social, la producción de biogás es una tecnología prometedora para el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza.

2.2.16. NORMATIVAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL PERÚ

La producción de biogás en Perú se encuentra regulada por varias normativas, aunque no existen leyes específicas que regulen exclusivamente la producción de biogás. Según el MINEM (2001), la producción de biogás se encuentra regulada por la Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural (Ley N° 27133).

La Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural (Ley N° 27133) establece disposiciones para promover el desarrollo de la industria del gas natural en Perú. Como menciona el Congreso de la República del Perú (2000), la ley tiene como objetivo promover la exploración, producción, transporte y comercialización de gas natural en el país.

El Reglamento de la Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural establece disposiciones para la

implementación de la Ley N° 27133. Según el (MINEM, 2001), el reglamento establece los requisitos y procedimientos para la obtención de permisos y licencias para la producción, transporte y comercialización de gas natural.

La producción de biogás en Perú también se encuentra regulada por normativas ambientales. Como menciona el Ministerio del Ambiente del Perú (2020), la producción de biogás debe cumplir con las normas ambientales establecidas en la Ley de Protección del Medio Ambiente (Ley N° 28611).

2.2.17. PRESENCIA DE ELEMENTOS

Se refiere a la abundancia y distribución de los elementos químicos en diferentes contextos, como la Tierra, el universo, o incluso en los seres vivos. (Antonio, 2016)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. CODIGESTIÓN

La codigestión es un proceso de digestión anaeróbica que implica la descomposición simultánea de dos o más tipos de materia orgánica, como residuos agrícolas, ganaderos, urbanos y/o industriales, con el objetivo de producir biogás de manera más eficiente. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, y se aprovecha la sinergia entre los diferentes tipos de materia orgánica para aumentar la producción de biogás y reducir los residuos. La codigestión puede ser aplicada en diferentes sectores, como la agricultura, la ganadería, industria y puede ser utilizada para tratar residuos orgánicos y producir energía renovable según el instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE, 2016).

2.3.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es una tecnología para el tratamiento de residuos orgánicos que no sólo permite dar solución a su manejo, sino

que también permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechar su potencial energético para la producción de biogás. La producción de biogás mediante digestión anaerobia es una opción sostenible al uso de combustibles fósiles, ya que además de representar una fuente alterna de energía, acarrea múltiples beneficios ambientales, como el uso de residuos agrícolas y animales, que si se eliminan inadecuadamente ocasionan problemas de contaminación (Castro et al., 2020).

2.3.3. RELACIÓN C/N

La relación carbono/nitrógeno (C/N) es un parámetro fundamental en la digestión anaeróbica y la codigestión. La relación C/N es la proporción entre la cantidad de carbono y nitrógeno presentes en el sustrato que se va a digerir. Esta relación es crucial para mantener un equilibrio adecuado entre la población microbiana y la disponibilidad de nutrientes, lo que afecta directamente la eficiencia y la estabilidad del proceso de digestión (Tchobanoglous et al., 2021)

2.3.4. BIOGÁS

Combustible renovable producido por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas, ganaderos y urbanos. Está compuesto principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El biogás puede ser utilizado como fuente de energía para la generación de electricidad, calor y combustible para vehículos. (MINEM, 2011)

2.3.5. RESIDUOS GANADEROS

Los residuos ganaderos son los desechos y subproductos generados por la actividad ganadera, incluyendo: estiércol y orina de animales, restos de alimentos y forrajes, cadáveres de animales, fluidos y líquidos generados en la limpieza de establos y corrales, desechos de la producción de leche, carne y otros productos ganaderos. Estos residuos pueden contener patógenos, nutrientes y otros compuestos que

pueden afectar el medio ambiente y la salud pública si no se manejan adecuadamente (FAO, 2017).

2.3.6. RESIDUOS ORGÁNICOS

Los residuos orgánicos son aquellos desechos que provienen de seres vivos, como plantas y animales, y que pueden descomponerse naturalmente por la acción de microorganismos. Estos residuos pueden incluir: restos de alimentos y bebidas, frutas y verduras frescas o en descomposición, estiércol y orina de animales, restos de jardinería y poda de árboles, papel y cartón, textiles y ropa desechada, madera y otros materiales vegetales. Estos residuos pueden ser tratados a través de procesos como la compostación, la digestión anaeróbica o la incineración, para producir energía, abono u otros productos útiles (ONU, 2024).

2.4. HIPÓTESIS

H1: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y plátano es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás.

H0: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y plátano no es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Sistemas de codigestión

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Producción de biogás

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

“Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos”

Variable de calibración	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Sistemas de codigestión.	Proceso que combina la digestión anaeróbica de dos o más tipos de residuos orgánicos, como residuos ganaderos y orgánicos, para optimizar la producción de biogás y reducir la generación de residuos. (Gerardi,2023)	Uso de reactores anaeróbicos que reciben una mezcla de residuos ganaderos y orgánicos, controlando factores como temperatura, pH y relación carbono/nitrógeno, para evaluar la eficiencia de la codigestión.	Clasificación del residuo.	Residuo orgánico Residuo Ganadero	kg	Balanza
Variable Evaluativa	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Producción de biogás	Proceso biológico que convierte la materia orgánica en un gas combustible, principalmente compuesto por metano y dióxido de carbono, mediante la acción de microorganismos anaeróbicos (Chen,2014)	Medición del volumen y composición del gas producido en los reactores de codigestión, expresado en metros cúbicos por kilogramo de materia orgánica ingresada (m ³ /kg MS).	Presencia de elementos.	Concentración de oxígeno Concentración de metano Concentración de cobalto Concentración de ácido sulfhídrico	Porcentaje Porcentaje ppm ppm	Detector multigas portátil BOSEAN. Manómetro Ficha para recolección de datos

CAPÍTULO III

MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

El presente estudio se realizó con un enfoque cuantitativo. Según Supo & Zacarías (2020), el enfoque cuantitativo es cuando se usa la estadística como una herramienta que permite el análisis de datos para su posterior interpretación y toma de decisiones.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Se trató de un estudio de nivel aplicativo (Supo & Zacarías, 2020)

3.1.3. DISEÑO

GE1: X1 - O₁ --- O₂ - - O₃ - O₄ - O₅ - O₆ - O₇

GE2: X2 - O₁ --- O₂ - - O₃ - O₄ - O₅ - O₆ - O₇

Donde:

- G.E: Grupo experimental
- O1: 1ra observación, luego de 15 días después de la O1.
- O2: 2da observación, luego de 30 días después de la O2.
- O3: 3ra observación, luego de 45 días después de la O3.
- O4: 4ta observación, luego de 60 días después de la O4.
- O5: Observación final, luego de 75 días después de la O5.
- O6: Observación final, luego de 90 días después de la O6.
- O7: Observación final, luego de 105 días después de la O7.

- X1: Intervención con estiércol de oveja + residuos de frutas (manzana, plátanos) + agua.
- X2: Intervención con estiércol de vaca + residuos de verduras (ají amarillo y maíz morado) + agua.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El estudio consideró como población los residuos orgánicos y ganaderos, en el distrito de Pillcomarca-Huánuco-Huánuco. Ubicado a una altitud de 2113.1 MSNM con coordenadas geográficas UTM: 18L 362350 E 8896234 S.

3.2.2. MUESTRA

La muestra para el presente estudio estuvo constituida por 30 kg de estiércol de oveja, 30 kg de estiércol de vaca, 20 kg de plátano, 20 kg de manzana, 20 kg de maíz morado y 20 kg de ajo amarillo, mezclados con 120 litros de agua, en un sistema de biodigestor con una capacidad de 500 L para la producción de biogás, en Huancachupa, distrito de Pillcomarca, provincia de Huánuco.

El estudio se llevó a cabo durante un período de 15 semanas. Este período de tiempo se consideró adecuado para realizar las diferentes tareas previas de acondicionamiento, la carga de sustrato, la alimentación continua, el periodo de fermentación, la producción de biogás y la recolección de los datos:

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 2
Para la recolección de datos

Variable	Indicadores	Técnicas	Instrumentos o recursos
Producción de biogás	Concentración de oxígeno	Observación	BH-4A, Detector de gas portátil 4 en 1 El detector multigás portátil BOSEAN BH-4A puede detectar gases como O ₂ , CH ₄ , CO ₂ y H ₂ S de forma continua y simultánea.
	Concentración de metano		
	Concentración de cobalto		
	Concentración de ácido sulfhídrico		

Nota. En la tabla se muestra técnicas e instrumentos de recolección de datos del estudio denominado “Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos”.

3.3.2. PROTOCOLO DE TRABAJO

Paso 1: Preparación del material orgánico

- Seleccionar el material orgánico a utilizar (por ejemplo, estiércol de ganado, residuos de alimentos, etc.). La normativa peruana que establece que los residuos orgánicos deben ser utilizados de manera eficiente y sostenible según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN, 2011).
- Triturar el material orgánico para aumentar su superficie y facilitar la digestión anaeróbica, según la recomendación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de que el tamaño de las partículas debe ser menor a 10 mm para una digestión anaeróbica eficiente.

- Mezclar el material orgánico con agua para crear una suspensión homogénea, según la normativa peruana que establece que la relación sólidos/volúmenes debe ser de 1:10 (MINEM, 2013).

Paso 2: Carga del reactor Biodigestor

- Verificar que el reactor Biodigestor esté limpio y libre de residuos, según la normativa peruana que establece que los equipos deben ser limpiados y desinfectados regularmente
- Cargar la suspensión de material orgánico en el reactor Biodigestor, según la capacidad de diseño del reactor y la normativa peruana que establece que la carga debe ser realizada de manera gradual y controlada.
- Asegurarse de que el nivel de líquido en el reactor sea adecuado, según la normativa peruana que establece que el nivel de líquido debe ser mantenido entre 10 y 20 cm por debajo del nivel de la entrada de alimentación

Paso 3: Control de la temperatura y el pH

- Verificar que la temperatura en el reactor Biodigestor sea adecuada para la digestión anaeróbica (entre 20°C y 40°C), según la normativa peruana que establece que la temperatura debe ser controlada para mantener una temperatura óptima para la digestión anaeróbica.
- Controlar el pH en el reactor Biodigestor para asegurarse de que sea adecuado para la digestión anaeróbica (entre 6,5 y 8,5), según la normativa peruana que establece que el pH debe ser controlado para mantener un pH óptimo para la digestión anaeróbica.

