

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EFEECTO DEL ESTIÉRCOL PORCINO Y RESIDUOS DE
VERDURAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
EN LA CIUDAD DE TACNA

TESIS

Presentada por:

Bach. Jhon Jenry Mamani Arce

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

**EFFECTO DEL ESTIÉRCOL PORCINO Y RESIDUOS DE
VERDURAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
EN LA CIUDAD DE TACNA**

SUSTENTADA Y APROBADA EL 20 DE MAYO DEL 2025, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

.....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO:

.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:

.....
Dra. Geovanna Mery Machaca Rojas

ASESOR:

.....
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

CERTIFICADO DE SIMILTUD

Yo, **Dr. Carlos Francisco Tito Vargas**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°8734-2024-FCAG de la tesis titulada: **“EFECTO DEL ESTIÉRCOL PORCINO Y RESIDUOS DE VERDURAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA CIUDAD DE TACNA”**.

Presentado por el **Bachiller Jhon Jenry Mamani Arce**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual **Turnitin** cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 10 %. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguiente la publicación en el repositorio institucional.



.....
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas
00491729



.....
Jhon Jenry Mamani Arce
70541639



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Julio y Martha, porque fueron mi principal fuente de apoyo en cada etapa de mi tesis, este logro académico es un reflejo del inalcanzable esfuerzo que han invertido para brindarme una educación sólida.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a mis padres por su apoyo incondicional y palabras de aliento, no puedo expresar con palabras cuánto valoro su apoyo y orientación a lo largo de este viaje académico.

A mis hermanos, les agradezco por apoyarme y motivarme para seguir adelante, en especial a mi hermana Mirian, cuyo soporte y aliento han sido fundamentales en cada etapa de este proceso.

Un agradecimiento especial a mi enamorada Lia y mi estimado amigo Eric, por su invaluable ayuda y acompañamiento en la ejecución de mi tesis, sin los cuales este trabajo no hubiera alcanzado su plenitud.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Delimitación de la investigación	6
1.3.1 Delimitación temporal	6
1.3.2 Delimitación espacial	6
1.3.3 Delimitación teórica	6
1.4 Justificación	7
1.4.1 Justificación social	7
1.4.2 Justificación económica	7

1.4.3	Justificación ambiental	8
1.4.4	Justificación científica	8
1.5	Limitaciones	9
CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS		10
2.1	Objetivos	10
2.1.1	Objetivo general	10
2.1.2	Objetivos específicos	10
2.2	Hipótesis	11
2.2.1	Hipótesis general	11
2.2.2	Hipótesis específicas	11
2.3	Variables	11
2.3.1	Diagrama de variables	11
2.3.2	Operacionalización de variable.....	12
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL		14
3.1	Marco referencial	14
3.1.1	Nivel internacional	14
3.1.2	Nivel nacional	17
3.1.3	Nivel local	22
3.2	Bases teóricas	25
3.2.1	Digestión anaeróbica	25
3.2.2	Estiércol	29

3.2.3	Parámetros de la biodigestión anaeróbica	31
3.2.4	Biogás	36
3.3	Definición de conceptos básicos	41
3.3.1	Biomasa	41
3.3.2	Biodigestor	41
3.3.3	Eficiencia energética	42
3.3.4	Energías renovables	42
3.3.5	Fermentación anaerobia	42
3.3.6	Metano	43
	CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO	44
4.1	Tipo y diseño de investigación	44
4.2	Población y muestra	47
4.2.1	Población	47
4.2.2	Muestra	47
4.3	Técnicas aplicadas a la recolección de la información	48
4.4	Materiales y equipos	56
4.5	Análisis estadístico	
	CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
5.1	Resultados	58

5.1.1	Establecer la proporción óptima de mezcla entre estiércol porcino y residuos de verduras que permita maximizar la generación de biogás en un biodigestor de tipo casero.....	58
5.1.2	Identificar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras que permita obtener el mayor poder calorífico del biogás	64
5.2	Discusión de resultados	66
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Operacionalización de variables.....</i>	13
Tabla 2. <i>Composición del biogás.....</i>	36
Tabla 3. <i>Tratamiento y repeticiones para la obtención de mayor volumen de biogás.....</i>	45
Tabla 4. <i>Porcentaje de las mezclas para los tratamientos.....</i>	51
Tabla 5. <i>Relación C/N de las mezclas.....</i>	52
Tabla 6. <i>Contenido para cada tratamiento.....</i>	53
Tabla 7. <i>Resultados de la producción acumulada de biogás (L).</i>	62
Tabla 8. <i>Análisis de varianza para la producción de biogás.....</i>	63
Tabla 9. <i>Prueba de rango múltiple de Tuckey (P<0,05) para la producción de biogás.....</i>	63
Tabla 10. <i>Resultados del poder calorífico de biogás (kcal/m³).....</i>	64
Tabla 11. <i>Análisis de varianza para el poder calorífico del biogás..</i>	65
Tabla 12. <i>Prueba de rango múltiple de Tuckey (P<0,05) para el poder calorífico del biogás.....</i>	66
Tabla 13. <i>Prueba de normalidad para producción de biogás.....</i>	90

Tabla 14.	<i>Prueba de homogeneidad para la producción de biogás</i>	90
Tabla 15.	<i>Prueba de normalidad para el poder calorífico del biogás.....</i>	90
Tabla 16.	<i>Prueba de homogeneidad para el poder calorífico del biogás.....</i>	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Diagrama de variables de investigación.....</i>	12
Figura 2. <i>Esquema general de las transformaciones bioquímicas durante el proceso de digestión anaeróbica de materia orgánica.....</i>	26
Figura 3. <i>Influencia de la temperatura sobre el crecimiento de microorganismos.....</i>	32
Figura 4. <i>Rangos estables de pH durante el proceso de digestión anaeróbica.....</i>	33
Figura 5. <i>Aplicaciones del biogás.....</i>	37
Figura 6. <i>Prueba de la probeta invertida.....</i>	39
Figura 7. <i>Diagrama general de la investigación.....</i>	46
Figura 8. <i>Puntos de muestreo.....</i>	48
Figura 9. <i>Diseño de biodigestor</i>	50
Figura 10. <i>Medición de volumen de biogás generado</i>	54
Figura 11. <i>Comportamiento de la temperatura de los biodigestores durante la producción de biogás.....</i>	59

Figura 12	<i>Comportamiento del pH de los biodigestores durante la producción de biogás.....</i>	60
Figura 13.	<i>Cantidad de biogás producido por cada tratamiento.....</i>	61

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Matriz de consistencia</i>	89
Anexo 2. <i>Resultados de la temperatura durante el proceso de biodigestión.....</i>	90
Anexo 3. <i>Resultados del pH durante el proceso de biodigestión.....</i>	91
Anexo 4. <i>Resultados de la producción de biogás durante el proceso de biodigestión</i>	92
Anexo 5. <i>Pruebas de homogeneidad</i>	93
Anexo 6. <i>Panel fotográfico del desarrollo de la investigación....</i>	94
Anexo 7. <i>Resultados del análisis de laboratorio de los sustratos.....</i>	98

RESUMEN

La mala disposición de los residuos sólidos representa una afectación al ambiente, de los cuales los residuos orgánicos representan un 50 % aproximadamente, por lo que se debe priorizar su valorización. Este estudio se ha realizado con el objetivo de evaluar el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras sobre la producción de biogás en la ciudad de Tacna. Para la metodología se construyó biodigestores con tachos de 80 L, con conexiones para salida del gas, se empleó 135 kg estiércol porcino en una granja de la localidad, y 27 kg de restos de verdura del mercado La Agronómica de Tacna. Se realizaron mediciones de pH, temperatura y biogás en un periodo de 60 días de digestión anaeróbica. Luego se realizó la quema del biogás para calcular el poder calorífico adaptando una cocina para biogás y usando una olla con 0,5 L de agua. Para el análisis estadístico se aplicó un DCA de 3 tratamientos y 3 repeticiones con el fin de determinar la mejor mezcla para la producción de biogás y poder calorífico. Se determinó que el mejor tratamiento fue el tratamiento 3 compuesto por 67 % de estiércol porcino y 33 % de residuos de verdura, con una producción total promedio de 13 L de biogás y 1 260,867 kcal/m³ de poder calorífico.

Palabras clave: Biogás, estiércol, metano, residuos orgánicos.

ABSTRACT

The poor disposal of solid waste is detrimental to the environment, with organic waste accounting for approximately 50 % of the total. Therefore, its recovery must be prioritized. This study was conducted to evaluate the effect of pig manure and vegetable waste on biogas production in the city of Tacna. The methodology used was to construct biodigesters with 80 L drums with gas outlet connections. 135 kg of pig manure were used from a local farm and 27 kg of vegetable waste from the La Agronómica market in Tacna. pH, temperature, and biogas measurements were taken over a 60-day period of anaerobic digestion. The biogas was then burned to calculate its calorific value by adapting a biogas stove and using a pot with 0,5 L of water. For statistical analysis, a 3-treatment, 3-replicate DCA was applied to determine the optimal mixture for biogas production and calorific value. The best treatment was determined to be treatment 3, composed of 67 % pig manure and 33 % vegetable waste, with an average total biogas production of 13 L and 1 260,867 kcal/m³ of calorific value.

Keywords: Biogas, manure, methane, organic waste.

INTRODUCCIÓN

La realización de diversas actividades productivas, tanto en hogares como en industrias, genera gran cantidad de residuos sólidos (Lozano y Gonzales, 2023), si estos residuos no se gestionan correctamente, pueden causar graves efectos ambientales y afectar el desarrollo socioeconómico. Entre las consecuencias están la emisión de gases, la generación de lixiviados y el agotamiento de recursos naturales sobreexplotados (Comun, 2024). Frente a esta problemática se propone reutilizar los residuos como biomasa (Arroyo, 2024). Esta práctica consiste en convertir desechos en materia prima para usos secundarios y con ello la disminución de rellenos sanitarios, fomentar la creación de empleos e impulsar una economía circular (Belsuzarri, 2024).

Las actividades agropecuarias son propias de las áreas rurales y semiurbanas, y pueden generar residuos (Gutierrez, 2024). Entre estos residuos están las heces y los gases que se producen al contacto con el aire y la luz solar. Estos contaminantes afectan tanto el suelo como el aire si no se manejan de forma adecuada. Además, la acumulación excesiva de desechos orgánicos, tanto del sector rural como productor y del sector urbano como consumidor, favorece la aparición de vectores. Estos vectores pueden poner en riesgo la salud de las personas en la zona (Loaiza y Alarcón, 2020).

Para aprovechar estos residuos, se recomienda utilizar la digestión anaerobia. Este método es muy viable, ya que implica un bajo costo y requiere poco o ningún mantenimiento del equipo utilizado (Arroyo, 2024). Los productos obtenidos incluyen el biogás, una alternativa energética ideal para zonas rurales o sin acceso a electricidad, y el digestato, que puede reemplazar a los fertilizantes químicos (Severo, 2024). Por lo tanto, esta investigación propone evaluar el impacto del estiércol de cerdo y los residuos de vegetales en la producción de biogás en Tacna.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, que consta con la descripción del problema, formulación del problema, justificación e importancia, alcances y limitaciones de la investigación. El Capítulo II presenta los antecedentes del estudio, las bases teóricas y las definiciones clave. En el Capítulo III se describe el marco metodológico. Se especifica el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados. El Capítulo IV muestra los resultados obtenidos, en relación con los objetivos planteados. En el Capítulo V se lleva a cabo la discusión. Los resultados se comparan con los de otros autores; también se incluyen las conclusiones, las recomendaciones para futuras investigaciones, las referencias bibliográficas y los anexos de esta investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La generación de residuos sólidos representa uno de los grandes problemas ambientales en la actualidad luego del saneamiento y actividades mineras (Córdova, 2023). Dicha generación se incrementa conforme van pasando los años a causa del incremento poblacional y el surgimiento de nuevas necesidades por satisfacer (Oblitas y Ferrer, 2019).

Cada día, se producen enormes volúmenes de desechos sólidos, tanto orgánicos como no orgánicos, en todo el país. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2022), se generaron 8,2 millones de toneladas de desechos sólidos municipales en el país. De este total, el 77,64 % corresponde a residuos orgánicos e inorgánicos que pueden ser valorizados. Esto significa que estos desechos tienen el potencial de ser reutilizados o aprovechados. Sin embargo, solo se logró valorizar 148 496 toneladas, lo que representa un 2,33 % del total. Los residuos orgánicos constituyen el 56,70 %, siendo la mayor parte. En su mayoría, estos no se tratan adecuadamente y se acumulan en botaderos, que son lugares no autorizados. Allí, los residuos se descomponen y dañan la calidad del suelo,

contaminan el paisaje y liberan gases, principalmente metano y dióxido de carbono. Estos gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al cambio climático.

Dado el alto volumen de residuos urbanos generados, se buscan alternativas a nivel mundial para reducirlos. Los botaderos municipales y los rellenos sanitarios no son una solución sostenible para el manejo adecuado de los desechos orgánicos. En estos lugares, los residuos se descomponen al aire libre, emitiendo gases de efecto invernadero (GEI) durante su degradación (Córdova, 2023). Dada esta problemática, es crucial plantear soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos. Una opción viable es generar biogás a partir de estos desechos.

El biogás es una tecnología limpia, ya que proviene de residuos orgánicos y reduce la contaminación. Su uso evita la dependencia de combustibles fósiles y sus emisiones. En los últimos años, el interés en energías limpias ha crecido para mitigar el cambio climático, siendo el biogás una de las opciones destacadas para este propósito. Esta tecnología utiliza la descomposición de materiales orgánicos, como el estiércol y los desechos vegetales. A partir de este proceso, se produce biogás, el cual luego se utiliza para generar electricidad (Martí, 2019). El biogás se genera de manera natural sin la presencia de oxígeno. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos que descomponen la

materia orgánica como parte de su ciclo biológico, donde a su vez implica la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener biogás (Osejos et al., 2018).

