

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) Huánuco - 2025”

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

AUTOR: Domínguez Rosales, Samuel Julian

ASESORA: Campos Ríos, Bertha Lucila

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Biotecnología ambiental

Disciplina: Biotecnología ambiental

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71610570

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 19939411

Grado/Título: Magister en educación

gestión y planeamiento educativo

Código ORCID: 0000-0002-5662-554X

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Vásquez Baca, Yasser	Título oficial de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697X
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 13:00 horas del día 10 del mes de diciembre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

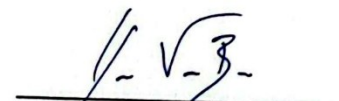
Nombrados mediante la **Resolución N° 2704-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) Huánuco - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **DOMINGUEZ ROSALES, SAMUEL JULIAN** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO** Por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **1.3** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47)

Siendo las **14:00** horas del día **10** del mes de **DICIEMBRE** del año **2025**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente


Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Secretario


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES, de la investigación titulada "EFICACIA DE LA CATÁLISIS CON LECHE VACUNA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE CUY (CAVIA PORCELLUS) HUÁNUCO - 2025", con asesor(a) BERTHA LUCILA CAMPOS RÍOS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2681-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 16 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 19 de noviembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

155. Dominguez Rosales, Samuel Julian.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	16%	6%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	es.scribd.com	1%
	Fuente de Internet	
4	www.cientificotecnologico.esy.es	1%
	Fuente de Internet	
5	derivadoslacteos.com	1%
	Fuente de Internet	



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



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

DEDICATORIA

A Dios, por dirigir mi vida y estar presente en toda mi etapa de formación profesional.

A mi señora madre, Senofia Rosales, por inspirarme cada día a seguir adelante y enseñarme a nunca rendirme.

A mi hermano, Arturo Dominguez, por ser el ejemplo a seguir y la motivación para alcanzar mis metas a lo largo de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de Huánuco, mi alma mater, por brindarme las instalaciones y profesionales para instruirme a lo largo de mi carrera profesional.

A mis queridos hermanos, por ser el ejemplo e inspiración para lograr mis metas trazadas.

A mi asesor de tesis, por la amabilidad de brindarme sus conocimientos, en la ejecución de mi proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	24
2.2. BASES TEÓRICAS	26
2.2.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	26
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	60
2.3.1. BIOGÁS	60
2.3.2. BIODIGESTOR	60
2.3.3. ESTIÉRCOL	61

2.3.4. LECHE	61
2.3.5. CATALIZADOR	61
2.3.6. PRODUCCIÓN	61
2.3.7. PROCESO ANAERÓBICO.....	62
2.3.8. BIODEGRADACIÓN.....	62
2.4. HIPÓTESIS	62
2.5. VARIABLES.....	62
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	62
2.5.2. VARIABLE DE INDEPENDIENTE	62
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	63
CAPÍTULO III.....	64
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	64
3.1.1. ENFOQUE.....	64
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	65
3.1.3. DISEÑO.....	65
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	66
3.2.1. POBLACIÓN	66
3.2.2. MUESTRA.....	67
3.2.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	67
3.2.4. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	70
3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	70
CAPÍTULO IV.....	71
RESULTADOS.....	71
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	71
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	92
CAPÍTULO V.....	93
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	97