Paso 4: Monitoreo de la producción de biogás

- Utilizar un detector de gas portátil BH-4A para medir la concentración de:
- Oxígeno (O₂)

- Metano (CH₄)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Ácido sulfhídrico (H₂S)
- Registrar los datos de concentración de gases en un registro de datos, según la normativa peruana que establece que los datos deben ser registrados y mantenidos para fines de monitoreo y control.

Paso 5: Análisis de los resultados

- Analizar los datos de concentración de gases para determinar la eficiencia del sistema Biodigestor, según la normativa peruana que establece que los resultados deben ser analizados para determinar la eficiencia del sistema.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Técnicas de procesamiento de datos:

- Análisis estadístico: Utilizar software estadístico como SPSS para analizar los datos de producción de biogás.
- Grafica de datos: Utilizar software SPSS o Excel para visualizar los datos y facilitar su interpretación.

Técnicas de análisis de datos:

- Análisis comparativo: Utilizar la prueba t de Student para muestras independientes para comparar las medias de producción de biogás entre el grupo experimental con Biodigestor y el grupo control.
- Análisis descriptivo: Utilizar SPSS para calcular estadísticas descriptivas como la media, la mediana, el rango y la desviación estándar para ambos grupos de estudio.

Herramientas de software:

- SPSS: Un software de análisis estadístico y gráfico.

Técnicas de visualización de datos:

- Gráficos de barras: Utilizar gráficos de barras para comparar las medias de producción de biogás entre ambos grupos de estudio.
- Gráficos de líneas: Utilizar gráficos de líneas para mostrar la evolución de la producción de biogás en el tiempo.

Pruebas estadísticas:

- Prueba t de Student para muestras independientes: Utilizar esta prueba para comparar las medias de producción de biogás entre el grupo experimental con Biodigestor y el grupo control.
- Prueba de normalidad: Utilizar pruebas de normalidad como la prueba de Shapiro-Wilk o la prueba de Kolmogorov-Smirnov para verificar si los datos siguen una distribución normal. Se utilizará el software estadístico IBM SPSS para el análisis de datos. Se utilizará el software Microsoft Excel para la organización y manejo de los datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 3

Descripción de la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás

Parámetro / Fecha	Biodigestor 01 (%)	Biodigestor 02 (%)
13-07-2025	0.00%	0.00%
28-07-2025	0.00%	0.00%
12-08-2025	0.00%	0.00%
27-08-2025	0.00%	0.00%
11-09-2025	0.00%	0.00%
21-09-2025	0.10%	0.10%
06-10-2025	0.00%	0.00%
Media (Promedio)	0.01%	0.01%
Desviación Estándar	0.04%	0.04%
Valor Máximo	0.10%	0.10%
Valor Mínimo	0.00%	0.00%
Rango (Máx - Mín)	0.10%	0.10%

Nota. Datos obtenidos en el estudio de campo

Este análisis verifica si se mantuvieron las condiciones anaeróbicas, un requisito indispensable para la producción de biogás.

Los resultados para la concentración de oxígeno son concluyentes y prácticamente idénticos para ambos sistemas. Como se observa en la tabla, los niveles se mantuvieron en un óptimo 0.0% durante casi todo el experimento, con un valor medio casi nulo de 0.014%. La desviación estándar es insignificante, lo que confirma una estabilidad y hermeticidad excelentes. El único dato anómalo, un pico idéntico de 0.1% en ambos biodigestores, es tan bajo que no compromete el proceso y puede atribuirse al muestreo. En definitiva, se valida que ambos sistemas operaron bajo las condiciones anaeróbicas estrictas necesarias, lo que da fiabilidad al resto de las mediciones.

Tabla 4

Descripción de la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás

Parámetro / Fecha	Biodigestor 01 (%)	Biodigestor 02 (%)
13-07-2025	11%	20%
28-07-2025	6%	17%
12-08-2025	21%	21%
27-08-2025	11%	6%
11-09-2025	43%	27%
21-09-2025	72%	7%
06-10-2025	7%	11%
Media (Promedio)	24.40%	15.60%
Desviación Estándar	24.50%	7.60%
Valor Máximo	72.00%	27.00%
Valor Mínimo	6.00%	6.00%
Rango (Máx - Mín)	66.00%	21.00%

Nota. Datos obtenidos en el estudio de campo

Este es el parámetro central para medir la eficacia y el rendimiento energético de cada sistema de codigestión.

La evaluación de la producción de metano revela una clara superioridad del Biodigestor 01. Aunque el Biodigestor 02 tuvo un comienzo decente, su rendimiento fue modesto y decayó, alcanzando un pico máximo de solo 27%. En cambio, el Biodigestor 01 mostró un comportamiento mucho más dinámico y potente, culminando en un pico excepcional del 72% hacia el final del proceso. Las estadísticas descriptivas confirman esta brecha de rendimiento: la producción media del Biodigestor 01 (24.4%) fue un 56% mayor que la del Biodigestor 02 (15.6%). Además, la alta desviación estándar del Biodigestor 01 (24.5%) y su amplio rango (66%) reflejan un proceso biológico muy activo y explosivo, en contraste con el comportamiento más estable, pero de bajo rendimiento del Biodigestor 02. Queda demostrado que la mezcla de estiércol de oveja con manzana y plátano es drásticamente más eficaz para la generación de metano.

Tabla 5

Descripción de la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás

Parámetro / Fecha	Biodigestor 01 (ppm)	Biodigestor 02 (ppm)
13-07-2025	619 ppm	726 ppm
28-07-2025	815 ppm	790 ppm
12-08-2025	850 ppm	949 ppm
27-08-2025	1000 ppm	1000 ppm
11-09-2025	1000 ppm	1000 ppm
21-09-2025	1000 ppm	1000 ppm
06-10-2025	1000 ppm	1000 ppm
Media (Promedio)	903 ppm	924 ppm
Desviación Estándar	142 ppm	111 ppm
Valor Máximo	1000 ppm	1000 ppm
Valor Mínimo	619 ppm	726 ppm
Rango (Máx - Mín)	381 ppm	274 ppm

Nota. Datos obtenidos en el estudio de campo

El Cobalto (Co) es un micronutriente clave para las enzimas utilizadas por las bacterias metanogénicas.

La tendencia de la concentración de Cobalto fue muy similar en ambos sistemas. Se observa un aumento progresivo hasta que la medición alcanzó el límite máximo del sensor (1000 ppm) a mitad del experimento. Dado que ambos biodigestores se comportaron de manera casi idéntica en este parámetro, con medias muy parecidas (903 vs 924 ppm), se aprecia que la disponibilidad de Cobalto no fue un factor diferenciador ni limitante en el rendimiento de ninguno de los dos sistemas.

Tabla 6.

Descripción de la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás

Parámetro / Fecha	Biodigestor 01 (ppm)	Biodigestor 02 (ppm)
13-07-2025	3 ppm	7 ppm
28-07-2025	3 ppm	15 ppm
12-08-2025	5 ppm	10 ppm
27-08-2025	12 ppm	15 ppm
11-09-2025	41 ppm	11 ppm
21-09-2025	48 ppm	28 ppm
06-10-2025	25 ppm	20 ppm
Media (Promedio)	19.6 ppm	15.1 ppm
Desviación Estándar	19.3 ppm	7.1 ppm
Valor Máximo	48.0 ppm	28.0 ppm
Valor Mínimo	3.0 ppm	7.0 ppm
Rango (Máx - Mín)	45.0 ppm	21.0 ppm

Nota. Datos obtenidos en el estudio de campo

En términos de pureza, el Biodigestor 02 fue notablemente superior. Generó un gas más limpio, como lo demuestra su media de H₂S más baja (15.1 ppm vs 19.6 ppm) y de forma más crítica, su pico máximo de solo 28 ppm. El Biodigestor 01, durante su fase de alta producción de metano, generó también un pico de contaminación mucho más elevado, de 48 ppm. La menor desviación estándar del Biodigestor 02 (7.1 vs 19.3) confirma que su producción de este contaminante fue más estable y controlada. Por tanto, aunque el Biodigestor 01 produjo más energía, lo hizo a expensas de una menor calidad del gas.

Tabla 7
Análisis Consolidado para el Objetivo General

Criterio de Eficacia	Biodigestor 01 (Oveja, Manzana, Plátano)	Biodigestor 02 (Vaca, Maíz, Aji)	Veredicto
Rendimiento Energético (Máx CH₄)	72% (Excelente, alto poder calorífico)	27% (Pobre, bajo poder calorífico)	Biodigestor 01
Producción Promedio (Media CH₄)	24.4% (Superior)	15.6% (Inferior)	Biodigestor 01

Nota. A partir de la consolidación de los datos

Un valor de 72% de metano sitúa al Biodigestor 01 en el extremo superior del rango de alta calidad. Esto significa que casi tres cuartas partes del gas producido es metano puro y combustible. Por eso se califica como Excelente. Un biogás con esta concentración es muy eficiente para generar electricidad en un motor o para producir una llama caliente y estable para cocinar o calentar.

En contraste, el pico de 27% del Biodigestor 02 es muy bajo. Un gas con tan poco metano apenas podría mantener una llama y sería inútil para la mayoría de las aplicaciones energéticas.

Al evaluar ambos sistemas, es posible observar importantes matices en la investigación:

El Biodigestor 01, que utiliza estiércol de oveja, manzana y plátano, demostró ser inmensamente más eficaz en la producción de un biogás rico en energía. Alcanzar un 72% de metano es un resultado sobresaliente que valida esta mezcla como una opción de alto rendimiento para maximizar la generación de energía.