En Tacna, las granjas ganaderas producen grandes cantidades de estiércol que no se aprovechan. Este desecho se tira en basureros, lo que causa malos olores y atrae insectos que pueden transmitir enfermedades. En los mercados, especialmente en los mayoristas, tampoco se gestionan adecuadamente los residuos desechados. Debido a esta situación, y para contribuir con nuevo conocimiento sobre la producción de biogás, se llevó a cabo esta investigación. Su objetivo es determinar las proporciones óptimas de estiércol y residuos de verduras para producir biogás.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras sobre la producción de biogás en la ciudad de Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para una mayor generación de volumen de biogás mediante un biodigestor casero?
- ¿Cuál es la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para obtener un mayor poder calorífico del biogás?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

Para la ejecución del total del proyecto de investigación se tomaron 80 días, siendo los primeros 20 días en la planificación y preparación de biodigestores e insumos, seguido de 60 días para la degradación de las mezclas y evaluación del biogás.

1.3.2 Delimitación espacial

El desarrollo del experimento se realizó en la región y provincia de Tacna, específicamente en la sede los Pichones III de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

1.3.3 Delimitación teórica

En el presente trabajo se evaluó la cantidad de biogás que puede producirse a distintas concentraciones de estiércol porcino en una mezcla con residuos de verduras.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Los residuos orgánicos como estiércol muchas veces al no ser dispuestos adecuadamente terminan descomponiéndose al aire libre emitiendo olores y atrayendo insectos que son molestos para los pobladores cercanos a granjas o mercados donde se generan estos residuos. Frente a esto, el uso de los residuos orgánicos permite un manejo adecuado y eficiente para atenuar las molestias que generan los residuos orgánicos al descomponerse inadecuadamente cerca de la población.

1.4.2 Justificación económica

Los residuos orgánicos suelen mezclarse con los inorgánicos, lo cual lleva a su eliminación directa en el botadero municipal de Tacna. Esto aumenta los costos de transporte debido al mayor volumen de desechos y, al descomponerse, estos residuos liberan gases de efecto invernadero que ayudan al aumento de la temperatura global. La digestión anaerobia ha surgido como una opción viable, ya que permite utilizar los residuos orgánicos como materia prima para generar energía renovable. Esta energía puede usarse para satisfacer las demandas de energía de la granja. También puede venderse al sistema eléctrico (Montenegro et al., 2016).

1.4.3 Justificación ambiental

Los desechos orgánicos, como los estiércoles, han tenido efectos perjudiciales en el entorno. Entre estos efectos se encuentran la contaminación del suelo y del agua, además de la emisión de gases que agravan el efecto invernadero. Estos problemas son el resultado de la falta de conocimiento y de una gestión inadecuada de estos residuos (Osejos et al., 2018). Por lo tanto, un tratamiento apropiado de los residuos orgánicos puede prevenir la contaminación ambiental. Además, permite aprovechar estos materiales para producir subproductos como fertilizantes y biogás. El biogás es una fuente energética limpia ya que se produce a partir de la descomposición de la biomasa. De esta manera, se puede disminuir la dependencia de combustibles fósiles.

1.4.4 Justificación científica

En Tacna, se han realizado pocas investigaciones sobre la generación de biogás utilizando desechos locales. El manejo de residuos sólidos es uno de los principales problemas de la ciudad. Por esta razón, este trabajo busca aportar información nueva sobre el uso de estiércol de cerdo y residuos vegetales. El objetivo es que, en el futuro, se puedan desarrollar prototipos adaptados a nuestra realidad. Así se logrará un

tratamiento adecuado de los residuos orgánicos, aprovechándolos para fomentar una economía circular.

1.5 Limitaciones

La presente investigación tuvo como limitaciones el uso de equipos avanzados para la medición de gases y el uso de biodigestores con tecnologías de medición automatizada.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras sobre la producción de biogás en la ciudad de Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

- Establecer la proporción óptima de mezcla entre estiércol porcino y residuos de verduras que permita maximizar la generación de biogás en un biodigestor de tipo casero.
- Identificar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras que permita obtener el mayor poder calorífico del biogás.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

- El estiércol porcino y residuos de verduras tiene efectos sobre la producción de biogás.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Existe una proporción óptima de mezcla entre estiércol porcino y residuos de verduras permite maximizar la generación de biogás en un biodigestor de tipo casero.
- Existe una proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras que permite obtener el mayor poder calorífico del biogás producido.

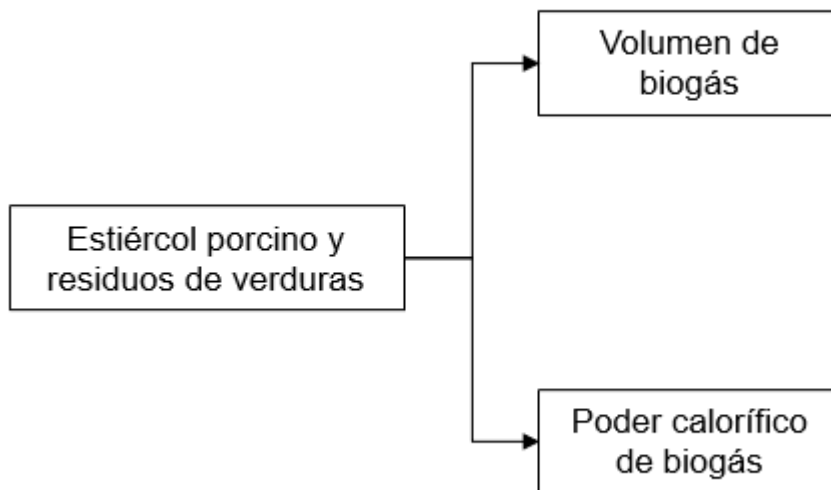
2.3 Variables

2.3.1 Diagrama de variables

A continuación, se observa en la figura 1 que presenta la gráfica de variables de la presente tesis, donde se detallan la variable independiente: “estiércol porcino y residuos de verdura”, y se tomaron las siguientes variables dependientes: “volumen de biogás” y “poder calorífico del biogás”.

Figura 1

Diagrama de variables de investigación



2.3.2 Operacionalización de variables

En la tabla 1 se enumeran las variables independientes y dependientes, junto con sus dimensiones e indicadores. Estos elementos se utilizaron para llevar a cabo la investigación.

Tabla 1*Operacionalización de variables.*

Variables	Dimensión	Indicadores
		Kg
Variable independiente	Peso	C/N
Estiércol porcino y residuos de verdura	Análisis fisicoquímico	% Sólitos totales pH Temperatura °C
Variable dependiente	Volumen	L
Biogás	Poder calorífico	Kcal/m ³

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

3.1 Marco referencial

3.1.1 Nivel internacional

Cañarte et al. (2023) en su investigación titulada “Prototipo de biodigestor para generación de biogás a través de excremento bovino porcino, parroquia Santa Rita-Chone” reportó que en concentraciones de 70 % de estiércol y 30 % de agua, balanceando el pH hasta obtener uno neutro y una temperatura promedio de 31 °C, se obtuvo como resultado unos 4 L de biol. Se concluye que es alternativa idónea para la producción de biogás en base a las concentraciones y condiciones consideradas durante la experimentación, además de su fácil armado y su sostenibilidad a largo plazo.

Castro et al. (2020) en su investigación titulada “Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)” reportó que la codigestión de estiércol bovino con residuos de cosecha de tomate, empleando 2 niveles de estiércol (20 y 50 %) y 2 niveles de pH inicial (6,8 y 7,5). Concluyendo que los

tratamientos con 7,5 de pH inicial duplicaron su producción de biogás y metano a comparación de los que se usaron a 6,8 de pH. En el caso del % de estiércol bovino se encontró que una relación de 50 % de estiércol y 50 % de residuos de cosecha de tomate generaron un 45 % de metano, a comparación de los otros tratamientos que produjeron 35 % de metano.

Cirino y Reyes (2023) en su investigación titulada “Producción de biogás por codigestión anaerobia de banano rechazo con estiércol de ganado vacuno en un CSTR a temperatura óptima mesofílica” reportó que se obtuvo biogás a partir de 2 mezclas de 70 % banano con 30 % estiércol vacuno y 80 % banano con 20 % estiércol en un tratamiento anaerobio que fue efectuado durante 8 semanas, con lo que obtuvo una composición de metano de 58,35 % y 65,97 % respectivamente, con una concentración de 4,815 L/día y 6,20 L/día. Concluyendo que es un sistema que permite obtener metano como un subproducto aparte del biogás.

Durazno (2018) en su investigación titulada “Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas” se elaboró un biodigestor de 233 L de capacidad, para comparar el uso de estiércol bovino y porcino en la generación de biogás, usando una relación de agua 1:1 y con un tiempo de retención de 50 días, obteniendo como resultados una mayor generación de biogás para

el estiércol porcino con 65,9 L frente a los 48,8 L de biogás generados por el estiércol bovino. Concluye que el durante los primeros 30 días la producción de biogás es mayor para estiércol porcino, mientras que para el estiércol bovino su pico fue a los 40 días, asimismo tuvo variaciones de producción debido a los cambios de temperatura.

Vásquez et al. (2023) en su investigación “Eficiencia energética del biogás CH₄ producido con desechos de cosechas cacaoteras en el Cantón La Maná como una alternativa de energía renovable” reportó la producción de biogás a partir de una digestión anaerobia de la cáscara de cacao, donde obtuvo una relación de 39,5 L de biogás por kg de cáscara de cacao, siendo un poco deficiente a comparación de sus antecedentes debido a una adición de un 50 % del inóculo de estiércol porcino recomendado, además de emplear un biodigestor profesional y trabajar a temperaturas superiores a los 30 °C. Concluyendo que el sistema propuesto es eficiente puesto a que puede sustituir de forma anual a 131 cilindros de GLP o 25,67 MWh de energía, representando una alternativa sostenible en un entorno agrícola del rubro.

3.1.2 Nivel nacional

Aguirre y Núñez (2022) en su estudio realizado en Arequipa reportó diversas concentraciones de estiércol de cuy, vacuno y porcino utilizando el método de cogestión. Tras evaluar los resultados, se eligieron 4 juegos de concentraciones de estiércol de cuy, vacuno y porcino respectivamente. Estas mezclas se estudiaron a nivel de laboratorio y se adaptaron al diseño del prototipo de biodigestor. El biodigestor fue creado con materiales caseros. Concluyendo que con una mezcla de 25 % de estiércol de vacuno, 25 % de porcino y 50 % de cuy respectivamente se obtuvo un valor máximo de 265 mL de biogás.

Barrena et al. (2019), en su investigación realizada en el Amazonas reportaron un biodigestor tubular hecho con geomembrana de PVC. Este biodigestor funciona con una mezcla de estiércol y agua en una proporción de 1:5. El tiempo de retención es de 29 días, con una temperatura ambiental de 14,4 °C. En el diseño del experimento, se estableció un tiempo de retención hidráulico de 35 días. Al dividir 9,0 L entre el tiempo de retención, se calcula una alimentación diaria de 257 L para mantener la producción de biogás. Concluyendo que las dimensiones del biodigestor de la investigación permiten generar 2,8 L/día lo cual es suficiente para la

producción de alimentos de una familia.

Barreda et al. (2022) en su investigación titulada “Co-digestión de tres tipos de estiércol (vaca, cuy y cerdo) para obtener biogás en el sur del Perú” empleó 12 mezclas de estiércol de vaca, cuy y cerdo por triplicado en un tiempo de 23 días obteniendo como resultado que el que más biogás generó fue el sistema 3 con 25 % de estiércol de vaca, 25 % de estiércol de cerdo y 50 % de estiércol de cuy, produciendo entre 250 y 300 mL. Concluyendo que el estiércol de cuy contiene propiedades fisicoquímicas que favorecen en la producción de biogás.

Cueva y Becerra (2019) en su estudio titulado “Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica domiciliar a partir del biogás producido por el estiércol de ganado vacuno en el anexo de San Isidro” diseñó un biodigestor de estructura flexible (tubular de plástico) para procesar 52,2 kg de estiércol diario, con un tiempo de retención de 51 días. Este sistema produce 1,84 m³ de biogás. Para abastecer a las cuatro casas de San Isidro se utilizó un generador eléctrico de 2 kW, que abastecerá a estas viviendas situadas a 30 minutos del centro de Lima. Concluyendo que la cantidad de biogás generado será suficiente para proporcionar a los hogares seleccionados para el estudio.

Gosgot et al. (2021) en su investigación titulada “Producción de biogás a partir de estiércol de gallina utilizando colectores solares” reportaron que con el estiércol de gallina durante 15 días, evaluando la producción y calidad del biogás metano, se da a conocer una alternativa sostenible que parte de una digestión anaerobia compuesta por digestores en botellas PET, dividiéndolo en 2 tratamientos que se basaron en una relación 1:2 de estiércol de gallina con agua y estiércol de gallina con biol respectivamente, dando a conocer que se obtuvieron un total de 209,6 mL/d y 751,45 mL/d respectivamente. Concluyendo que con el tratamiento 2 se obtuvo una mayor producción pero en ambos se tuvo una baja calidad.

Licapa (2022) en su investigación titulada “Comparación del poder calorífico y el rendimiento térmico del biogás producido a partir de residuos sólidos orgánicos y el gas licuado de petróleo” determinó se produce de 1,8 a 2 m³ de biogás por cada 100 L de carga diaria a partir de residuos orgánicos y posee un calor específico de 958 kcal/m³, que se compara con el calor específico del GLP 1 048,90 kcal/m³ donde solo se observa una diferencia de 89,46 kcal/m³. Concluyendo que el biogás producido es funcional para cualquier proyecto rural y urbano, brindando una propuesta confiable de optimización de sus residuos e implementación de técnicas limpias de producción de biogás.