ANEXOS.....	104
-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Química del Estiércol de cuy	31
Tabla 2 Características principales de dos procesos básicos para la producción de biogás.....	35
Tabla 3 La composición farmacológica media de la leche según diferentes autores	56
Tabla 4 Enzimas en Relación con la Resistencia a la Temperatura y el Tiempo	59
Tabla 5 Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus)	63
Tabla 6 Coordenadas del proyecto	66
Tabla 7 Análisis de los Resultados Obtenidos Durante la Ejecución del Proyecto.....	71
Tabla 8 Análisis estadístico descriptivo del volumen según tratamientos aplicados.....	72
Tabla 9 Análisis de la Eficacia del volumen promedio de biogás producido según la concentración de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador	73
Tabla 10 Promedio del volumen de biogás producido en función del tiempo y la concentración de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador	74
Tabla 11 Prueba de normalidad de los datos analizados de biogás según los tratamientos con diferentes concentraciones de leche de ganado vacuno como catalizador.....	76
Tabla 12 Estadísticos descriptivos e inferenciales de los parámetros fisicoquímicos y de producción de biogás.....	77
Tabla 13 Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros fisicoquímicos y de producción de biogás.....	78
Tabla 14 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro humedad.....	79
Tabla 15 Comparación de medias de humedad entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey	80

Tabla 16 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro pH	81
Tabla 17 Comparación de medias de pH entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey	82
Tabla 18 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro temperatura	84
Tabla 19 Comparación de medias de temperatura entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey.....	85
Tabla 20 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro presión.....	87
Tabla 21 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro peso	88
Tabla 22 Análisis inferencial del parámetro peso mediante la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0.05$).....	89
Tabla 23 Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro Volumen.....	90
Tabla 24 Análisis inferencial del parámetro volumen mediante la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0.05$).....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 3Etapas de la digestión anaeróbica	33
Figura 2 Esquema de reactor UASB	47
Figura 3 Clasificación de los catalizadores	51
Figura 4 Tendencia del volumen promedio de biogás producido a lo largo del tiempo considerando la leche de ganado vacuno como catalizador	75
Figura 5 Comportamiento del parámetro humedad según los tratamientos experimentales.....	81
Figura 6 Comportamiento del pH según los tratamientos aplicados	83
Figura 7 Variación de la temperatura promedio según tratamientos experimentales.....	86
Figura 8 Variación del peso promedio según los tratamientos experimentales (Prueba HSD de Tukey, $\alpha = 0.05$).....	89
Figura 9 Comportamiento del volumen según los tratamientos experimentales (Prueba HSD de Tukey, $\alpha = 0.05$).....	91

RESUMEN

La investigación titulada “Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), Huánuco – 2025” tuvo como objetivo evaluar el efecto catalítico de la leche de ganado vacuno en la generación de biogás a partir del estiércol de cuy. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo prospectivo, con alcance aplicativo y diseño experimental verdadero, empleando un grupo control y tres grupos experimentales comparables. Se utilizaron biodigestores caseros de 60 litros, cada uno con una mezcla base de 10 kg de estiércol y 30 litros de agua no potable. En los grupos experimentales se incorporaron 3, 4 y 5 litros de leche vacuna como catalizador biológico. Las mediciones se realizaron cada cinco días para evaluar los cambios en la producción de biogás. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, destacando el biodigestor con 5 litros de leche (GE3-CI-C), que alcanzó la mayor producción de biogás entre los días 20 y 25 del proceso. Este comportamiento se asocia al incremento de la temperatura y la humedad, condiciones que favorecen la actividad metanogénica de los microorganismos. En conclusión, la adición de leche vacuna mejora significativamente la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, incrementando el volumen de biogás producido y reduciendo el tiempo de fermentación. Por tanto, la leche vacuna se considera un catalizador biológico eficaz para optimizar la producción de biogás a partir de estiércol de cuy en sistemas biodigestores de bajo costo.

Palabras clave: Biogás, Estiércol, Eficaz, Catalizador, Biodigestor, Catálisis.