Tabla 8
Prueba de normalidad con Shapiro Wilk

Indicador	Biodigestor	Estadístico (W)	p-valor
Metano (CH₄)	Biodigestor 01	0.832	0.083
	Biodigestor 02	0.934	0.58
Cobalto (Co)	Biodigestor 01	0.671	0.002
	Biodigestor 02	0.741	0.011
Ácido Sulfhídrico (H₂S)	Biodigestor 01	0.781	0.028
	Biodigestor 02	0.912	0.431

Nota. Prueba realizada con SPSS versión 26

En base a los resultados de la prueba de normalidad según indicadores, se aprecia que:

Metano (CH₄): Los datos de producción de metano para ambos biodigestores se distribuyen de manera normal, habiéndose obtenido un p-valor 0.083 y 0.58, por lo tanto, se recomienda usar una prueba paramétrica robusta como la prueba T de Student.

Cobalto (Co): Los datos de Cobalto para ambos biodigestores NO son normales, ya que se obtuvo un p-valor 0.002 y 0.011.

Ácido Sulfhídrico (H₂S): Los datos del Biodigestor 02 sí son normales, pues su p-valor es de 0.431, sugiriendo una variabilidad más o menos predecible. Sin embargo, los del Biodigestor 01 NO son normales, pues su p-valor es 0.028 lo cual es causado por esos picos extremos (41 y 48 ppm) que sesgan la distribución.

Basado en estos resultados:

- Para comparar la producción de Metano, se puede usar una Prueba T de Student para muestras independientes.
- Para comparar las concentraciones de Cobalto y Ácido Sulfhídrico, donde al menos uno de los grupos no es normal, lo más correcto y seguro es usar una prueba no paramétrica. La alternativa a la Prueba T es la Prueba U de Mann-Whitney.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

H1: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y plátano es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás.

H0: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y plátano no es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás

Tabla 9
Prueba de contrastación de hipótesis

Variable	Test Utilizado	Estadístico de Prueba (t o U)	Grados de Libertad (gl)	p-valor	¿Diferencia Significativa? (p < 0.05)
Metano (CH ₄)	Prueba T de Student	t = 0.835	12	0.42	No
Cobalto (Co)	U de Mann-Whitney	U = 23.5	N/A	0.91	No
Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)	U de Mann-Whitney	U = 20.0	N/A	0.694	No

Nota. Prueba realizada con SPSS versión 26

Los resultados de las pruebas de hipótesis son consistentes en todos los indicadores: en ningún caso se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el Biodigestor 01 y el Biodigestor 02.

- Metano (CH₄): El p-valor de 0.420 indica que no hubo diferencias, a pesar de que el Biodigestor 01 tuvo una media y un pico de producción superiores.
- Cobalto (Co): Con un p-valor de 0.910, se confirma que no hubo diferencias en la concentración de este micronutriente entre los sistemas.
- Ácido Sulfhídrico (H₂S): El p-valor de 0.694 muestra que no hubo diferencias, aunque el Biodigestor 02 pareció producir un gas más limpio.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del estudio fue evaluar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás. Los resultados demostraron una clara diferenciación en el rendimiento de los dos sistemas. El Biodigestor 01, que utilizó una mezcla de estiércol de oveja con residuos de frutas (manzana y plátano) y agua, fue notablemente más eficaz en términos de producción energética, alcanzando un pico máximo de concentración de metano del 72%. Por otro lado, el Biodigestor 02, con estiércol de vaca, maíz morado, ají amarillo y agua, mostró un rendimiento energético inferior, con un pico de metano de solo 27%.

Sin embargo, esta mayor producción de energía en el Biodigestor 01 vino acompañada de una menor calidad del gas, evidenciada por una mayor concentración del contaminante corrosivo ácido sulfhídrico (H₂S), que alcanzó un máximo de 48 ppm. En contraste, el Biodigestor 02 produjo un gas más limpio, con un pico de H₂S de 28 ppm.

Es fundamental señalar que, si bien estas diferencias son evidentes desde el análisis descriptivo, las pruebas de hipótesis no arrojaron una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Esto se atribuye al limitado tamaño de la muestra ($n=7$) y a la alta variabilidad de los datos, un factor común en procesos biológicos. No obstante, las tendencias observadas son lo suficientemente marcadas como para fundamentar una discusión sobre la viabilidad práctica de cada sistema.

Estudios internacionales como los de Valdés (2022) con estiércol de cerdo y yuca, y Alvarado (2023) con vinaza y estiércol vacuno, el presente trabajo confirma que la codigestión de residuos pecuarios con materia orgánica es una estrategia viable para la producción de biogás. El resultado más destacado de esta investigación es la marcada diferencia en la producción de metano según el tipo de sustrato, un hallazgo que refuerza las

conclusiones de Valdés (2022), quien observó que el ajuste nutricional mejoraba el rendimiento. Mientras antecedentes nacionales como los de Ramírez & Suquillo (2024), España (2018) y Valdez & Lozano (2023) se centraron en la viabilidad del estiércol vacuno y de cuy, este estudio aporta una comparación novedosa, demostrando que la combinación de estiércol de oveja con residuos de frutas de fácil fermentación (Biodigestor 01) genera un biogás de mayor poder calorífico que la mezcla de estiércol de vaca con residuos vegetales más complejos (Biodigestor 02). Este resultado es coherente con el de Aguilar (2022), quien encontró que el estiércol de cuy, con mayor contenido de materia orgánica, producía biogás más rápidamente que el de vacuno.

Antecedentes nacionales y locales, como los de Borda et al. (2023) y Falcón (2018), se enfocaron en el diseño de reactores y en la confirmación cualitativa de la producción de biogás (por ejemplo, obteniendo una llama). El presente estudio avanza sobre esas bases al cuantificar y comparar sistemáticamente la calidad del biogás (CH_4 y H_2S), permitiendo no solo confirmar la producción, sino también evaluar la eficacia comparativa de las mezclas. Mientras Taipe (2020) se centró en optimizar el diseño físico del biodigestor para reducir el tiempo de retención, este trabajo se enfoca en la receta o composición química del sustrato como factor clave para la optimización del producto final.

5.1.1. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Este objetivo buscaba describir la concentración de oxígeno durante el proceso de codigestión. Los hallazgos para este parámetro son fundamentales, ya que validan la integridad del entorno experimental en el que se produjeron los demás resultados.

El análisis de los datos demostró de manera concluyente que ambos biodigestores, independientemente de los sustratos utilizados, mantuvieron con éxito las condiciones anaeróbicas estrictas necesarias para la metanogénesis. Las mediciones de oxígeno se mantuvieron consistentemente en 0.0%, con un único y despreciable pico de 0.1%

registrado en ambos sistemas simultáneamente. Este resultado es altamente satisfactorio, ya que confirma la hermeticidad de los reactores y la ausencia de contaminación por aire, un factor que podría inhibir severamente la actividad de las bacterias productoras de metano.

Antecedentes, como los de Ramírez & Suquillo (2024), Alvarado (2023) y Valdez & Lozano (2023), se centran en la viabilidad de la producción de biogás y en parámetros como la temperatura y el pH, asumiendo que las condiciones anaeróbicas se mantienen. A menudo, la confirmación del éxito del proceso se realiza de forma cualitativa, como la obtención de una llama, tal como lo describen Borda et al. (2023).

El presente estudio aporta un valor añadido significativo al cuantificar y validar explícitamente este prerrequisito fundamental. Al demostrar con datos que los niveles de oxígeno fueron prácticamente nulos, se proporciona una base sólida que refuerza la fiabilidad y validez de los demás resultados medidos (metano, cobalto y ácido sulfhídrico). Esta confirmación cuantitativa de un control experimental riguroso distingue a esta investigación, asegurando que las diferencias observadas en la producción de otros gases se deben efectivamente a la composición de los sustratos y no a fallos en el mantenimiento de las condiciones anaeróbicas.

5.1.2. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Este objetivo se centró en describir la concentración de metano, el principal indicador del rendimiento energético y la eficacia del biogás generado. Los resultados de este parámetro son el núcleo de la evaluación de la viabilidad de cada sistema de codigestión.

El análisis de los datos reveló una diferencia sustancial en la capacidad de producción de metano entre los dos sistemas. El Biodigestor 01 (estiércol de oveja y frutas) demostró una eficacia energética muy superior, alcanzando un pico máximo de 72% de metano, con una media de producción de 24.4%. Este valor máximo se

considera excelente para un biogás de alta calidad. En contraste, el Biodigestor 02 (estiércol de vaca y vegetales) tuvo un rendimiento considerablemente más bajo, con un pico máximo de solo 27% y una media de 15.6%.

Aunque la prueba de hipótesis no encontró una diferencia estadísticamente significativa debido a la alta variabilidad y el tamaño muestral, la diferencia en los valores máximos observados es, en la práctica, el factor más determinante para la viabilidad energética de un sistema sobre el otro. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que los datos de metano de ambos grupos siguen una distribución normal. Los resultados de producción de metano de este estudio se alinean con las tendencias generales de la literatura científica y aportan nuevas comparaciones de sustratos.

El hallazgo principal que la mezcla de estiércol de oveja con frutas de fácil digestión superó ampliamente a la de estiércol de vaca con vegetales refuerza la conclusión de estudios como el de Valdés (2022), quien determinó que el ajuste nutricional y el balance de la mezcla son cruciales para optimizar la producción de biogás. De manera similar, Aguilar (2022) encontró que el estiércol de cuy era más productivo que el de vacuno, demostrando que no todos los estiércoles tienen el mismo potencial. El presente estudio aporta a esta línea de investigación al sugerir que el estiércol de oveja, en codigestión con sustratos ricos en azúcares simples, es una alternativa de alto rendimiento.

Antecedentes nacionales como los de Borda et al. (2023) y Ramírez & Suquillo (2024) se enfocaron en la construcción de biodigestores y la confirmación cualitativa de la producción de gas (obtención de una llama), este estudio da un paso adelante al cuantificar la concentración de metano. Esto permite una evaluación más rigurosa de la "eficacia", pasando de un simple funciona/no funciona a una medición precisa de la calidad y el potencial energético del biogás generado, un enfoque más alineado con el de Taipei (2020), quien calculó volúmenes de producción estimados

5.1.3. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Este objetivo se orientó a describir la concentración de cobalto, un micronutriente esencial en el proceso de digestión anaeróbica. Los resultados de este indicador ayudan a entender los factores bioquímicos que pudieron haber influido en el rendimiento de los biodigestores.