Lozano (2019) en su investigación titulada “Optimización de la codigestión anaerobia para mejorar la producción de biogás” determinó como mejorar la producción de biogás utilizando diversas concentraciones de residuos ganaderos y agrícolas, además de distintos niveles de pH en la carga orgánica. Se implementó un diseño factorial considerando estas tres variables, donde la producción de biogás se optimiza con una mezcla que consiste en 40 % de residuos ganaderos, 60 % de residuos agrícolas y un pH neutro. Concluyendo que la codigestión, el tipo de residuos y la variación de pH son determinantes en la producción de biogás.

Montalbán (2020) en su investigación titulada “Obtención de biogás por digestión anaerobia a partir de la fermentación de tres mezclas de sustratos orgánicos en la comunidad de la Huaquilla” evaluó la producción de biogás mediante la fermentación de tres mezclas de banano orgánico, estiércol de vaca y estiércol de cerdo. Se variaron las relaciones C/N en cada tratamiento a 20:1, 25:1 y 30:1. Los resultados mostraron que los tratamientos con relaciones 20:1 y 25:1 produjeron 216 litros de biogás en 151 días. En cambio, el tratamiento con una relación C/N de 30:1 no generó biogás. Se concluye que los residuos de banano orgánico y los estiércoles de cerdo y vaca son viables para la producción de biogás.

Palacios (2020) en su investigación titulada “Calorific Value of Biogas Obtained by *Cavia porcellus*” reportó la obtención de biogas a partir de estiércol de cuy mediante un biodigestor intermedio a granel (IBC) con una capacidad de 1 m³ en un periodo de 72 días. Se utilizaron 459 kg de estiércol de cuy, con una carga semanal de 233 L (58,8 Kg de estiércol y 175 L de agua), 6 veces por semana en cada alimentación. Se obtuvo biogás con un poder calorífico de 6 527,3 kcal/m³ donde a su vez el pH estuvo en un rango de 6,5 entre 7 y a una temperatura entre 26 y 28,2 C°. Concluyendo que el método para obtener energía no convencional a partir del biogás producido por biomasa animal presenta ventajas ambientales y un bajo costo.

Román (2021) en su investigación titulada “Producción de metano de la excreta animal para el aprovechamiento energético en la región altoandina” reportó el uso de 8,9 kg de excremento para la obtención de metano a través de una digestión anaeróbica en un biodigestor discontinuo durante 45 días, a una temperatura promedio de 31,20 y un pH de 6,98, obteniendo unos 184 L de biogás. Concluyendo que representa una alternativa rentable para obtener energía de forma económica y para fines

tanto domésticos como relacionados con la agricultura.

3.1.3 Nivel local

Amusquivar (2015) en su realizada en la región de Tacna reportó la producción de biogas, biol y bioabono usando dos tipos de cargas de una mezcla de residuos orgánicos con agua caliente a una temperatura promedio de 25°C, la primera de paja de trigo y la segunda de excretas de ovino, todo ello durante 10 semanas. Como resultado se produjo entre 0,13m³ y 0,35 m³ de biogás respectivamente por día a un pH entre 6,9 y 7,5, donde también se calculó el poder calorífico del biogás que fue de 2,16 kWh/m³ esto debido al aumento de vapor de agua por el incremento de temperatura dentro el invernadero. Concluyendo que influye mucho el insumo o materia orgánica que se emplea para la producción de biogás, donde el biogás producido por excretas animales produjo mayor volumen que el producido por residuos orgánicos vegetales.

Castillo y Tito (2019) en su estudio realizado en Tacna determinaron que el uso de dos mezclas de sustratos, donde mezcla 1 contiene 30 L de excremento de cuy, 60 L de rastrojo del alimento vegetal del cuy y 90 L y la mezcla 2 contiene 30 L de excremento de cuy, 30 L de rastrojo de alimento de cuy, 30 L de rastrojo del alimento vegetal del cuy , 30 L de residuo de

Grass y 90 L de agua de agua sometidos a un proceso de prefermentación y luego agitados en biodigestores cilíndricos llenos hasta dos tercios de su capacidad producen biogás. Como resultado, el primer biodigestor generó un total de 104 L de biogás en un periodo de 7 meses y 6 días. En contraste, el segundo biodigestor produjo 452 L en un tiempo de 7 meses y 19 días. Concluyendo que la mezcla que incluye excremento de cuy, rastrojo de su alimento, residuos de pasto y agua permite obtener una mayor cantidad de biogás.

Loayza y Alarcón (2020) en su realizado en el distrito de Sama Inclán, reportaron el uso de tres tipos de estiércol mezclados con silo de maíz, a una proporción de agua de 1:4. Se sugiere que, para optimizar el tiempo, la mezcla ideal contiene 6,5 % de estiércol de equino, 37,5 % de estiércol de ovino y 56 % de estiércol de vacuno. Para obtener la máxima producción de biogás, la mezcla más eficiente está compuesta por 6,5 % de estiércol de equino, 39,7 % de estiércol de ovino y 53,8 % de estiércol de vacuno. En cuanto a la calidad del biogás, la mezcla recomendada consiste en 6,5 % de estiércol de equino, 42 % de estiércol de ovino y 51,5 % de estiércol de vacuno. En cuanto a la producción de biogás entre biodigestores varía entre 11,05 y 12,9 L Concluyendo que es factible generar biogás utilizando estiércol de ovino, equino y vacuno.

Quispe (2022) en su investigación titulada “Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta” ejecutó cuatro tratamientos, donde T0 contenía 100 % suero, T1 tenía 90 % suero y 10 % estiércol, T2 80 % suero y 20 % estiércol y T3 tenía 70 % suero y 30 % estiércol, con sus tres respectivas repeticiones durante 140 días, el orden de producción de biogás fue $T0 < T1 < T2 < T3$ siendo valores de 62,35 L; 67,53L; 69,55L y 75,56L respectivamente. Siendo la adición de estiércol de bovino la principal razón de que T2 y T3 tuvieran una mayor producción de biogás. Concluyendo que la generación de biogás a partir de residuos de la industria quesera y ganadera pueden ser una opción para disminuir la contaminación ambiental.

Valdéz y Lozano (2023) en su estudio titulado “Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua” llevaron a cabo un diseño experimental que consistió en tres biodigestores de 80 L. Cada biodigestor contenía 72 L de agua, 2 kg de estiércol de cuy y 2,5 kg de estiércol de vaca. Se evaluaron la temperatura y el pH durante un periodo de 60 días. Los resultados mostraron que la mayor producción de biogás se alcanzó entre los 35 y 50 días la cual fue de 837,1 L del biodigestor 3. Para lograr esta producción, es necesario mantener un pH

de 7 y una temperatura de 26 °C. Concluyendo que es factible la producción de biogás a partir de estiércol de cuy y vaca.

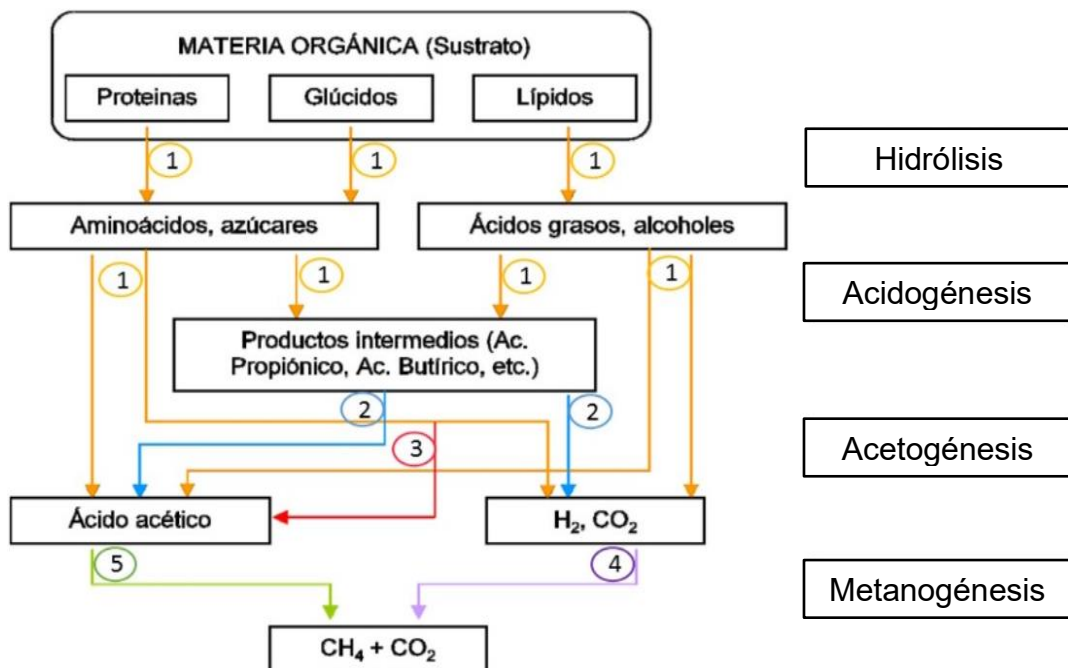
3.2 Bases teóricas

3.2.1 Digestión anaeróbica

La fermentación o digestión anaeróbica es un proceso de descomposición de la biomasa. En este mecanismo, los compuestos orgánicos son desintegrados en sus componentes energéticos individuales por microorganismos. El gas resultante de la fermentación se conoce como biogás. Este biogás está compuesto principalmente por una mezcla de metano y además, dióxido de carbono, que puede ser utilizado para diversas aplicaciones energéticas. El residuo, en forma líquida o sólida, incluye componentes difíciles de descomponer. Además, contiene nitrógeno, fósforo y otros minerales que estaban en la biomasa original (Valdez, 2016). Este proceso se desarrolla en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. En cada una de estas etapas, crecen distintos tipos de microorganismos, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2

Esquema general de las transformaciones bioquímicas durante el proceso de digestión anaeróbica de materia orgánica.



Nota. Cendales (2011). Los números indican la población bacteriana responsable del proceso. 1: Bacterias hidrolíticas acidogénicas. 2: Bacterias acetogénicas. 3: Bacterias homoacetogénicas. 4: Bacterias metanogénicas hidrogenófilas. 5, Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

3.2.1.1 Hidrólisis

La hidrólisis es la primera fase del proceso que implica la descomposición de polímeros orgánicos complejos en la biomasa. Este proceso genera moléculas más simples que pueden ser transportadas

fácilmente al interior celular. La materia orgánica necesita ser tratada para que los microorganismos puedan asimilarla. Para ello, debe ser descompuesta por enzimas, lo que permite que se disuelva en el agua circundante. Este proceso es llevado a cabo por exoenzimas que son liberadas por bacterias anaeróbicas facultativas de géneros como *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Micrococcus*, *Peptostreptococcus* y *Clostridium* (Cendales, 2011).

3.2.1.2 Acidogénesis

En esta etapa, diferentes grupos de microorganismos descomponen las moléculas orgánicas solubles. Como resultado, se generan compuestos como ácido acético, ácido fórmico, hidrógeno y dióxido de carbono, que son utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Dependiendo de la ruta metabólica durante la fermentación, también pueden formarse compuestos orgánicos más reducidos, tales como ácido láctico, ácido propiónico, ácido butírico y ácido valérico. Estos compuestos deben ser primero oxidados por las bacterias acetogénicas en una fase posterior, antes de ser aprovechados por los microorganismos metanógenos (Cendales, 2011). Según Blanco (2009), la cinética en esta fase acidogénica es bastante rápida, y el pH óptimo es bajo.

3.2.1.3 Acetogénesis

En esta etapa, la descomposición de ácidos grasos y compuestos aromáticos se realiza mediante la hidrogenación acetogénica. Para ello, se necesita la producción de H_2 por parte de microorganismos anaeróbicos. Estos microorganismos llevan a cabo la oxidación de ácidos grasos (Lijarza, 2022).

3.2.1.4 Metanogénesis

Este es el último paso, en el que el hidrógeno del ácido acético se convierte en CH_4 y CO_2 . La principal vía para generar CH_4 es a través de la descomposición del ácido acético. Este proceso es sensible a variaciones en el pH y normalmente ocurre en condiciones neutras (Montenegro et al., 2016). Los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de compuestos con uno o dos átomos de carbono unidos por enlaces covalentes, como el acetato, H_2 , CO_2 , formiato, metanol y algunas metilaminas. Estos microorganismos tienen una tasa de reproducción muy baja. Se calcula que su tiempo de regeneración es diez veces mayor que el de las bacterias acidogénicas (Blanco, 2009).

3.2.2 Estiércol

El estiércol es un material complejo que tiene altos niveles de materia orgánica, tanto disuelta como en partículas. Entre los componentes orgánicos se encuentran polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos grasos volátiles (AGV), junto con diversos compuestos inorgánicos. Este sustrato es considerado ideal para la digestión anaeróbica, debido a su capacidad de amortiguar, lo que le permite mantener el pH estable frente a la adición de sustancias ácidas o alcalinas. Además, contiene muchos nutrientes esenciales para el desarrollo de microorganismos anaeróbicos (Cendales, 2011).

Los animales digieren y absorben los nutrientes de los alimentos, utilizándolos para su mantenimiento y reproducción. Sin embargo, una parte de estos nutrientes no se aprovecha completamente y es eliminada a través de las heces y la orina (Valdez, 2016). En las explotaciones lecheras, las excretas se consideran un subproducto de desecho. La baja eficiencia en la utilización de nutrientes por parte de los animales provoca que el estiércol y la orina contengan cantidades elevadas de nitrógeno (N), fósforo (P) y otros elementos. Si el estiércol no se maneja correctamente, los nutrientes en exceso pueden causar contaminación ambiental.

3.2.2.1 Aprovechamiento del estiércol de cerdo

La contaminación de una granja de cerdos puede variar dependiendo del estado físico de los animales y el tipo de dieta que se utilice. Esto afecta la composición físicoquímica del estiércol. El impacto ambiental de esta contaminación está determinado por factores como la cantidad de agua utilizada en el lavado, si se separan los sólidos y cómo se manejan los residuos.