ABSTRACT

The research titled “Efficacy of Cattle Milk Catalysis for Biogas Production from Guinea Pig (*Cavia porcellus*) Manure, Huánuco – 2025” aimed to evaluate the catalytic effect of cattle milk on biogas generation from guinea pig manure. The study followed a quantitative, prospective, and applied approach, using a true experimental design with a control group and three comparable experimental groups. Homemade biodigesters with a capacity of 60 liters were used, each containing a base mixture of 10 kg of manure and 30 liters of non-potable water. The experimental groups received 3, 4, and 5 liters of cattle milk as a biological catalyst. Measurements were taken every five days to monitor biogas production. The results revealed significant differences among treatments, highlighting the biodigester with 5 liters of milk (GE3-CI-C), which achieved the highest biogas yield between days 20 and 25 of the process. This outcome is associated with increased temperature and humidity levels, which favor the methanogenic activity of microorganisms. In conclusion, the addition of cattle milk significantly enhances the efficiency of the anaerobic digestion process by increasing the biogas yield and reducing fermentation time. Therefore, cattle milk can be considered an effective biological catalyst for optimizing biogas production from guinea pig manure in low-cost biodigester systems.

Keywords: Biogas, Manure, Effective, Catalyst, Biodigester, Catalysis.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen innumerables problemas ambientales que enfrenta a diario el ambiente donde vivimos, uno de los más latentes es la emisión de gases de efecto invernadero, debido a esa condición este proyecto describe como problemática principal la emisión directa del gas metano producida en los criaderos de cuy, este proyecto se enfoca específicamente en la captura de los gases producidas a por el estiércol de cuy en biodigestores de modelo casero y en acelerar la producción de gas añadiendo leche de ganado vacuno como catalizador y de esa manera ayudar con la fermentación y a la misma vez incentivar a los criadores del cuy optar con la alternativa de aprovechar el gas.

El proyecto fue ejecutado en la ciudad de Huánuco entre los meses abril, mayo y junio en biodigestores anaeróbico de modelo casero donde se puso a biometanizar al estiércol de cuy mezclado con agua no potable en el grupo control y por otro lado en el grupo experimental añadir estiércol de cuy mezclado con agua no potable y leche fresca de ganado vacuno.

La leche de ganado vacuno se usó como catalizador para mejorar la fermentación y de esa manera disminuir el tiempo de producción del biogás. El biogás, es un conjunto de gases producidos a partir de la descomposición de materia orgánica si a esta materia se le administra en un ambiente cerrado como en el caso de este proyecto, este gas puede ser muy beneficioso para reemplazar al gas licuado de petróleo. Sin embargo, esta investigación tuvo como objetivo, disminuir el tiempo de producción de biogás añadiendo a la leche de ganado vacuno como catalizador en un ambiente anaeróbico concentrado con estiércol de cuy.

En las conclusiones se encontraron diferencias significativas respecto al volumen de gas capturado en las cámaras de almacenamiento del grupo control y el grupo experimental a las 7 semanas de fermentación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel internacional, la búsqueda de tecnologías limpias para la gestión de residuos orgánicos y la producción sostenible de energía ha impulsado el desarrollo de procesos biotecnológicos catalizados por agentes naturales. Los catalizadores biológicos, como enzimas, bacterias y productos orgánicos derivados de animales, han demostrado ser alternativas ecológicas frente a los catalizadores químicos convencionales, que suelen generar subproductos tóxicos o no biodegradables (Zhou et al., 2021).

En este contexto, los biodigestores anaerobios se consolidan como sistemas sostenibles que transforman residuos orgánicos en energía y biofertilizantes, pero su eficiencia depende en gran medida del tipo de catalizador utilizado durante el proceso (Li et al., 2020). Sin embargo, la aplicación de catalizadores biológicos naturales, como la leche vacuna, aún presenta una brecha científica significativa, especialmente en su capacidad para optimizar la actividad microbiana y acelerar las reacciones metabólicas en biodigestores de bajo costo y escala doméstica.

En el contexto nacional peruano, el desarrollo de biodigestores caseros ha sido promovido como estrategia de sostenibilidad ambiental en comunidades rurales; no obstante, la mayoría de estos sistemas carece de estudios científicos que evalúen la influencia de catalizadores biológicos autóctonos en la eficiencia del proceso (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023). Investigaciones locales se han centrado principalmente en la optimización de variables fisicoquímicas (pH, temperatura y tiempo de retención), pero no en la incorporación de bioactivadores naturales que potencien la degradación del sustrato (Huamán & Quispe, 2021).