El análisis de los datos de cobalto mostró un comportamiento muy similar en ambos biodigestores. En los dos sistemas, la concentración aumentó progresivamente hasta alcanzar y estabilizarse en el límite máximo de detección del sensor (1000 ppm). La prueba de hipótesis U de Mann-Whitney confirmó esta observación, arrojando un p-valor de 0.910, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de cobalto de ambos sistemas. La distribución de estos datos no fue normal, lo cual es coherente con el efecto techo provocado por la saturación del instrumento de medición.

El cobalto es un elemento traza esencial para las enzimas de los microorganismos metanogénicos. Las concentraciones elevadas registradas, entre 619 y 1000 ppm, son consideradas habituales y aceptables dentro del contexto de un proceso de digestión anaerobia, donde actúan como un cofactor que promueve la bioeficiencia. El hecho de que ambos sistemas alcanzaran niveles tan altos sugiere que la disponibilidad de este micronutriente no fue un factor limitante para la producción de biogás.

La literatura revisada, tanto internacional (Valdés, 2022; Ramírez & Suquillo, 2024; Alvarado, 2023) como nacional (Borda et al., 2023; Taipe, 2020; Valdez & Lozano, 2023), se enfoca principalmente en parámetros macro como la relación de sustratos, el pH, la temperatura y la producción de gas, sin entrar en el análisis específico de micronutrientes.

5.1.4. DISCUSIÓN DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 4

Este objetivo se enfocó en describir la concentración de ácido sulfhídrico, un subproducto tóxico y corrosivo de la digestión anaeróbica.

El análisis de este gas es fundamental para evaluar la calidad y seguridad del biogás producido por cada sistema.

Los resultados mostraron una correlación inversa entre la producción de metano y la pureza del gas. El Biodigestor 01, que fue más eficiente en la generación de metano, también produjo las concentraciones más altas del contaminante H₂S, alcanzando un pico de 48 ppm. Por el contrario, el Biodigestor 02 produjo un gas más limpio, con un pico máximo de H₂S de 28 ppm. Desde el punto de vista estadístico, la prueba U de Mann-Whitney no encontró una diferencia significativa entre ambos grupos (p-valor = 0.694), lo que se explica por la variabilidad de los datos. Notablemente, la distribución de los datos de H₂S en el Biodigestor 01 no fue normal, a diferencia del Biodigestor 02, lo que se atribuye a los picos elevados y esporádicos que sesgaron la muestra.

Los antecedentes se centran en la viabilidad de la producción de biogás y en la optimización del volumen o la concentración de metano (Valdes, 2022; Alvarado, 2023; Taipe, 2020). Sin embargo, ninguno de los estudios revisados reporta una cuantificación o discusión sobre el H₂S u otros contaminantes del biogás. La conclusión de que la mezcla más productiva (Biodigestor 01) también genera el gas más tóxico es un hallazgo crítico para la implementación práctica de esta tecnología. Aporta una visión más completa y realista, subrayando que una evaluación de eficacia debe incluir necesariamente el análisis de los subproductos indeseados y los costos o medidas de seguridad asociados a su mitigación.

CONCLUSIONES

Se concluye que no se encontró una diferencia significativa en la eficacia entre el sistema de codigestión del Biodigestor 01 y el del Biodigestor 02. Sin embargo, el análisis descriptivo reveló que el sistema del Biodigestor 01 (estiércol de oveja, frutas y agua) mostró una clara tendencia hacia una mayor producción de gas de alto valor energético (pico de metano del 72%), mientras que el sistema del Biodigestor 02 (estiércol de vaca, vegetales y agua) tendió a producir un gas de mayor pureza, con menores concentraciones del contaminante ácido sulfhídrico.

Se concluye que en ambos sistemas de codigestión se mantuvieron exitosamente las condiciones anaeróbicas estrictas, con concentraciones de oxígeno que no superaron el 0.1%. Esto confirma la integridad y hermeticidad de los biodigestores y valida que el entorno bioquímico fue el adecuado para el desarrollo de la actividad metanogénica durante todo el periodo de evaluación.

Se concluye que, si bien se observó una producción de metano descriptivamente superior en el Biodigestor 01 (pico de 72%) en comparación con el Biodigestor 02 (pico de 27%), esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p=0.420$). Por lo tanto, con la evidencia estadística disponible, no se puede afirmar que un sistema fue superior al otro en la producción media de metano, aunque los datos descriptivos sugieren una tendencia favorable hacia el Biodigestor 01.

Se concluye que no existió una diferencia estadísticamente significativa en la concentración del micronutriente cobalto entre ambos sistemas ($p=0.910$). Ambos biodigestores mostraron una tendencia similar, alcanzando el límite máximo de detección del sensor (1000 ppm), lo que sugiere que el cobalto no fue un factor limitante para el proceso en ninguna de las configuraciones.

Se concluye que, aunque el Biodigestor 02 mostró una tendencia descriptiva a producir un gas más limpio (pico de 28 ppm) en comparación con los picos más altos del Biodigestor 01 (48 ppm), esta diferencia no fue

estadísticamente significativa ($p=0.694$). Un hallazgo relevante es que ambos sistemas produjeron concentraciones de H₂S que excedieron los límites de seguridad ocupacional, indicando un riesgo inherente al proceso que debe ser gestionado.

RECOMENDACIONES

A partir de los hallazgos y la discusión del presente estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para dar continuidad y profundidad a esta línea de investigación:

Se recomienda realizar la investigación utilizando réplicas experimentales. Esto no significa medir un solo biodigestor durante más tiempo, lo cual solo capturaría el decaimiento del proceso, sino operar simultáneamente con varias unidades idénticas para cada tratamiento (por ejemplo, tres biodigestores con la mezcla de oveja, frutas y tres con la de vaca, vegetales). Este diseño permitirá calcular una media y una desviación estándar para cada punto en el tiempo, aumentando el poder estadístico y permitiendo el uso de pruebas más robustas (como ANOVA de medidas repetidas) para confirmar si las tendencias observadas son consistentes y significativas.

Se recomienda que, para un diseño futuro, ya sea para investigación a mayor escala o para implementación práctica, integre obligatoriamente un sistema de purificación de gas (scrubber). Esta etapa es indispensable para remover el H₂S, protegiendo la salud de los operadores y previniendo la corrosión de equipos, lo que resulta fundamental para la viabilidad y seguridad de la tecnología.

Se recomienda enfocar futuras investigaciones en optimizar esta mezcla de alto rendimiento para minimizar la producción de H₂S. Se podrían explorar estrategias como la adición de aditivos que precipiten el azufre, o la co-digestión con otros sustratos que modifiquen el balance de nutrientes para desfavorecer a los microorganismos sulfato-reductores, buscando así obtener un biogás que sea tanto energético.

Se recomienda ampliar el rango de parámetros monitoreados en tiempo real. Futuros estudios podrían incluir mediciones regulares de pH, temperatura, ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad. Correlacionar estos indicadores fisicoquímicos con la producción de metano y ácido sulfhídrico permitiría identificar con mayor precisión las condiciones que favorecen o

inhiben cada ruta metabólica, ofreciendo un control más fino sobre el proceso.

Se recomienda realizar un análisis de ciclo de vida y un estudio de viabilidad económica que compare ambos sistemas. Dicho análisis debería considerar no solo el valor energético del metano producido, sino también los costos de inversión y operación de los sistemas de seguridad y purificación necesarios para cumplir con las normativas.

Se recomienda que la universidad incorpore más conocimientos prácticos para los estudiantes respecto a la producción de energías renovables para que capture el interés de los tesisistas y se realicen mayores investigaciones respecto a la aplicabilidad de los mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, T. (2022). Producción de biogás y biol a partir de los residuos de la pulpa de café mediante un biodigestor artesanal en el distrito de Milpuc, provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11551/4/IV_FIN_107_TSP_Aguilar_Vargas_2022.pdf.
- Alatraste, F., Samar, P., Cox, H., & Álvarez, L. (2013). Anaerobic codigestion of municipal wastewater treatment plant sludge and agricultural waste. *Journal of Environmental Science and Health*, 48(1), 53–63.
- Alvarado, G. (2023). Producción de biogás por digestión anaeróbica a partir de vinaza y estiércol vacuno a escala laboratorio. [UNiversidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/4468>
- Alvarado, A. (2021). Codigestión anaeróbica de residuos orgánicos: Una revisión. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 36(2), 1–12.
- Antonio. (2016). Los elementos químicos. <https://core.ac.uk/download/pdf/230317207.pdf>
- Borda, B., Lahura, N., & Borda, S. (2023). Generación de Biogás a partir de residuos orgánicos mediante la aplicación del NBS gas home organic reactor, en el anexo 14, distrito de San Ramón Junín, Perú. *Revista Pakamuros*, 11(4), 121–139.
- Castro, R., Solís, M., Chicatto, V., & Solís, A. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol de bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(3), 529–539. <https://doi.org/10.20937/rica.53545>
- Chen, Y. (2014). Anaerobic digestion of food waste: A review. *Journal of Environmental Management*, 143(1), 134–143.

- Congreso de la República del Perú. (2000). Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural. Congreso de la República del Perú.
- DIRESA. (2019). Problemática de residuos sólidos en Huánuco. <https://www.minsa.gob.pe/diresahuanuco/sambiental/2014/residuos.pdf>
- DGCAEMN. (2016). Biogás industrial. <https://biogasindustrial.com/codigestion-de-residuos-organicos-para-producir-biogas/>
- España, E. (2018). Aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás como propuesta al manejo adecuado de los residuos pecuarios en la granja ecológica Linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco 2017 [Universidad de Huánuco]. <https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/123456789/1461>
- FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manejo de residuos ganaderos. FAO. <https://www.fao.org/home/es>
- FAO. (2017). The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Falcón. (2016). diseño de sistema productivo sostenible para la obtencion de energia, abonos organicos y mejoramiento de agua residual, en la granja retama del distrito de huánuco. universidad nacional hermilio valdizán, huánuco, Perú. obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/unheval/1723/pgp%2000057%20f18.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Gerardi, M. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. John Wiley & Sons.
- Gómez, X., Cuetos, M., Cara, J., & Morán, A. (2011). Anaerobic codigestion of primary sludge and fruit waste: Influence of pH and temperature.