El estiércol porcino es una biomasa adecuada para su utilización en biodigestores. La producción de biogás está determinada por su contenido orgánico, así como por la cantidad de orina, heces y restos de alimentos. Para calcular la producción de biogás, no se deben incluir las aguas de lavado utilizadas para limpiar los pisos.

En condiciones normales, el estiércol de cerdo puede presentar un porcentaje de masa seca de entre 4 y 6 % y un porcentaje de masa volátil de 90 a 95 %. La producción de biogás a partir de 1 tonelada de desecho húmedo (heces y orina) se encuentra entre 25 y 35 m³/t. En países tropicales, debido a las condiciones climáticas favorables, se puede estimar una producción de 30 m³/t.MH. Por cada tonelada de masa volátil (MV), se estima que la producción de biogás es de 350 a 450 m³/t (Valdivia, 2023).

3.2.3 Parámetros de la biodigestión anaeróbica

La eficiencia de la digestión anaeróbica depende de varios factores clave. Estos son esenciales para crear las condiciones necesarias para los microorganismos anaeróbicos. El crecimiento y la actividad de estos microorganismos están estrechamente relacionados con factores como el oxígeno disuelto, la temperatura constante, el pH, la disponibilidad de nutrientes, la agitación y la presencia de inhibidores, como el amoníaco.

Las bacterias metanogénicas son anaeróbicas estrictas, lo que hace fundamental evitar el oxígeno durante la digestión del biogás (Seadi et al., 2008). Según Téllez (2008) los parámetros utilizados para medir la producción de biogás están influenciados por diversos factores, los cuales se detallarán a continuación.

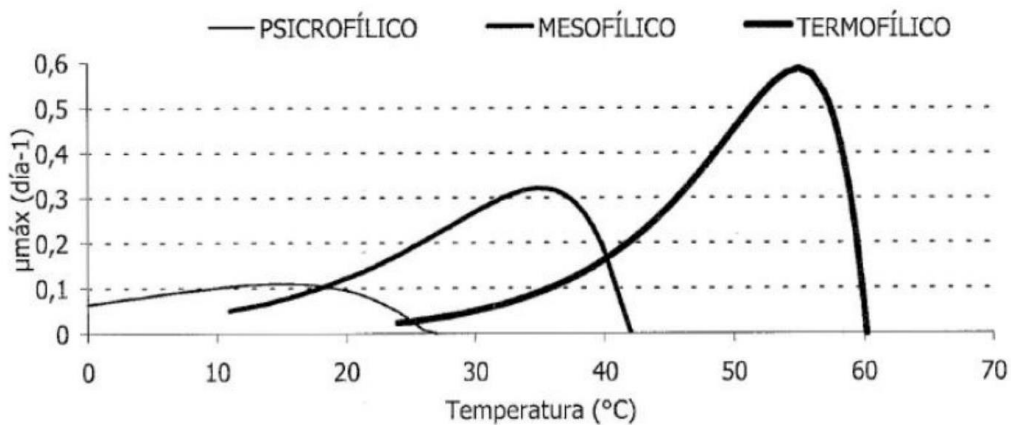
3.2.3.1 Temperatura

El proceso de digestión anaeróbica ocurre a temperaturas que van desde los 15 hasta los 60 °C. Los microorganismos metanogénicos son altamente sensibles a los cambios de temperatura. Un aumento o disminución abrupta de más de 3 °C puede afectar considerablemente la producción de biogás (Téllez, 2008). Dependiendo del rango de temperatura en que se desarrolle el proceso, se observa una influencia

directa sobre la tasa máxima de crecimiento (μ_{max}) de los microorganismos metanógenos. La figura 3 ilustra las velocidades de crecimiento de las bacterias en función de los rangos de temperatura.

Figura 3

Influencia de la temperatura sobre el crecimiento de microorganismos.



Nota. Cendales (2011).

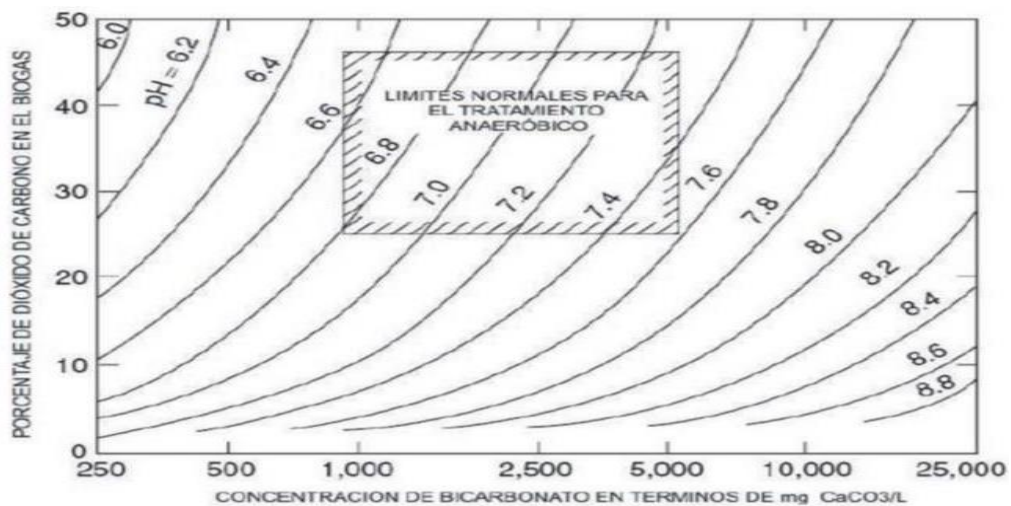
3.2.3.2 Acidez

El pH juega un papel crucial en la estabilidad del proceso, ya que regula la interacción de las poblaciones microbianas a través de la actividad enzimática. Aunque cada grupo microbiano en el entorno anaeróbico tiene una sensibilidad distinta a este parámetro, se ha determinado que el rango ideal de pH para la digestión anaeróbica está entre 6,5 y 7,5 (Lazarte, 2016).

Cuando el pH se desvía del rango de 6 a 8,3, surgen problemas graves (Varnero, 2011). Los ácidos grasos volátiles (VFA) producidos durante la degradación anaeróbica tienden a reducir el pH. Esta caída es normalmente compensada por la actividad de las bacterias metanogénicas, que generan alcalinidad en forma de dióxido de carbono, amoníaco y bicarbonato (Valdez, 2016). La figura 4 muestra los rangos de pH donde la digestión anaeróbica ocurre de forma óptima.

Figura 4

Rangos estables de pH durante el proceso de digestión anaeróbica.



Nota. Cendales (2011).

3.2.3.3 Contenido de sólidos

A medida que aumenta el contenido de sólidos en el sustrato, la

movilidad de las bacterias metanogénicas se ve cada vez más limitada. Esto puede afectar de manera negativa la eficiencia y la producción de biogás. Experimentos han demostrado que, en digestores semicontinuos, la carga de sólidos no debe superar entre el 8 % y el 12 % de sólidos totales para asegurar un buen rendimiento del proceso. Por otro lado, los digestores discontinuos pueden manejar entre un 40 % y un 60 % de sólidos totales (Varnero, 2011).

3.2.3.4 Inhibidores

El oxígeno es la principal sustancia tóxica en la digestión anaeróbica. Los microorganismos metanogénicos son algunos de los anaerobios más estrictos conocidos. Incluso concentraciones tan bajas como 0,01 ppm de oxígeno pueden inhibir completamente su crecimiento (Paucar, 2015). Otros inhibidores comunes son el amoníaco libre, los ácidos grasos y el sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Valdez, 2016). Además, en los residuos orgánicos biodegradables suelen estar presentes iones de metales ligeros como sodio, potasio, calcio y magnesio. Estos iones pueden originarse en el proceso de descomposición de la materia orgánica o ser añadidos para ajustar el pH dentro de un rango específico. Aunque cantidades moderadas de estos iones son esenciales para el desarrollo de las bacterias, niveles elevados pueden ralentizar su crecimiento o incluso inhibirlo (Cendales,

2011).

3.2.3.5 Relación Carbono/Nitrógeno

El carbono es la principal fuente de energía, mientras que el nitrógeno se utiliza para formar nuevas cadenas en las bacterias metanogénicas. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, lo que significa que la relación óptima es aproximadamente 30:1 (Téllez, 2008). Si hay un exceso de nitrógeno, se genera una gran cantidad de amoníaco. Por el contrario, si hay poco nitrógeno, las bacterias no se multiplican adecuadamente, lo que limita la producción de biogás (Téllez, 2008).

3.2.3.6 Contenido de agua en mezcla

Cuando la cantidad de agua es mínima, la producción de biogás será baja, lo que impedirá que los microorganismos presentes se desarrollen de manera eficiente. La cantidad de agua necesaria varía según las materias primas utilizadas en el proceso de digestión. Si se emplean estiércol y residuos agrícolas como fuente para la descomposición, la relación entre biomasa y agua debe estar entre 1:1 y 1:3 (Pacco, 2021).

3.2.4 Biogás

Es el resultado de la descomposición de sustancias orgánicas por microorganismos en un entorno anaeróbico y húmedo. Este proceso depende de factores como la temperatura, el tipo de material y el tiempo de descomposición (Avalos, 2012). A mayor temperatura, la descomposición ocurre más rápidamente, lo que reduce el tiempo necesario para procesar el material.

3.2.4.1 Características del biogás

El biogás generado por la digestión anaeróbica contiene entre un 50 % y un 80 % de metano (CH_4), entre un 20 % y un 50 % de CO_2 , y una pequeña cantidad de H_2S (Ávalos, 2012). Los detalles específicos se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2

Composición del biogás

Sustancias	Proporciones (%)
Metano	50 - 80
Dióxido de carbono	20 - 50
Agua	Saturado
Nitrógeno	0 - 1
Oxígeno	0 - 1
Compuestos orgánicos	Trazas

Nota. Loaiza y Alarcon (2020)

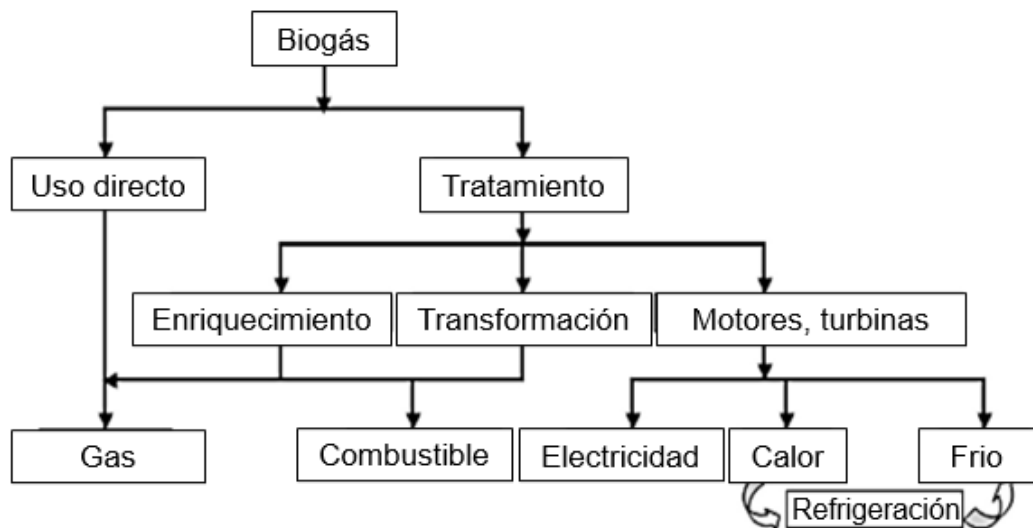
3.2.4.2 Aplicaciones del biogás

Se emplea para producir electricidad o calor en calderas, como en automóviles, calefacción directa y generación eléctrica. De esta forma, se convierte en una fuente de energía sostenible. También se utiliza en aplicaciones relacionadas con el gas natural licuado o el metanol (Montenegro et al., 2016).

En la figura 5 se observa las aplicaciones del biogás.

Figura 5

Aplicaciones del biogás



3.2.4.3 Cuantificación del biogás

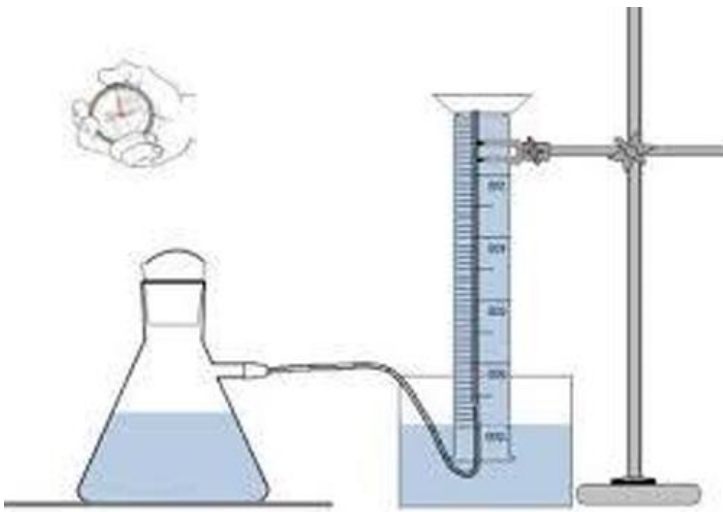
La producción de biogás en los reactores depende de diversos factores. Estos incluyen el tipo de sustrato, la temperatura y la acidez. Estas

condiciones son las que influyen directamente en la actividad metanogénica. Para medir el volumen de biogás, se puede usar el método de “desplazamiento de volumen de agua”. Este procedimiento sigue el principio físico de Arquímedes. Según este principio, un objeto que está sumergido total o parcialmente en un fluido en reposo, experimenta una fuerza vertical hacia arriba. Esta fuerza es igual al peso del fluido desplazado. En este caso, el volumen de biogás se mide de la siguiente manera: se coloca el extremo libre de la manguera dentro de una probeta invertida y graduada. Esta probeta está llena de agua y su parte inferior se encuentra sumergida en un balde con agua. Luego, se abre la llave de la manguera para permitir que el biogás pase a la probeta. El biogás desplaza el agua hacia el balde. Finalmente, cuando el volumen de agua desplazada alcanza la capacidad de la probeta, se cierra la llave de la manguera. Las mediciones se repiten hasta que se haya extraído todo el biogás.