Journal of Environmental Science and Health, 46(6), 541–548.

IDAE. (2016). Biogás. Biogás. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>

Kaparaju, P., Serrano, M., & Angelidaki, I. (2009). Optimization of biogas production from wheat straw and cow manure co-digestion. *Environmental Technology*, 30(10), 1021–1029.

Kothari, R., Pandey, A., Kumar, S., & Tyagi, V. (2022). Anaerobic co-digestion of agricultural waste and sewage sludge for biogas production. *Journal of Environmental Management*, 301(1), 113.

Kumar, G., Bakonyi, P., & Kumar, S. (2022). Anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 344(1), 131–135.

Mata, J., Dosta, J., & Romero, M. (2014). A critical review on the analysis and design of anaerobic reactors. *Journal of Environmental Science and Health*, 49(5), 311–324.

MINAGRI. (2019). Producción Ganadera y avícola 2019. Ministerio de Agricultura y Riego. https://siesa.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/pecuaria/pecuaria_2019.pdf

MINAM. (2019). Nueva ley y reglamento de residuos sólidos <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>

MINAM. (2021). Informe Nacional sobre la Gestión de Residuos Sólidos en Perú [Informe Nacional sobre la Gestión de Residuos Sólidos en Perú]. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos. <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos>

MINEM. (2001). Reglamento de la Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural. Ministerio de Energía y Minas del Perú.

- MINEN. (2011). Manual de biogás. Proyecto CHI/00/G32. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- MINEM. (2013). Resolución Ministerial N.º 0013-2013-MEM. Resolución Ministerial N.º 0013-2013-MEM. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/108654-0013-2013-mem>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2020). Normas ambientales para la producción de biogás en Perú. Ministerio del Ambiente del Perú.
- ONU. (2024). El mundo debe superar la era de los desechos y convertirlos en recursos: Informe de la ONU. Programa para el medio ambiente. <https://www.unep.org/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-superar-la-era-de-los-desechos-y>
- ONU. (2024). Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 | UNEP - UN Environment Programme. Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024. <https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024>
- OSINERGMIN. (2011). Decreto Supremo N.º 012-2011-EM. Decreto Supremo N.º 012-2011-EM. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/739399-012-2011-em>
- Picon E. Y. (2021). Producción de compost con microorganismos eficaces a partir del estiércol de ganado vacuno en el centro de criadero Kotosh de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, del distrito de Huánuco - provincia Huánuco 2019
- Ramírez, S., & Suquillo, L. (2024). Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de estiércol vacuno en la finca "San José" recinto Florida del Toachi, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22135>

- Ramos, I., Fernández-Rodríguez, J., & Pérez, M. (2022). Anaerobic co-digestion of agricultural waste and manure for biogas production. *Journal of Environmental Science and Health*, 57(1), 53–63.
- Serna, S. (2020). Desafíos y oportunidades de la codigestión anaeróbica en la gestión de residuos orgánicos. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 20(1), 1–10.
- Singh, R., Kumar, S., & Kumar, V. (2022). Anaerobic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 345(1), 131–145.
- SPENA. (2016, diciembre 12). Sistema de Digestión Anaeróbica para Purines y SubProductos. SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales. <https://spenagroup.com/sistema-digestion-anaerobica-purines-subproductos/>
- Supo, J., & Zacarías, H. (2020). Metodología de la Investigación Científica (Tercera Edición, Vol. 1). Bioestadístico.
- Taipe, J. (2020). Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5492/TESIS%20JOSE%20TAIPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2021). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (McGraw-Hill Education). McGraw-Hill Education.
- Valdes, V. (2022). Estudio de la producción de biogás a escala de laboratorio a partir de estiércol de cerdo y residuos de cosecha de yuca como estrategia de gestión de residuos sólidos orgánicos [Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/entities/publication/59db5e0e-f467-4e71-aa7b-557cfc92f1>

Valdez, Y., & Lozano, D. (2023). Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua [Universidad Continental].

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14035/1/IV_FIN_107_TE_Valdez_Lozano_2023.pdf.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Percy Rivas U. (2026). *Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Evaluación de la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cuál es la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos?	Evaluar la eficacia de dos sistemas de codigestión para la producción de biogás a partir de residuos ganaderos y orgánicos	H1: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y plátano es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás.	Variable de calibración Sistemas de codigestión Variable Evaluativa Producción de biogás Indicadores Variable de calibración Residuo orgánico Residuo ganadero Variable Evaluativa	de Tipo: Analítico, longitudinal, con intervención Enfoque: Cuantitativo Alcance o nivel: Aplicativo Diseño: Cuasi experimental GE1: X1 - O ₁ --- O ₂ - - O ₃ - O ₄ - O ₅ - O ₆ - O ₇ GE2: X2 - O ₁ --- O ₂ - - O ₃ - O ₄ - O ₅ - O ₆ - O ₇ Donde: G.E: Grupo experimental O1: 1ra observación, luego de 15 días después de la 01. O2: 2da observación, luego de 30 días después de la 02. O3: 3ra observación, luego de 45 días después de la 03. O4: 4ta observación, luego de 60 días después de la 04. O5: Observación final, luego de 75 días después de la O5. O6: Observación final, luego de 90 días después de la O6.
Problemas específicos ¿Cuál es la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás? ¿Cuál es la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?	Objetivos Específicos Describir la concentración de oxígeno que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás Describir la concentración de metano que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	H0: El sistema de codigestión a partir de residuos de estiércol de oveja, manzana y		

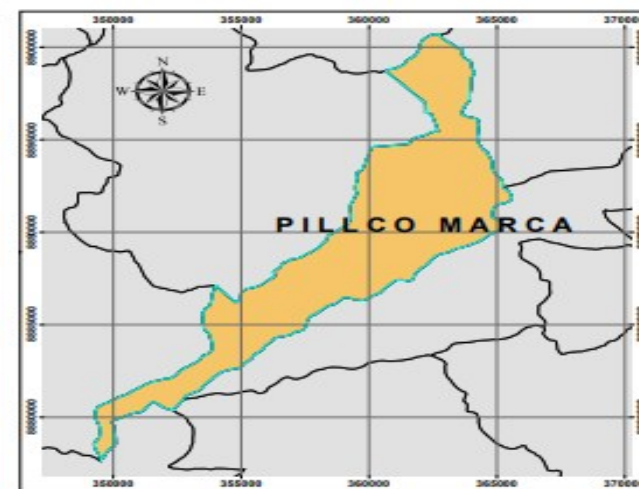
ganaderos y orgánicos en la producción de biogás? ¿Cuál es la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás? ¿Cuál es la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás?	ganaderos y orgánicos en la producción de biogás Describir la concentración de cobalto que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás Describir la concentración de ácido sulfhídrico que se produce con la codigestión de residuos ganaderos y orgánicos en la producción de biogás	plátano no es diferente que el de los residuos de estiércol de vaca con maíz morado y ají amarillo en la producción de biogás.	Concentración de oxígeno Concentración de metano Cantidad de cobalto Concentración de ácido sulfhídrico	O7: Observación final, luego de 105 días después de la O7. X1: Intervención con estiércol de oveja + residuos de frutas (manzana, plátanos) + agua. X2: Intervención con estiércol de vaca + residuos de verduras (ají amarillo y maíz morado) + agua. Población: Residuos orgánico y ganaderos. Muestra: La muestra para el presente estudio lo constituyen 30 kg de estiércol de oveja, 30 kg de vaca, 20kg de plátano, 20 kg de manzana, 20 kg maíz morado, 20 kg ajo amarillo y mesclado con 120 litros de agua, en 500 L de capacidad del sistema de Biodigestor para la producción de biogás.
---	--	--	--	---

ANEXO 2

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TIPO DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS			INDICADORES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS					
			ELEMENTOS					
			FECHA DE INICIO: 29 DE JUNIO DEL 2025					
BIODIGESTOR	N°	FECHA	METANO(LEL)	COBALTO(CO)	OXIGENO(O2)	ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)	OBSERVACIONES	

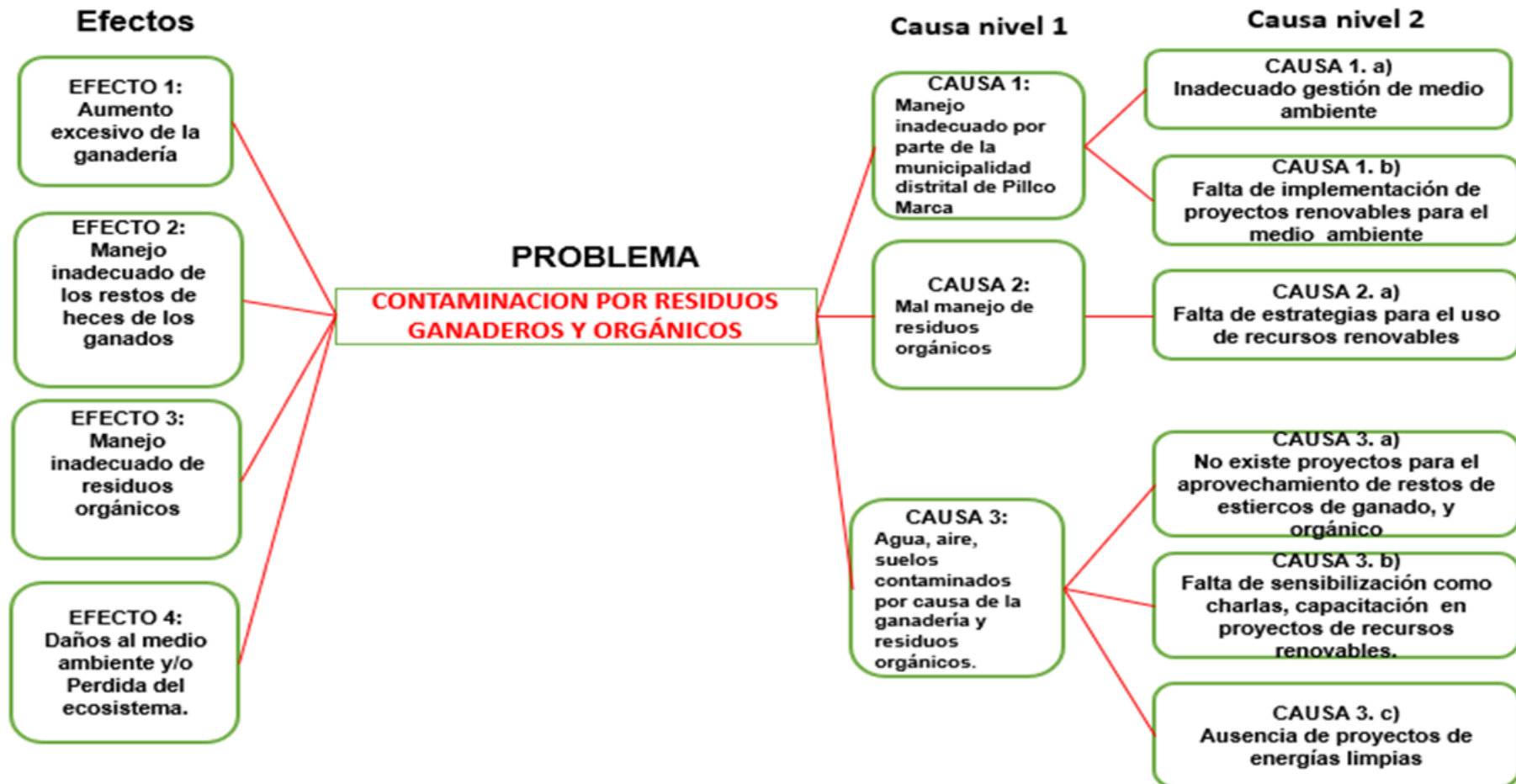
ANEXO 3 PLANO DEL ÁREA



TESIS: "COMPARACIÓN DE LA EFICACIA DE DOS SISTEMAS DE CODIGESTIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS GANADEROS Y ORGÁNICOS."	UBICACIÓN	TESISTA: RIVAS UBETA PERCY	PLANO: PLANO DE UBICACIÓN	SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
	DISTRITO: PILLCO MARCA			PROYECCIÓN: UTM	INDICADA
	PROVINCIA: HUÁNUCO REGION: HUÁNUCO			ZONA: 18 Sur COORDENADAS: UTM-S4	FECHA: MARZO- 2025

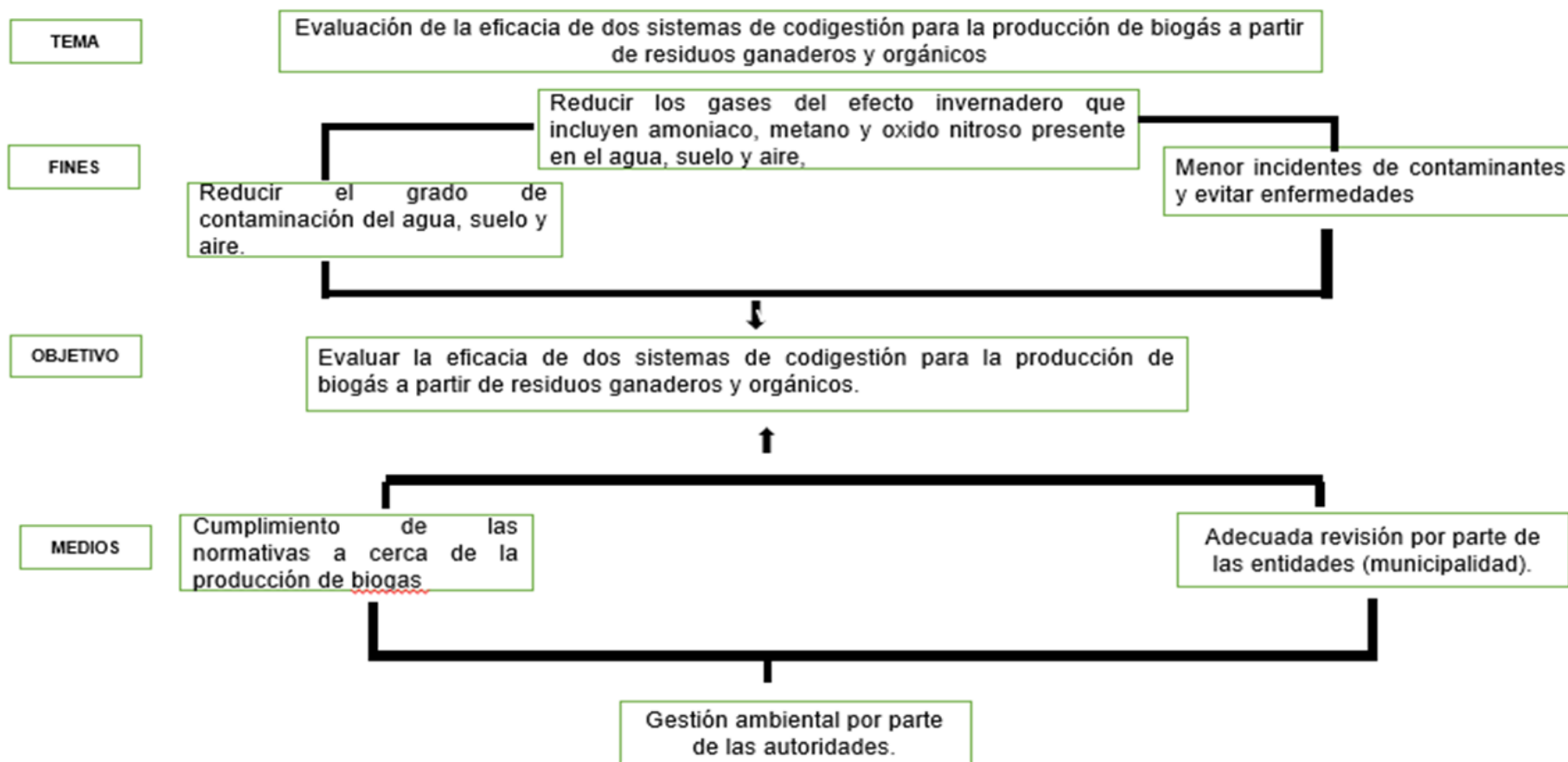
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO



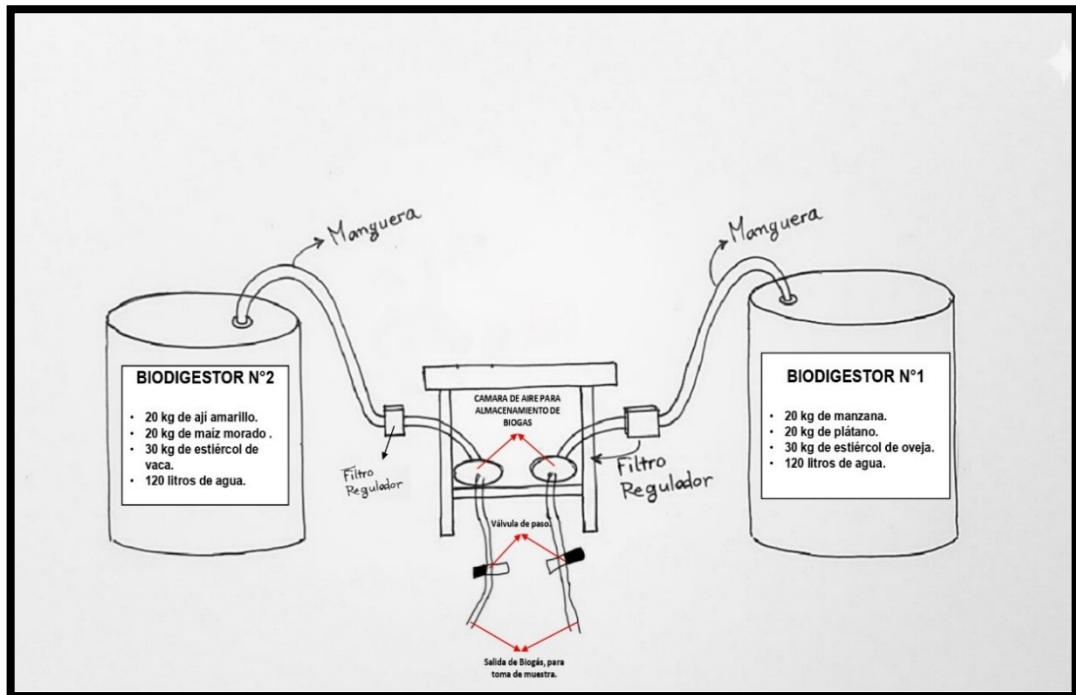
ANEXO 5

ÁRBOL DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

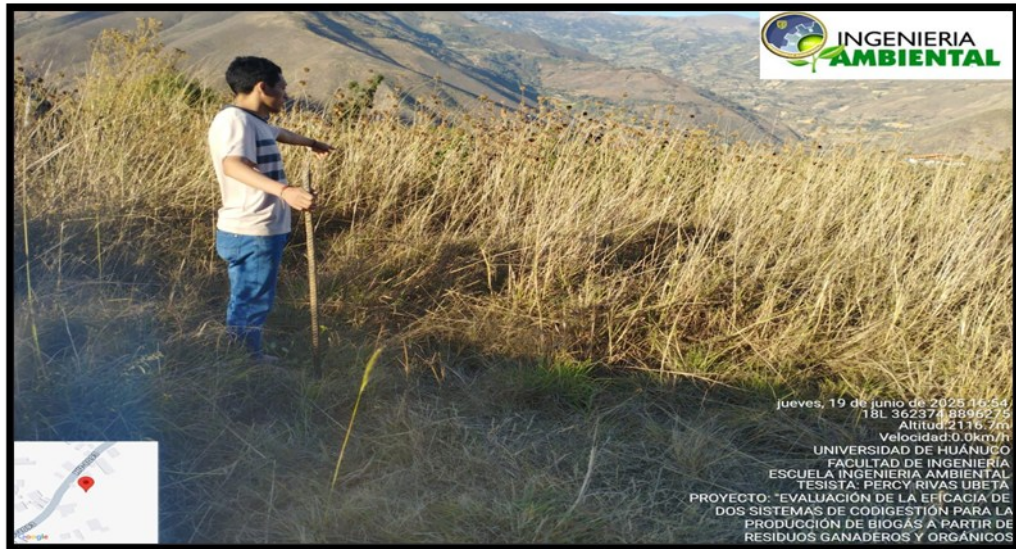
PROTOTIPO BIODIGESTOR



ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO

Identificación del terreno para la construcción de la carpa para los productores de biogás tipo biodigestor.