En la figura 6 se aprecia la prueba de la probeta invertida para medición volumétrica de un gas.

Figura 6

Prueba de la probeta invertida



Nota. Loaiza y Alarcon (2020)

3.2.4.3 Poder calorífico del biogás

Según Amusquivar (2015) para hacer la equivalencia energética del biogás con el demás combustible, es necesario calcular el poder calorífico Q/m^3 .

Para ello se hace hervir una cierta cantidad en kg. de agua, se mide el ΔT , y se reemplaza a la siguiente ecuación:

$$Q_{Absorvido} = C_p m \Delta T$$

Luego el calor generado en el momento de la combustión es:

$$Q_{Suministrado} = P_{Biogas} V_{Biogas}$$

De todo el calor generado por el biogás, solo una parte es aprovechada, el rendimiento del biogás es:

$$R = \frac{Q_{Absorvido}}{Q_{Suministrado}}$$

Dónde:

$Q_{Absorbido}$: Calor que absorbe el biogás. (J ó Wh)

$Q_{Suministrado}$: Calor que suministra el biogás. (J ó Wh)

P_{biogas} : Poder calorífico del biogás (J/m³ ó Wh/m³)

V_{Biogas} : Volumen del biogás (m³)

C_p : Calor específico del agua (J/kg.°C)

m : Masa del agua (kg)

ΔT : Aumento de temperatura del agua (°C)

R : Rendimiento

3.3 Definición de conceptos básicos

3.3.1 Biomasa

La materia orgánica es el resultado de un proceso biológico y puede usarse como fuente de energía. La energía química de la biomasa puede liberarse mediante su incineración directa o transformándola en combustible (Navarro, 2020).

El término biomasa hace referencia a la materia orgánica proveniente de árboles, plantas y desechos animales que pueden transformarse en energía. También incluye los residuos agrícolas, como los restos de maíz, café y arroz. Además, abarca los subproductos de los aserraderos, como podas de ramas y aserrín. Finalmente, los residuos urbanos, como aguas negras y basura orgánica, también son considerados biomasa (Lucero, 2019).

3.3.2 Biodigestor

El biodigestor es una parte clave del sistema de biogás. Su función es fomentar el crecimiento y la multiplicación de bacterias anaeróbicas. Estas bacterias descomponen y tratan los residuos, produciendo gas combustible como subproducto. Además, generan un efluente líquido que contiene nutrientes y materia orgánica estabilizada (Téllez, 2008).

3.3.3 Eficiencia energética

Es la proporción entre la energía útil generada por un sistema o proceso y la energía total empleada. Esta relación refleja la capacidad de aprovechar la energía eficientemente y reducir las pérdidas (Carhuaricra et al., 2023).

3.3.4 Energías renovables

Las energías renovables son la principal alternativa frente a la creciente contaminación de las fuentes tradicionales. Estas provienen, directa o indirectamente, del sol, con la excepción de la energía geotérmica. La energía contenida en la radiación solar es significativa, lo que permite cubrir de manera adecuada las necesidades energéticas básicas, así como proporcionar calor, agua fresca y sustentar la vida vegetal. Sin embargo, su principal desventaja es su naturaleza dispersa y no continua. Por esta razón, actualmente se están llevando a cabo esfuerzos tecnológicos para hacer de esta fuente un suministro energético global (Toro, 2020).

3.3.5 Fermentación anaerobia

Este proceso de fermentación se lleva a cabo sin oxígeno (sin aire). El biogás es el producto final que se genera (Duran y Rojas, 2022).

3.3.6 Metano

Es un gas natural que también actúa como gas de efecto invernadero. Su impacto es entre 21 y 30 veces más dañino que el dióxido de carbono en el ambiente. La actividad ganadera, a través de sus desechos sólidos (estiércol) y procesos de digestión, libera este gas al entorno. Esta emisión ocurre porque no se lleva a cabo un tratamiento adecuado de los residuos orgánicos sólidos (Duran y Rojas, 2022).

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue cuantitativo, ya que se obtuvieron valores numéricos cuantificables. Según Hernández et al. (2014) el alcance de la investigación fue explicativo, debido a que se determinaron las causas de los fenómenos mediante la manipulación de variables. El diseño de la investigación fue experimental puro, debido a que se manipularon variables y se controlaron los factores iniciales para evaluar su desempeño en las variables respuesta.

4.1.2 Diseño de investigación

El primer análisis estadístico se realizó mediante la aplicación de un diseño completamente al azar (DCA) de 3 tratamientos y 3 repeticiones, con el objetivo de evaluar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verdura para una mayor generación de volumen de biogás.

En la tabla 3 se muestran los tratamientos y repeticiones aplicados en la investigación.

Tabla 3

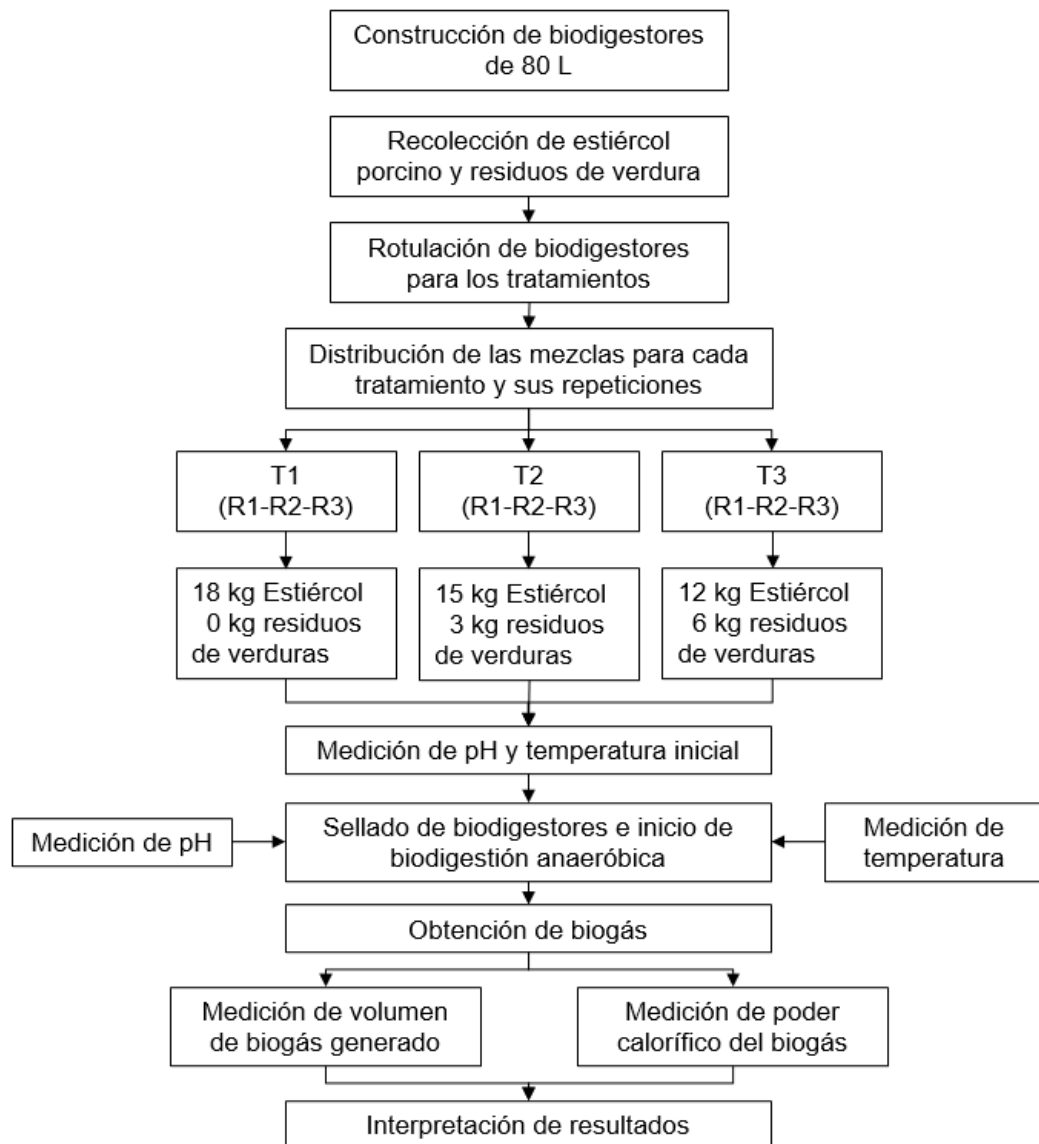
Tratamiento y repeticiones para la obtención de mayor volumen de biogás

Tratamiento	Repetición		
	I	II	III
T1			
T2			
T3			

En la figura 7, se describe las etapas desarrolladas para evaluar el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras en la producción de biogás.

Figura 7

Diagrama general de la investigación



Nota. El diagrama describe el proceso general de la investigación para la obtención de biogás.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población

La población estuvo conformada por los residuos orgánicos de estiércol y de verduras generados en la ciudad de Tacna.

4.2.2 Muestra

Se utilizó un total de 135 kg muestra de estiércol porcino en una granja de cerdos de la Asociación Agropecuaria Viñales Sector 1 Pampa Colorada, ubicada dentro del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, y 27 kg de residuos de verduras del mercado La Agronómica.

En la figura 8 se aprecia un mapa de los lugares donde se sacaron muestras para la preparación de las mezclas.

Figura 8

Puntos de muestreo



Nota. Google Earth (2024).

4.3 Técnicas aplicadas en la recolección de la información

Las técnicas de recolección de información se realizaron de acuerdo a los objetivos planteados, según se detalla de la siguiente manera:

Objetivo específico 01: Establecer la proporción óptima de mezcla entre estiércol porcino y residuos de verduras que permita maximizar la generación de biogás en un biodigestor de tipo casero.

Construcción biodigestor de tacho de 80 L

Se emplearon 12 tachos de 80 L de capacidad, en los cuales se realizaron en la tapa 1 orificio de 2" para el ingreso de la mezcla al biodigestor, y un orificio de 1/2" para la válvula de salida del biogás.

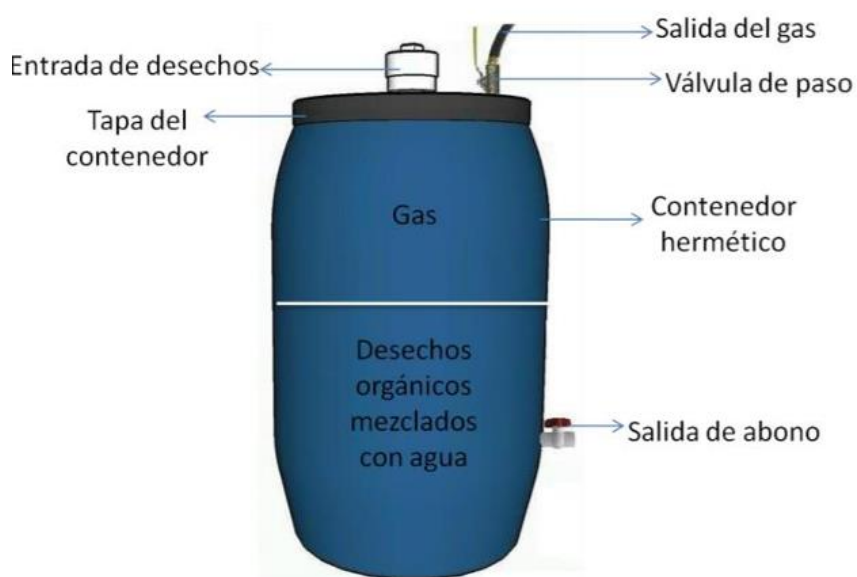
En la parte inferior del tacho se realizó otro orificio de 1/2" para la válvula de salida de biol y la toma de muestras de pH, se usaron llaves de paso de PVC y metálicas para el caso del biogás.

Para el almacenamiento de biogás, se utilizó una cámara de llanta N° 16, la cual se conectó a los biodigestores mediante una manguera de gas empleando válvulas para gas de 1/2" y abrazaderas para evitar fugas.

En la figura 9 se aprecia el diseño del biodigestor empleado.

Figura 9

Diseño de biodigestor



Nota. Loaiza y Alarcón (2020)

Recolección de muestras de estiércol porcino y residuos de verdura

La muestra de estiércol porcino recolectada en una granja de cerdos ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín, y para los residuos de verduras fue tomado en el mercado La Agronómica. Los residuos de verduras recolectados fueron hojas de brocoli, lechuga, repollo y coliflor.

Determinación de la relación C/N de las mezclas

Se mandó a analizar muestras de estiércol porcino y residuos de verduras para calcular el valor de C/N mediante el laboratorio ALAB

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. Posterior a ello, se calculó el porcentaje de cada tratamiento considerando 18 kg como 100% de masa de toda la mezcla (estiércol porcino y residuos de verduras).

En la tabla 4 se muestran los porcentajes de cada sustrato empleador en los tratamientos.

Tabla 4

Porcentaje de las mezclas para los tratamientos

Tratamiento	Componentes de la mezcla			
	Estiércol porcino (kg)	Residuos de verdura (kg)	Estiércol porcino (%)	Residuos de verdura (%)
1	18	0	100	0
2	15	3	83	17
3	12	6	67	33

Seguidamente se multiplicaron los porcentajes por los valores de C/N para cada sustrato de acuerdo al análisis obtenido en laboratorio. En la tabla 5 se aprecian la relación de C/N para cada tratamiento.