Se procedió hacer hueco de 0.90 cm de profundidad y con un diámetro de 0.30 cm para la colocación de los postes de madera.



Posterior a ellos se armó la carpa de una altura de 4 m y la parte de la base de un 3.5m x 3.5m.



En la siguiente imagen podemos observar la carpa armada en su totalidad para la protección de los biodigestores de los rayos solares



En la siguiente imagen podemos observar que se ha utilizado costal (arpillera o saco sintético) para cubrir y proteger el área donde se producirá el biogás. Este recubrimiento ayuda a evitar fugas, proteger los materiales del viento o la lluvia y reducir el riesgo de contacto directo con los gases producidos durante el proceso. Todo esto como medida de seguridad.



Podemos evidenciar los materiales que se utilizó y el proceso del armado de los biodigestores.



Materiales que se utilizó para para el armado de los biodigestores.



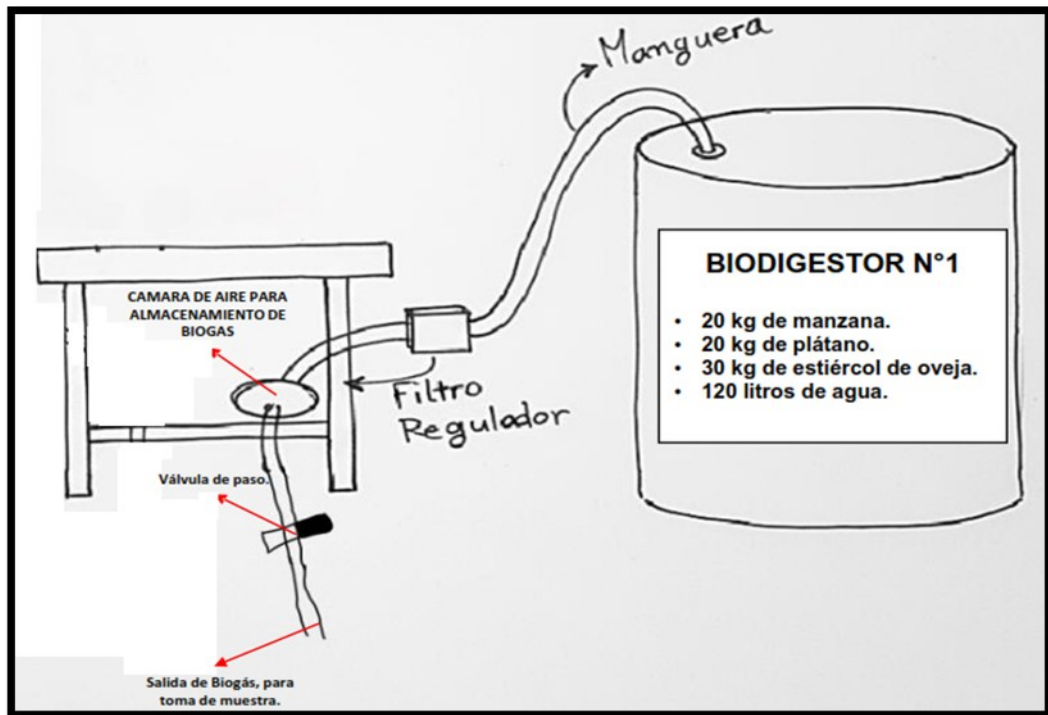
Se puede evidenciar el armado de los biodigestores.



Se puede evidenciar el armado de los biodigestores.



Prototipo del biodigestor 01



En la siguiente imagen podemos evidenciar el pesado de las manzanas de 20 kg.



En la siguiente figura podemos evidenciar el pesado de los plátanos de 20 kg.



En la siguiente imagen podemos evidenciar el pesado de estiércol de oveja de 30 kg.



Se realizó la homogenización de las manzanas y los plátanos.



Se realizó la homogenización de las manzanas, plátanos y estiércol de oveja



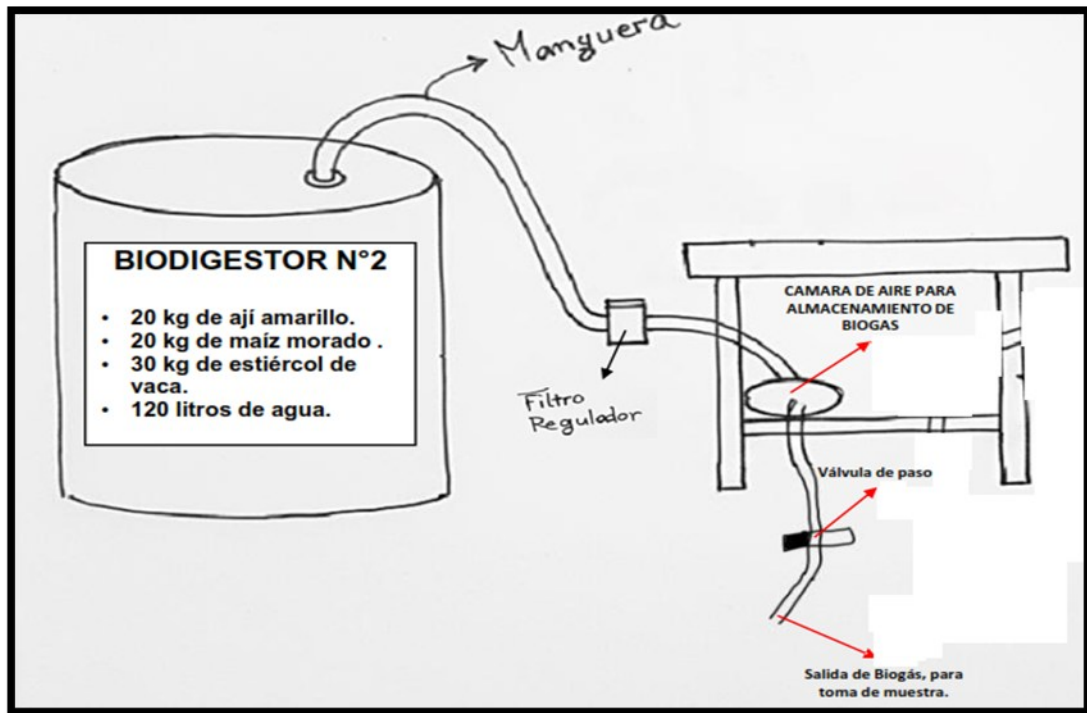
Se realizó la homogenización de las manzanas, plátanos, estiércol de oveja y 120 litros de agua.



La siguiente fotografía documenta la etapa del sellado del biodigestor luego de introducir los insumos orgánicos, paso esencial para que comience la fermentación y la generación de biogás como fuente de energía renovable.



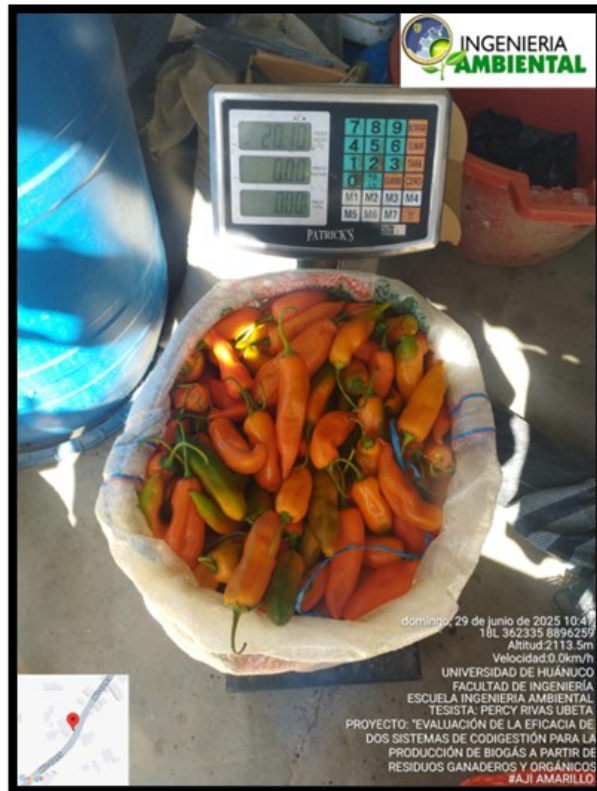
Prototipo del biodigestor 02



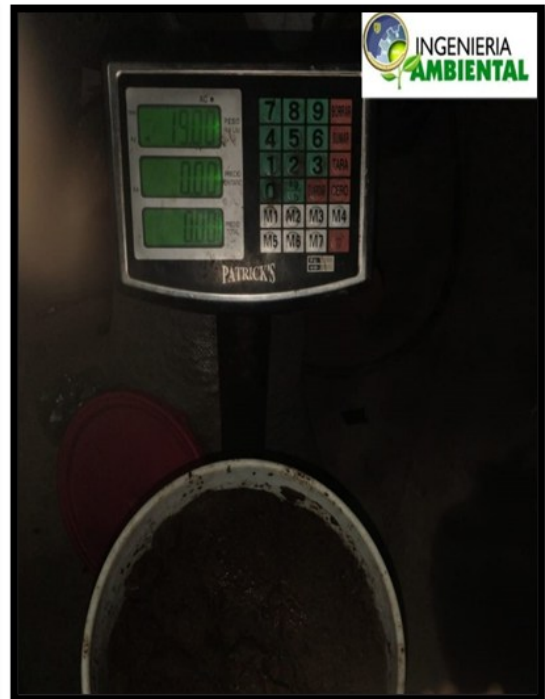
En la siguiente imagen podemos evidenciar el pesado del maíz morado de 20 kg.



En la siguiente imagen podemos evidenciar el pesado del ají amarillo de 20 kg.



En la siguiente imagen podemos evidenciar el pesado de estiércol de vaca de 30 kg.



Se realizó la homogenización del maíz morado y el ají amarillo.



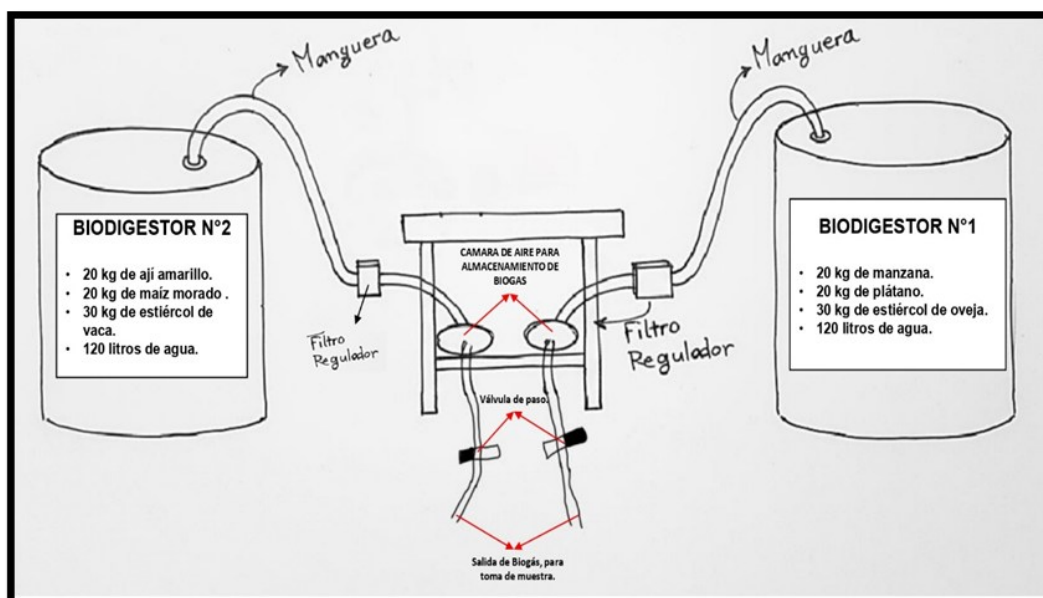
Se realizó la homogenización del maíz morado, ají amarillo, estiércol de vaca y 120 litros de agua



La siguiente fotografía se evidencia la etapa del sellado del biodigestor luego de introducir los insumos orgánicos, paso esencial para que comience la fermentación y la generación de biogás como fuente de energía renovable.



Prototipo del biodigestor 01 y 02



A continuación, se evidencia las señalizaciones en el área del proyecto instalado para evitar eventos no deseados durante proceso de ejecución.

A. CUIDEMOS EL MEDIO AMBIENTE Y MANTENGA ESTE LUGAR LIMPIO Y ORDENADO



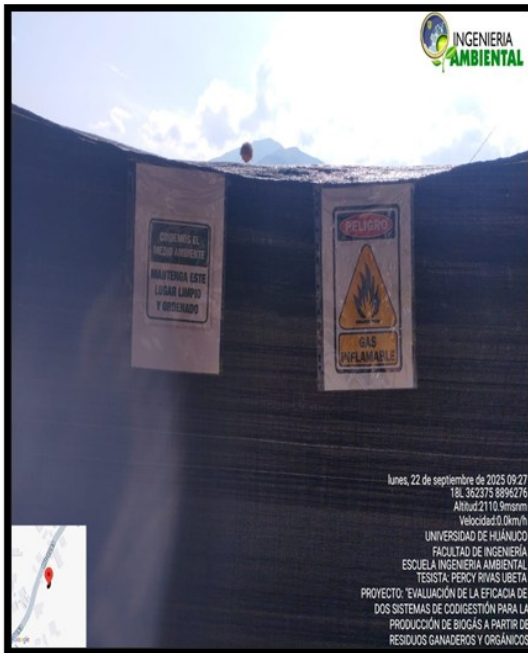
B. USO OBLIGATORIO DE MASCARILLA



C. PELIGRO NO FUMAR



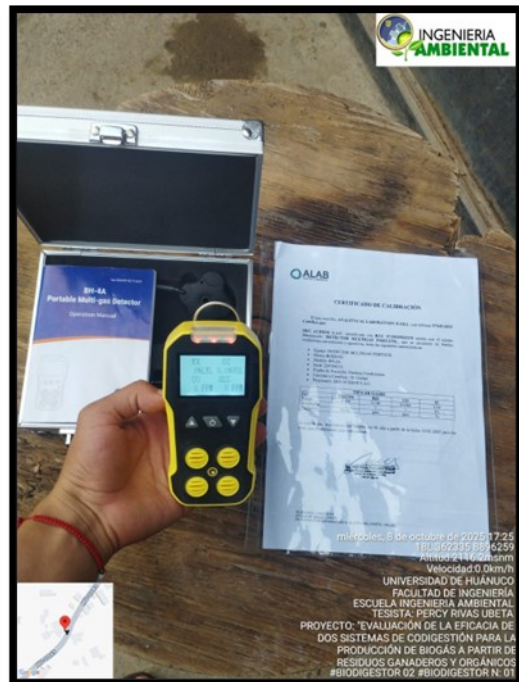
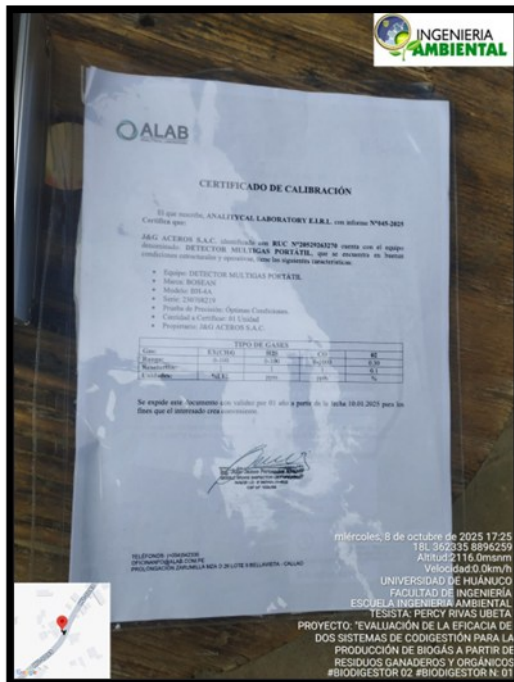
D. PELIGRO GAS INFLAMABLE



E. RIESGO DE ASFIXIA



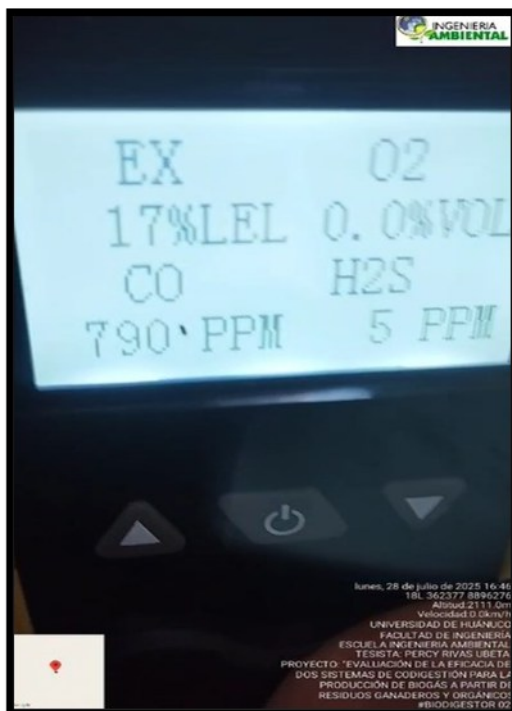
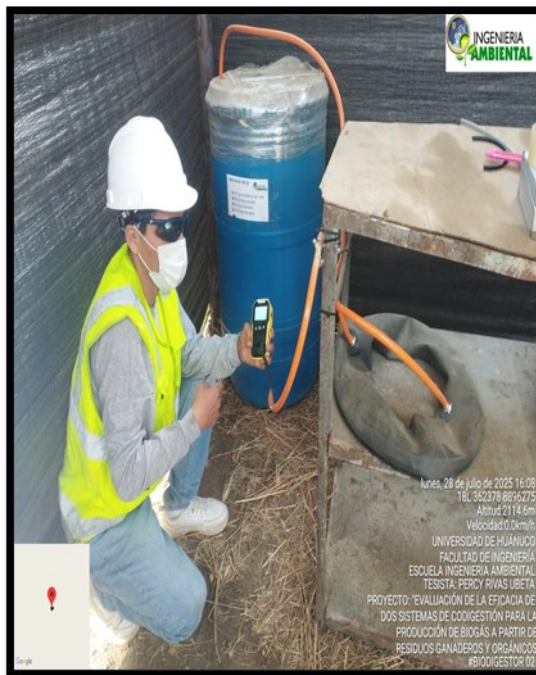
Detector multigas portátil BOSEAN BH-4A



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 13-07-2025.



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 28-07-2025



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 12-08-2025



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 27-08-2025



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 11-09-2025



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 con la visita del jurado el magister Frank Cámara Llanos de fecha 21-09-2025



Toma de muestras de los elementos **METANO (LEL)**, **COBALTO(CO)**, **OXIGENO(O2)**, **ÁCIDO SULFHÍDRICO (H2S)** del biodigestor 01 y 02 de fecha 11-09-2025