Tabla 5*Relación C/N de las mezclas*

Tratamiento	Multiplicación por su relación C/N		Relación C/N
	Estiércol porcino (15:1)	Residuos de verdura (16:6)	
1	15	0	15
2	10	4	14
3	8	8	16

Llenado de biodigestores

Para las mezclas, se consideró un volumen de uso de 90 % de cada tacho, y una relación de agua de 1:3 según lo recomendado por Varnero (2011). Quedando un total de 18 kg totales para cada mezcla a ingresar al biodigestor, dicha cantidad se distribuyó en 3 tratamientos, siendo el primer tratamiento una mezcla de 18 kg de estiércol porcino sin adición de residuos de verduras, para el segundo tratamiento se empleó 15 kg de estiércol y 3 kg de residuos de verduras, y para el tercer tratamiento se añadió 12 kg de estiércol y 6 kg de residuos de verdura, en cada mezcla se añadió 54 L de agua.

En la tabla 6 se aprecia el contenido de cada sustrato y agua por tratamiento.

Tabla 6*Contenido para cada tratamiento*

Tratamiento	Factores experimentales		
	Estiércol porcino (kg)	Residuos de verdura (kg)	Agua (L)
1	18	0	54
2	15	3	54
3	12	6	54

Medición de pH y temperatura

Se realizó mediciones cada 5 días, para el pH se tomó una muestra líquida de cada biodigestor y se sumergió una tira de papel universal de pH, y se tomó el valor comparando con la carta de colores de 0 al 14. Para la medición de temperatura se utilizó un termómetro láser digital, apuntando al biodigestor, estas mediciones se realizaron entre las 10:00 y 14:00 horas del día.

Evaluación de volumen de biogás producido

Para esta evaluación se utilizó el método de desplazamiento de volumen de agua, para lo cual se empleó una botella de plástico graduada, dentro de un recipiente con agua, donde se ingresó una manguera que

salía del biodigestor, donde al abrir la válvula de gas se medía la cantidad de biogás producido cada 5 días.

En la figura 10 se observa la medición volumétrica del biogás utilizada.

Figura 10

Medición de volumen de biogás generado semanal



Objetivo específico 02: Identificar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras que permita obtener el mayor poder calorífico del biogás.

Adaptación de una cocina convencional de GLP a biogás

Se empleó una cocina de 1 hornilla, la cual se modificó la boquilla de ingreso del gas GLP, removiéndola para el ingreso directo de biogás, asimismo se selló con cinta aislante para que haya ingreso de aire.

Cálculo de poder calorífico del biogás

Para el cálculo se hizo la quema del biogás en la cocina modificada, con una olla con 0.5 L de agua, para lo cual se midió el incremento de temperatura al finalizar la quema del biogás, según Amusquivar (2015) se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M \times \Delta T \times C_p}{V}$$

Donde:

M = Masa del agua (kg)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

C_p = Calor específico del agua (1 kcal/kg°C)

V = Volumen de biogás (m³)

4.4 Materiales y equipos

4.4.1 Materiales

- Tachos de 80 L
- Válvula de paso de 2" de PCV con tapa
- Tuerca y contratuerca de 2" de PVC
- Válvula de gas de 1/2"
- Tuerca y contratuerca de 1/2" de PCV
- Válvula de paso de 1/2" de PVC
- Manguera para gas
- Broca circular
- Cinta teflón
- Cocina de 1 hornilla
- Papel universal de pH

4.4.2. Equipos

- Balanza electrónica
- Termómetro industrial digital
- Impresora
- Laptop

4.5 Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos para analizar las variables de respuesta. En los distintos grupos experimentales, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$). También se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey. Este análisis se efectuó utilizando el software SPSS versión libre (Leyva y German, 2016).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

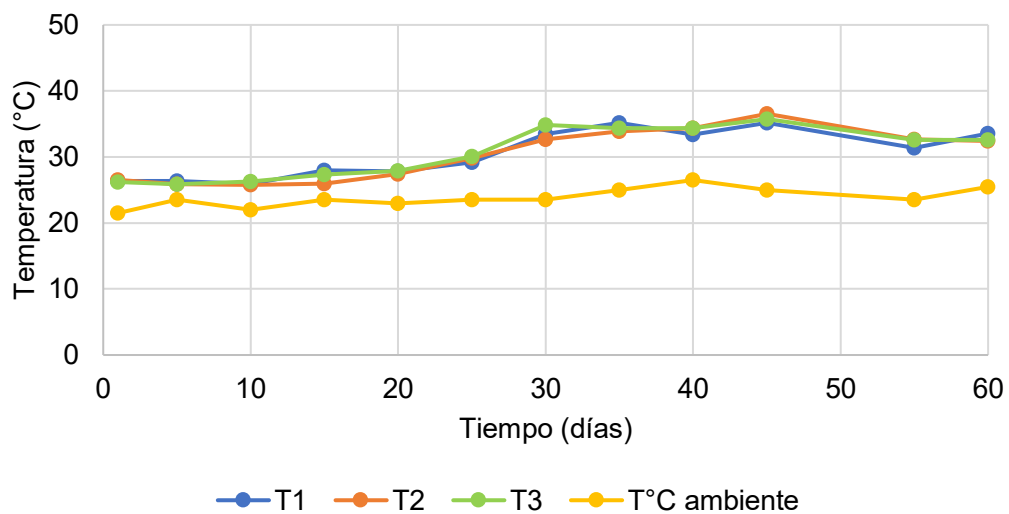
5.1.1 Establecer la proporción óptima de mezcla entre estiércol porcino y residuos de verduras que permita maximizar la generación de biogás en un biodigestor de tipo casero

El comportamiento de la temperatura promedio en los biodigestores para el tratamiento 1, 2 y 3 al iniciar fue de 26,4; 26,5 y 26,2 °C respectivamente. La temperatura incrementó con los días, teniendo un promedio de temperatura de 30,5; 30,3 y 30,7 °C respectivamente en los 60 días que duró el experimento.

En la figura 11 se observa el comportamiento de la temperatura promedio para cada tratamiento.

Figura 11

Comportamiento de la temperatura de los biodigestores durante la producción de biogás.

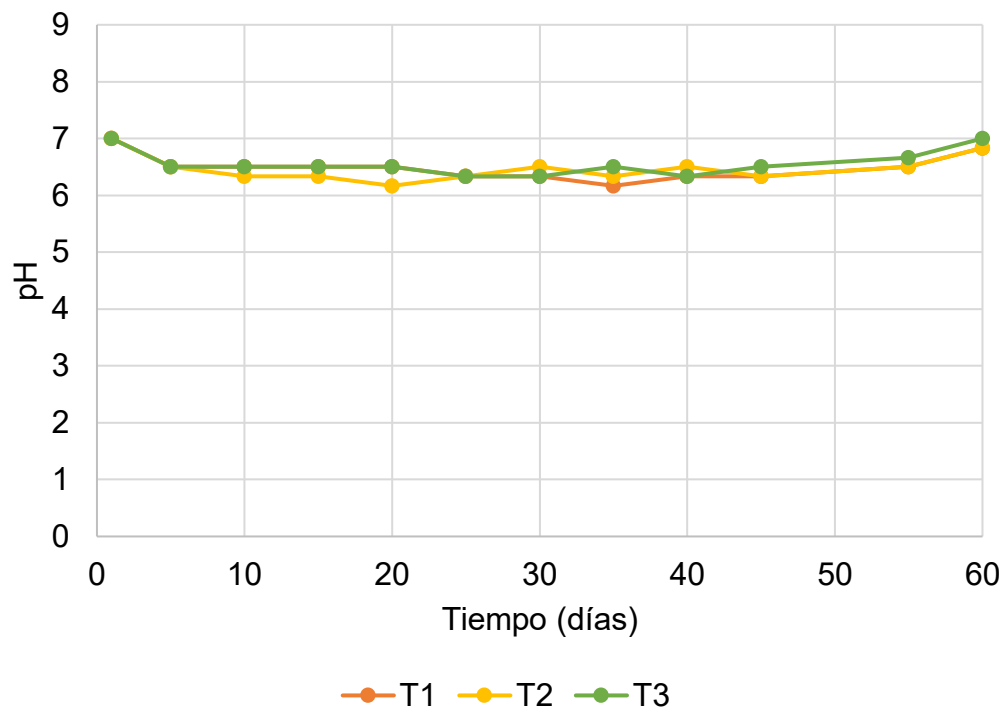


El comportamiento del pH promedio de la mezcla ingresada a los biodigestores para el tratamiento 1, 2 y 3 al iniciar fue de 7,0; 7,0 y 7,0 respectivamente. Se observa en la figura 4 el pH de las mezclas se mantuvo en un rango neutro, teniendo una ligera acidificación. Al finalizar el desarrollo de la degradación anaeróbica, se tuvieron valores promedio de pH de 6,5; 6,5 y 6,6 respectivamente.

En la figura 12 se aprecia el comportamiento de los valores de pH promedio para cada tratamiento.

Figura 12

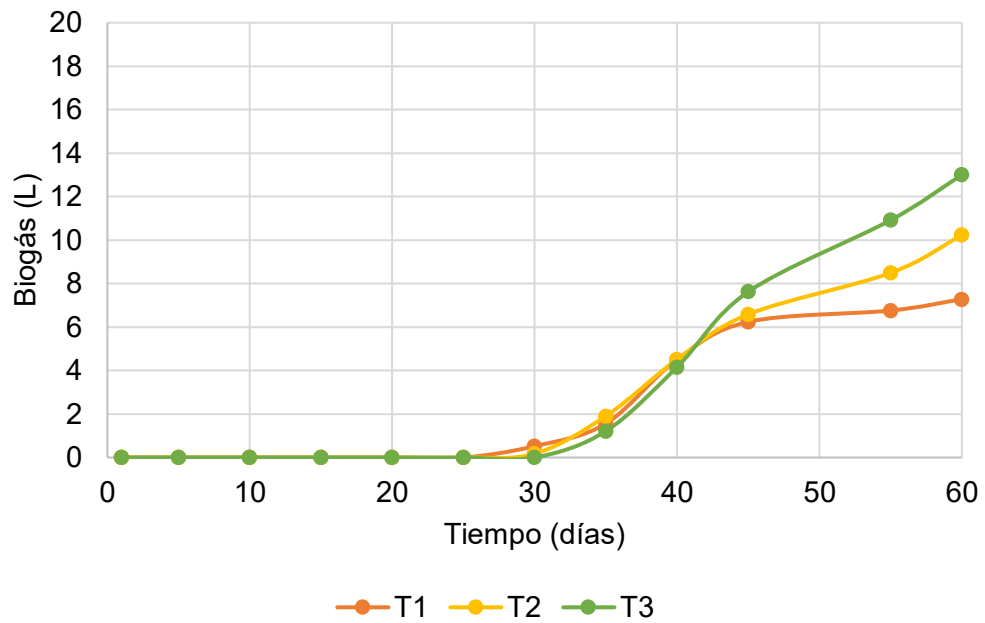
Comportamiento del pH de los biodigestores durante la producción de biogás.



En la figura 13 se muestra la evolución de la producción de biogás durante los 60 días, siendo el T1 el primero en iniciar producción, y finalizando con el T3 con el de mayor producción en el acumulado de biogás.

Figura 13

Cantidad de biogás producido por cada tratamiento.



En la tabla 7 se nos muestran los resultados de la producción de biogás acumulada para cada tratamiento, siendo el tratamiento 3 con el mayor promedio frente a los otros tratamientos. El tratamiento 1 genera menor cantidad de biogás.

Tabla 7

Resultados de la producción acumulada de biogás (L)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	1	2	3	
T1 (18 kg de estiércol porcino + 0 kg de residuos de verduras)	6,76	7,80	7,28	7,28
T2 (15 kg de estiércol porcino + 3 kg de residuos de verduras)	9,36	10,92	10,40	10,23
T3 (12 kg de estiércol porcino + 6 kg de residuos de verduras)	13,00	11,96	14,04	13,00

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para la producción de biogás, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Ha: Existe diferencia significativa entre los tratamientos.

En la tabla 8 se nos muestra el p-valor es menor a 0,05, por lo que se rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna y se concluye que si existe diferencias significativas entre los tratamientos con un p-valor menor a 0,05.

Tabla 8*Análisis de varianza para la producción de biogás*

FV	SC	GL	MC	F	P-valor
Entre grupos	49,093	2	24,546	37,136	0,000
Dentro de grupos	3,966	6	0,661		
Total	53,058	8			

En la tabla 9 se puede apreciar el orden de mérito, donde los tratamientos T1, T2 y T3 se diferencian significativamente. Sin embargo, el T3 obtuvo una media de 13,000 L de biogás, diferenciándose del T1 con 7,280 L de biogás.

Tabla 9*Prueba de rango múltiple de Tuckey ($P < 0,05$) para la producción de biogás*

Tratamiento	Medias	n	Sig.
T3	13,000	3	a
T2	10,227	3	b
T1	7,280	3	c

5.1.2 Identificar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras que permita obtener el mayor poder calorífico del biogás

En la tabla 10 se nos muestran los resultados del poder calorífico de biogás calculado para cada tratamiento, siendo el tratamiento 3 con el mayor promedio frente a los otros tratamientos. El tratamiento 1 obtuvo un menor poder calorífico de biogás.

Tabla 10

Resultados del poder calorífico de biogás (kcal/m³)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	1	2	3	
T1 (18 kg de estiércol porcino + 0 kg de residuos de verduras)	807,7	903,8	692,3	801,3
T2 (15 kg de estiércol porcino + 3 kg de residuos de verduras)	1 000,0	1 208,3	1 069,4	1 092,6
T3 (12 kg de estiércol porcino + 6 kg de residuos de verduras)	1 337,0	1 163,0	1 282,6	1 260,9

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para la producción de biogás, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencia significativa entre los tratamientos.

Ha: Existe diferencia significativa entre los tratamientos.

En la tabla 11 se nos muestra el p-valor es menor a 0,05, por lo que se rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna y se concluye que si existe diferencias significativas entre los tratamientos con un p-valor menor a 0,05.

Tabla 11

Análisis de varianza para el poder calorífico del biogás

FV	SC	GL	MC	F	P-valor
Entre grupos	324 412,740	2	162 206,370	16,014	0,004
Dentro de grupos	60 774,200	6	10 129,033		
Total	385 186,940	8			

En la tabla 12 se puede apreciar el orden de mérito, donde los tratamientos T2 y T3 no se diferencian significativamente entre sí, con una media de 1 260,867 kcal/m³ y 1 092,567 kcal/m³ respectivamente. Sin embargo, el T1 sí se diferenció significativamente de los demás tratamientos con una media de 801,267 kcal/m³.

Tabla 12

Prueba de rango múltiple de Tuckey (P<0,05) para el poder calorífico del biogás

Tratamiento	Medias	n	Sig.
T3	1 260,867	3	a
T2	1 092,567	3	a
T1	801,267	3	b

5.2 Discusión de resultados

Respecto al volumen de producción acumulada de biogás obtenida, se obtuvo valores promedio para el tratamiento 1, 2 y 3 de 7,3 L; 10,2 L y 13,0 L respectivamente, siendo el tratamiento 3 con la mayor producción, lo cual resultan valores similares a los reportados por Loaiza y Alarcón (2020) que indican valores obtenidos entre 11,05 y 12,90 L, pero menor a lo reportado por Quispe (2022) que reporta valores de 62,35 L; 67,53L; 69,55L y 75,56L en sus tratamientos, esto fue debido a la aplicación de suero en la mezcla de biodigestores y al tipo de sustratos empleados como el tipo de estiércol y residuos agrícolas.

El aumento del biogás con la mezcla del tratamiento 3 que contenía 12 kg de estiércol porcino y 6 kg de residuos de verduras a comparación del tratamiento 1 que solo contenía 18 kg de estiércol porcino se relaciona con lo mencionado por Lozano (2019) que indica que la producción de biogás se optimiza con una mezcla entre 40 % de residuos ganaderos y 60 % de residuos agrícolas, esto pudo ser debido a una mejor relación C/N que sostiene Montalbán (2020), que obtuvo mejores resultados con una relación C/N entre 20:1 y 25:1, a comparación de una relación de 30:1 donde no se obtuvo biogás.

Castillo y Tito (2019) obtuvieron un total de 104 L y 452 L en un tiempo promedio de 7 meses empleando excremento de cuy, estos valores

son mayores a los obtenidos en la presente investigación, esto debido a la pre fermentación realizada a los sustratos antes de la adición de la mezcla a los biodigestores, lo cual ayudó a la mejor producción de biogás a la fácil descomposición de los residuos orgánicos empleados.

El pH inicial promedio en las mezclas de los tratamientos fue de 7.0, lo cual ayudó a una buena generación de biogás estando dentro del rango neutro, tal como indica Castro et al (2020), donde en su investigación evalúa la influencia del pH inicial, teniendo mejores resultados con un pH inicial de 7.5, a comparación de una mezcla con un pH inicial de 6.8. Asimismo destaca una buena relación entre estiércol y residuos de cosecha de 50 % en ambos sustratos, frente a mezclas con mayor cantidad de estiércol, lo cual se relaciona con el biogás producido, ya que mientras más se incrementaba la cantidad de residuos de verduras se obtuvieron mayores resultados.

Según Gutierrez (2024) indica que el rango mesofílico presenta mejores condiciones de manejo, ya que en el intervalo termofílico las bacterias son más sensibles a cambios de temperatura, por lo que la temperatura promedio obtenida para cada tratamiento fue de 31,5 °C, lo que se encuentra dentro de dicho rango termófilo, lo que favorece a la producción de biogás.

El pH en los digestores anaerobios se relaciona con la actividad realizada por las bacterias, el pH normalmente se encuentra entre 6 - 8, con un valor próximo a 7 para la actividad óptima (Gutierrez, 2024).

El biodigestor tipo Bach discontinuo elaborado resulta una opción viable para la evaluación de producción de biogás empleando distintos sustratos, como lo demuestra Valdéz y Lozano (2023), el cual empleó biodigestores de 80 L, obteniendo hasta 837,1 L de biogás acumulado empleando estiércol de cuy y de vaca.

Con respecto al poder calorífico del biogás, se obtuvieron valores promedio de hasta 1 260,9 kcal/m³, lo cual se asemeja a lo reportado por Amusquivar (2015) que reporta un valor de 1 857,3 kcal/m³. Estos valores son inferiores a los obtenidos por Palacios (2020) que obtuvo 6 527,3 kcal/m³, esto debido a la presencia de vapor de agua y pureza del biogás obtenido, asimismo hay que indicar que Palacios et al. Emplearon un biodigestor de carga continua, lo que pudo mejorar la calidad de biogás obtenido y favorecido a la hora de hacer la prueba de poder calorífico.

Lipaca (2022) reporta 958 kcal/m³ de poder calorífico del biogás en su investigación, lo cual se asemeja a los resultados obtenidos, comparándolo con el poder calorífico del GLP, indicando el biogás producido es funcional para cualquier proyecto rural o urbano.

Como indica Amusquivar (2015) un metro cúbico de biogás equivale a 200 L de gas natural y 80 L de gas propano, que es el gas convencional utilizado en los hogares, ya que según el Instituto para la diversidad y ahorro de energía (2014) el gas natural tiene un poder calorífico de 9 228 kcal/m³ y el gas propano 20 484 kcal/m³, siendo el biogás un combustible de bajo poder calorífico comparado frente a los otros gases que se emplean habitualmente.

A pesar de que el biogás posea un menor poder calorífico en comparación, resulta una alternativa sostenible en un entorno agrícola, como lo indica Vasques et al (2023), donde evalúa la eficiencia energética del biogás, pudiendo sustituir de forma anual 131 cilindros de GLP o 25,76 MWh de energía, haciendo énfasis en la adición de estiércol porcino como inóculo para la digestión de residuos de cosecha cacaoteras.

Asimismo, Cueva y Becerra (2019) obtuvieron 1,84 m³ de biogás, el cual era suficiente para abastecer a 4 viviendas mediante un generador eléctrico de 2 kW, lo que apoya a la viabilidad de emplear el biogás como fuente de energía en zonas agrícolas y ganaderas, empleando los residuos orgánicos para generar energía limpia.

Debido a la poca cantidad de biogás obtenida no se logró hacer hervir el agua en la prueba de poder calorífico, sin embargo, podemos hacer una relación con lo reportado por Amusquivar (2015), que necesitó

entre 90 y 100 L para lograr hervir 1 L de agua. Con los datos obtenidos podemos indicar que se hubiera necesitado 90 L de biogás para lograr hervir la misma cantidad de agua.

CONCLUSIONES

- El efecto del uso de estiércol porcino y residuos de verduras es eficiente para la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica de esos sustratos en distintas concentraciones. Las concentraciones empleadas en los tratamientos tuvieron influencia significativa en la generación de biogás.
- Al establecer la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras; se evidencia una diferencia significativa en función al volumen producido de biogás, siendo el tratamiento 3 compuesto por 12 kg de estiércol porcino y 6 kg de residuos de verduras el de mayores resultados con un promedio de 13,000 L de biogás.
- Se identificó la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras; donde se evidencia una diferencia significativa en función a un mayor poder calorífico biogás, siendo el tratamiento 3 compuesto por 12 kg de estiércol porcino y 6 kg de residuos de verduras el de mayores resultados con un promedio de 1 260,867 kcal/m³.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el experimento ajustando la relación de C/N inicial, asimismo de emplear un entorno de ambiente más controlado.
- Se recomienda evaluar el uso de otros sustratos como restos de poda y residuos agrícolas con el estiércol porcino.
- Se recomienda analizar el residuo líquido final obtenido del proceso experimental para su aplicación como fertilizante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, C. y Núñez, A. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor para la obtención de biogás optimizando una mezcla de sustratos de origen animal de cuyes, ganado vacuno y ganado porcino procedentes del fundo de la Universidad Católica de Santa María* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Católica de Santa María], Majes, Arequipa.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12266>

Amusquivar, C. (2015). *Evaluación de la producción de biogás, bioabono y biol en un Biodigestor Chino Mejorado, en zonas andinas.*

Arroyo, G. (2024). *Evaluación del proceso de biodegradación en un sistema prototipo a nivel laboratorio, de residuos textiles de algodón como potencial sustrato de biodigestión* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de San Agustín].
<https://hdl.handle.net/20.500.12773/18106>

Avalos, V. (2012). Energías Renovables y las oportunidades del Biogás en Chile. *Seminario Energías Renovables para el Sector Agroalimentario: Las oportunidades del biogás.* Ministerio de Energía, Gobierno de Chile.

Barreda del Carpio, J., Ancco, M., Núñez, A., Aguirre, C., Tejada, K. y Pacheco, G. (2022). Co-Digestión de Tres Tipos de Estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para Obtener Biogás en el Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 174-181.
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.457>

Barrena, M., Cubas, F., Gosgot, W., Ordinola, C., Rascón, J., y Huanes, M. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725-734.
<https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>

Belsazurri, L. (2024). *Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Científica del Sur].
<https://hdl.handle.net/20.500.12805/3489>

Blanco, D. (2009). *Tratamiento biológico aerobio-anaerobio-aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost* [Tesis para optar el Grado de Doctor, Universidad de León].
<https://buleria.unileon.es/handle/10612/1066?show=full>

Cañarte, S., Intriago, R. y Chuez, I. (2023). *Prototipo de biodigestor para generación de biogás a través de excremento bovino – porcino*,

parroquia Santa Rita-Chone [Tesis para obtener título profesional, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5330>

Carhuaricra, F., Cruz, L. y Quispe, B. (2023). *Estudio de factibilidad de la producción de biogás con residuos agrícolas para la generación de electricidad en la ciudad de Ayabaca* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional del Callao].
<https://hdl.handle.net/20.500.12952/8188>

Castillo, D. y Tito, C. (2019). Obtención de biogas a partir de excremento de cuy en condiciones ambientales. *Ciencia & Desarrollo*, (13), 84-91.
<https://doi.org/10.33326/26176033.2011.13.284>

Castro, R., Solís, M., Chicatto, V. y Solís, A. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 36(3), 529–539.
<https://doi.org/10.20937/RICA.53545>

Cendales, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable* [Tesis para optar el

Grado de Magister, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7658>

Cirino, C. y Reyes, M. (2023). *Producción de biogás por codigestión anaerobia de banano rechazo con estiércol de ganado vacuno en un CSTR a temperatura óptima mesofílica* [Tesis para obtener título profesional, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67195>

Comun, M. (2024). *Eficiencia de un biorreactor implementado con tecnologías de control para la producción de biogás y biol en la Granja Común* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14567>

Córdova, C. (2023). *Reutilización de residuos sólidos urbanos para la producción de energía* [Tesis para obtener título profesional, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/111730>

Córdova, A. (2023). *Generación de energía eléctrica a partir de la obtención de biogás del camal municipal de Chimbote* [Tesis para obtener título profesional, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/112485>

Cueva, R. y Becerra, L. (2019). *Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica domiciliar a partir del biogás producido por el estiércol de ganado vacuno en el anexo de San Isidro* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/3247>

Duran, T. y Rojas, L. (2022). *Producción de biogás a partir de la mezcla del estiércol del ganado ovino con microorganismos eficientes a escala de un biodigestor, para su utilización como fuente de energía renovable, en las zonas ganaderas del distrito de Ninacaca* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2626>

Durazno, A. (2018). *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789>

Gosgot, W., Rascón, J.; Barrena, M., Ordinola, C., Oliva, M. y Montenegro, Y. (2021). Producción de biogás a partir de estiércol de gallina, utilizando colectores solares. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 44-49. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.768>

- Gutierrez, R. (2024). *Producción de biogás y abono líquido mediante la digestión anaeróbica del exudado de cacao* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Científica del Sur].
<https://hdl.handle.net/20.500.12805/3483>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Editorial McGraw Hill. <https://n9.cl/l0j5h>
- Lazarte, J. (2016). *Implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y abono orgánico a partir del estiércol de ganado en la Hacienda Los Olivos* [Tesis para optar el Grado de Bachiller, Universidad Alas Peruanas].
- Licapa, R. (2022). *Comparación del poder calorífico y el rendimiento térmico del biogás producido a partir de residuos sólidos orgánicos y el gas licuado de petróleo*. En M. M. Larrondo Petrie, J. Texier, A. Pena, & J. A. S. Vilorio (Eds.), 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Lijarza, Y. (2022). *Producción de biogás a partir de la cáscara del fruto del cacao (*Theobroma cacao L.*) a nivel de laboratorio* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/2352>.

Loaiza, M. y Alarcón, F. (2020). *Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Privada de Tacna].
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/1579>

Lozano, J. y Gonzales, D. (2023). Propuesta de un sistema generador de energía eléctrica con biogás producido por estiércol de cerdos [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional de Jaén].
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/611>

Lozano, Y. (2019). *Optimización de la codigestión anaerobia para mejorar la producción de biogás* [Tesis para optar el Grado de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/6312>

Lucero de la Cruz, Y. (2019). *Proyección de la capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo], Lambayeque.
<https://hdl.handle.net/20.500.12893/4944>

Martí, J. (2019). Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación

- Ministerio del ambiente (MINAM). (2022). *Indicadores de RRSS año 2021* [Conjunto de datos]. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos. <https://n9.cl/mvvpf8>
- Montalbán, A. (2020). *Obtención de biogás por digestión anaerobia a partir de la fermentación de tres mezclas de sustratos orgánicos en la comunidad de la Huaquilla* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/822>
- Montenegro, K., Rojas, A., Cabeza, I. y Hernández, M. (2016). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Revista ION*, 29(2), 23-37. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016002>
- Navarro, R. (2020). *Obtención de biogás a partir de residuos agrícolas y de producción de biosíesol* [Tesis de pregrado, Universidad de la Laguna], España.
- Oblitas, N. y Ferrer, A. (2019). *Diseño de un sistema de uso de residuos ganaderos para generar energía eléctrica en el caserío Santiago Villacorta* [Tesis para obtener el título profesional, Universidad César Vallejo], Trujillo, Perú.

- Osejos, M., Jaramillo, J., Merino, M., Quimis, A. y Alcivar, J. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709-733. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i1.788>
- Pacco, C. (2021). *Propuesta de diseño de una planta de biodigestión para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos del relleno sanitario de Chilla - Juliaca* [Tesis de Pregrado Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16729>
- Palacios, L. (2020). *Calorific value of biogas obtained by cavia porcellus biomass*. *Chemical Engineering Transactions*, 80, 271-276. <https://doi.org/10.3303/CET2080046>
- Paucar, L. (2015). *Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor usando estiércol de codorniz de la Granja V.A. VELEBIT S.A.C. ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2153>
- Quispe, N. (2022). Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta [Tesis para obtener título profesional,

Universidad Científica del Sur].

<https://hdl.handle.net/20.500.12805/3234>

Román, V. (2021). *Producción de metano de la excreta animal para el aprovechamiento energético en la región altoandina* [Tesis para optar el Grado de Doctor, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/18341>

Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. y Janssen, R. (2008). *Biogas handbook*. Editorial Al Seadi.
<http://www.sdu.dk>

Severo, D. (2024). *Propuesta de implementación de un biodigestor para el tratamiento y reaprovechamiento de heces caninas del distrito de Chupaca* [Tesis para optar el grado de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/6240>

Téllez, C. (2008). *Diseño y selección de elementos para una planta de biogás* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Austral de Chile].
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfci275d/doc/bmfci275d>

Toro, R. (2020). *Proyecto de gestión para la implementación de celdas fotovoltaicas y generación eléctrica limpia aplicada a colegios*

educativos estatales [Tesis para obtener título profesional, Universidad San Ignacio de Loyola], Lima.
<https://hdl.handle.net/20.500.14005/1882>

Valdez, B. (2016). *Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del parque zoológico de Huachipa* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2009>

Valdéz, Y. y Lozano, D. (2023). *Producción de biogás mediante combinación de estiércol vacuno y de cuy en la región Moquegua* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Continental].
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/14035>

Valdivia, A. (2023). Análisis de viabilidad técnica, ambiental y económica de una planta de digestión anaeróbica de los residuos sólidos municipales en el distrito de Alto Selva Alegre [Tesis para obtener título profesional, Universidad de Ingeniería y Tecnología].
<https://hdl.handle.net/20.500.12815/325>

Varnero M. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile, Ministerio de Energía. <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Vásquez, P., Hidalgo, W., Espinosa, K. y Velastegui, E. (2023). Eficiencia energética del biogás CH₄ producido con desechos de cosechas cacaoteras en el cantón la Maná como una alternativa de energía renovable. *Universidad y Sociedad: Hacia un proceso de mejora continua*, 15(5), 304-314.
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4079>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras sobre la producción de biogás en la ciudad de Tacna?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál es la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para una mayor generación de volumen de biogás mediante un biodigestor casero?</p> <p>¿Cuál es la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para obtener un mayor poder calorífico del biogás?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar el efecto del estiércol porcino y residuos de verduras sobre la producción de biogás en la ciudad de Tacna</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para una mayor generación de volumen de biogás mediante un biodigestor casero.</p> <p>Determinar la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras para obtener un mayor poder calorífico del biogás.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El estiércol porcino y residuos de verduras tiene efecto sobre la producción de biogás.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La determinación de la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras permite una mayor generación de volumen de biogás mediante un biodigestor casero.</p> <p>La determinación de la proporción óptima de estiércol porcino y residuos de verduras permite un mayor poder calorífico del biogás.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Estiércol porcino y residuos de verdura</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Volumen de biogás</p> <p>Poder calorífico de biogás</p>	<p>kg</p> <p>Litro de biogás</p> <p>Kcal/m³</p>	<p>Tipo de investigación: Experimental</p> <p>Nivel de investigación: Aplicada</p> <p>Diseño de la investigación: Diseño completamente aleatorio (DCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones</p> <p>Población y muestra de la investigación: Se empleó 135 kg de estiércol porcino y 27 kg de residuos de verduras.</p> <p>Procesamiento y análisis de los datos: IBM SPSS Statistics 25.</p>

Anexo 2

Resultados de la temperatura durante el proceso de biodigestión

Días transcurridos	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	26,3	26,4	26,4	26,4	26,6	26,5	26,4	26,2	26,0
5	26,5	26,3	26,4	26,0	25,7	25,9	25,4	25,9	26,3
10	25,0	26,3	26,4	26,2	26,1	25,0	25,3	26,6	26,9
15	28,0	29,0	27,0	26,0	26,8	25,0	27,4	27,5	27,1
20	27,0	28,0	28,5	26,4	28,4	27,4	27,5	28,0	28,2
25	29,2	29,4	29,0	29,8	29,7	30,0	30,0	30,5	29,8
30	33,0	33,3	33,5	32,4	32,6	33,1	34,2	35,3	35,1
35	38,0	37,0	38,0	39,5	39,2	39,3	39,4	39,3	39,5
40	39,0	41,0	42,0	41,0	41,0	42,0	45,0	42,0	44,0
45	35,0	36,0	34,0	36,0	37,0	36,4	35,4	35,8	36,0
55	31,0	32,0	31,0	32,0	33,0	32,3	32,0	32,6	32,8
60	28,0	29,0	28,3	27,5	28,2	29,0	28,5	27,5	28,4

Anexo 3

Resultados del pH durante el proceso de biodigestión

Días transcurridos	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
10	6,5	6,5	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
15	6,5	6,5	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
20	6,5	6,5	6,5	6,0	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5
25	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	6,0	6,0	6,5	6,5
30	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,0	6,5
35	6,0	6,0	6,5	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5
40	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,0	6,5
45	6,5	6,0	6,5	6,0	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
55	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	7,0	6,5	6,5
60	7,0	7,0	6,5	7,0	6,5	7,0	7,0	7,0	7,0

Anexo 4

Resultados de la producción de biogás durante el proceso de biodigestión

Días transcurridos	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,52	0,52	0,52	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	1,56	1,04	2,08	2,08	1,56	2,08	1,04	1,04	1,56
40	4,68	4,16	4,68	4,16	4,68	4,68	3,64	4,16	4,68
45	5,72	6,76	6,24	5,72	6,76	7,28	7,28	7,80	7,80
55	6,24	7,28	6,76	7,28	9,36	8,84	10,92	10,40	11,44
60	6,76	7,80	7,28	9,36	10,92	10,40	13,00	11,96	14,04

Anexo 5

Pruebas de normalidad y homogeneidad

Tabla 13

Prueba de normalidad para producción de biogás

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T1	0,175	3	.	1,000	3	1,000
T2	0,253	3	.	0,964	3	0,637
T3	0,175	3	.	1,000	3	1,000

Tabla 14

Prueba de homogeneidad para la producción de biogás

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Biogás	0,483	2	6	0,639
	0,375	2	6	0,702
	0,375	2	4,923	0,705
	0,476	2	6	0,643

Tabla 15

Prueba de normalidad para el poder calorífico del biogás

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T1	0,191	3	.	0,997	3	0,899
T2	0,253	3	.	0,964	3	0,637
T3	0,263	3	.	0,955	3	0,593

Tabla 16

Prueba de homogeneidad para el poder calorífico del biogás

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	0,045	2	6	0,956
Poder calorífico	0,035	2	6	0,965
	0,035	2	5,898	0,965
	0,044	2	6	0,957

Anexo 6

Panel fotográfico del desarrollo de la investigación

Foto 1

Toma de muestra de estiércol porcino en granja agropecuaria



Foto 2

Construcción de los biodigestores



Foto 3

Llenado con los sustratos en los biodigestores



Foto 4

Unidades experimentales



Foto 5

Medición de pH de las mezclas en los biodigestores



Foto 6

Medición de la temperatura del biodigestor



Foto 7

Medición volumétrica del biogás obtenido



Foto 8

Quema de biogás para calcular el poder calorífico



Anexo 7

Resultados del análisis de laboratorio de los sustratos



INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21665

N° Id.: 0000121328

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- | | |
|------------------|---|
| 1.- RAZON SOCIAL | : MAMANI ARCE JHON JENRY |
| 2.- DIRECCIÓN | : ALFONSO UGARTE 3RA ETAPA MZ L1 LT 39 , GAL, TACNA |
| 3.- PROYECTO | : ANALISIS |
| 4.- PROCEDENCIA | : GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA, TACNA, TACNA |
| 5.- SOLICITANTE | : MAMANI ARCE JHON JENRY |
| 6.- PRODUCTO | : Fertilizante |

II.- DATOS DEL SERVICIO

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 1.- ORDEN DE SERVICIO N° | : 0000004257-2024-0000 |
| 2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME | : 2024-08-20 |

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- | | |
|----------------------------|---|
| 1.- MUESTREADO POR | : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA |
| 3.- NÚMERO DE MUESTRAS | : 1 |
| 4.- FECHA DE RECEPCIÓN | : 2024-08-02 |
| 5.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN | : Las muestras llegaron a temperatura ambiente |
| 6.- PERÍODO DE ENSAYO | : 2024-08-02 al 2024-08-20 |

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág. 1 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chelaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+51) 717 5822
Cel.: 977 515 129

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2
Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+51) 713 0636
Cel.: 937 111 379

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+51) 616 843
Cel.: 952 361 941

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+51) 542 335
Cel.: 952 617 762

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+51) 719 0636
Cel.: 961 768 828

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21665

N° Id.: 0000121328

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.	SIN ACREDITACION CHALACA
Sólidos Volátiles	Protocolo de Métodos de Análisis - 2007-Zagal & Sadzawka	Determinación Sólidos Volátiles	SIN ACREDITACION CHALACA
Preparación de Fertilizante	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, ítem 7.1.1 (Fertilizante)	Preparación Muestra Fertilizante	SIN ACREDITACION CHALACA
Humedad	NOM-021-RECNAT-2000, AS-05 (Validado Fuera del Alcance)	Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis - Determinación de Humedad	SIN ACREDITACION CHALACA
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno)	MVAL-AGR-022. (Validated - Modified)	Calculated by ratio between TOC: NOM-021-RECNAT-2000, AS-07 (Validated Out of Scope) and Nitrogen: ISO 16634-2: 2016	IAS TL-833 CHALACA

NOM : Norma Oficial Mexicana

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

APHA : American Public Health Association

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21665

N° Id.: 0000121328

V.- RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-24-65356
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				ESTIERCOL PORCINO
DESCRIPCIÓN ^(A)				ESTIERCOL PORCINO DE GRANIAS DE CERDOS
TIPO DE PRODUCTO ^(A)				Fertilizante Organico
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				Sustrato
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				01-08-2024
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				01-08-2024
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Humedad (**)	%	0,05	0,10	68,90
Preparacion de Fertilizante (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno) ²	no unidad	NA		15,1
Sólidos Totales (**)	mg/L	2,00	5,00	175,00
Sólidos Volátiles (**)	%	0,100	0,300	17,128

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21662

N° Id.: 0000121325

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZON SOCIAL : MAMANI ARCE JHON JENRY
2.- DIRECCIÓN : ALFONSO UGARTE 3RA ETAPA MZ L1 LT 39 , GAL, TACNA
3.- PROYECTO : ANALISIS
4.- PROCEDENCIA : GREGORIO ALBARRACIN LANCHIPA, TACNA, TACNA
5.- SOLICITANTE : MAMANI ARCE JHON JENRY
6.- PRODUCTO : Fertilizante

II.- DATOS DEL SERVICIO

- 1.- ORDEN DE SERVICIO N° : 0000004257-2024-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2024-08-20

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREADO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
3.- NÚMERO DE MUESTRAS : 1
4.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2024-08-02
5.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : Las muestras llegaron a temperatura ambiente
6.- PERÍODO DE ENSAYO : 2024-08-02 al 2024-08-20

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág.1 de 3

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 717 5802
Cel.: 977 515 129

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2
L1 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E L1 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 849
Cel.: 952 961 941

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G L1 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 952 617 762

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A L1 29,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 718 0636
Cel.: 961 788 828

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21662

N° Id.: 0000121325

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.	SIN ACREDITACION CHALACA
Sólidos Volátiles	Protocolo de Métodos de Análisis - 2007-Zagal & Sadzawka	Determinación Sólidos Volátiles	SIN ACREDITACION CHALACA
Preparación de Fertilizante	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, ítem 7.1.1 (Fertilizante)	Preparación Muestra Fertilizante	SIN ACREDITACION CHALACA
Humedad	NOM-021-RECNAT-2000, AS-05 (Validado Fuera del Alcance)	Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis - Determinación de Humedad	SIN ACREDITACION CHALACA
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno)	MVAL-AGR-022. (Validated - Modified)	Calculated by ratio between TOC: NOM-021-RECNAT-2000, AS-07 (Validated Out of Scope) and Nitrogen: ISO 16634-2: 2016	IAS TL-833 CHALACA

NOM : Norma Oficial Mexicana

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

APHA : American Public Health Association

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-21662

N° Id.: 0000121325

V.- RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-24-65350
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				RESIDUOS ORGANICOS
DESCRIPCIÓN ^(A)				RESIDUOS DE VERDURAS DOMICILIARIAS
TIPO DE PRODUCTO ^(A)				Fertilizante Organico
SUB TIPO PRODUCTO ^(A)				Compost
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				02-08-2024
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA) ^(A)				02-08-2024
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Humedad (**)	%	0,05	0,10	84,32
Preparacion de Fertilizante (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO
Relación C/N (Carbono y Nitrógeno) ²	no unidad	NA		16,6
Sólidos Totales (**)	mg/L	2,00	5,00	95,00
Sólidos Volátiles (**)	%	0,100	0,300	9,720

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

^(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"