Esta carencia limita el desarrollo de tecnologías adaptadas al entorno rural peruano, donde el acceso a reactivos industriales es limitado y donde existen abundantes recursos biológicos de origen animal que podrían cumplir un rol catalítico natural.

En el ámbito local de Huánuco, la generación de residuos pecuarios, especialmente del estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), constituye una problemática ambiental persistente. La disposición inadecuada de estos residuos produce malos olores, proliferación de vectores y emisiones de gases contaminantes. A pesar del potencial de este material para procesos biotecnológicos, no existen estudios sistemáticos que analicen la eficacia de catalizadores biológicos como la leche vacuna dentro de biodigestores caseros adaptados a las condiciones climáticas y altitudinales de la región. Esta brecha científica local impide determinar el impacto real de los catalizadores naturales sobre la eficiencia del sistema y su posible contribución a la sostenibilidad ambiental y energética rural.

Por tanto, la presente investigación se justifica en la necesidad de evaluar la eficacia catalítica de productos biológicos locales como la leche vacuna en biodigestores experimentales que utilicen estiércol de cuy, con el fin de generar evidencia científica que respalde su aplicación práctica y sostenible en contextos rurales de Huánuco y, potencialmente, en regiones similares del país.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la eficacia de la catálisis con leche de ganado vacuno para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*)?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuál es el volumen promedio del biogás producido a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador?

¿Cuál es la concentración más eficaz de la leche de ganado vacuno como catalizador para la producción de biogás?

¿Cuál es el tiempo con mayor producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Probar la eficacia de la catálisis con leche de ganado vacuno para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer el volumen promedio del biogás producido a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

Determinar la concentración más eficaz de la leche de ganado vacuno como catalizador para la producción de biogás.

Estimar el periodo de tiempo con mayor producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación a realizar aportará conocimiento a la población sobre los beneficios que les traerá consumir un gas limpio (biogás) producido solamente en base a una materia prima que es el estiércol de cuy, es decir darle un mejor uso al estiércol ya que este tipo de residuo se genera en casi toda las localidades, mayormente en gran cantidad en las grandes industrias, tomando en cuenta que el estiércol es el causante de gases de efecto invernadero como lo es el amoníaco y el metano, en menor proporción este no afecta mucho a este proceso pero si al estiércol que generan las industrias más las granjas familiares pues afecta gravemente de forma negativa al efecto invernadero, es imposible dejar de realizar una actividad económica como lo es la ganadería un ingreso improporrogable que generan ingresos económicos y también proveen de alimento a la población.

La investigación busca aprovechar al máximo este residuo orgánico usándolo como un biocombustible, minimizando el uso de otras fuentes como

lo son la leña, paja, etc. que son las usadas comúnmente, que también son una fuente de contaminación ambiental mediante la emisión de humo hacia la atmósfera. El uso del estiércol como abono es una buena opción, pero el hecho de transformarlo en un biocombustible que compensará en algo la emisión de contaminantes que genera el estiércol por sí mismo es una mejor opción. Muy aparte que contando ya con este biogás disminuirá el porcentaje de deforestación de árboles que se realiza muchas veces con fines de usar esta madera como combustible opcional. Las ventajas del uso de un biocombustible son varias entre ellas que se pueden producir localmente, en sus propias casas y no les conlleva mucha inversión, también reducen los contaminantes de dióxido de carbono y el dióxido de azufre.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio está limitado a la producción y caracterización del biogás, pese a que mediante el uso del biodigestor también se producirá abono orgánico y el biol, sin embargo, mi estudio se limita a trabajar solo en biogás estudiarlo con más detalle y conocer todo el proceso de producción ya que el biol conlleva aplicar procesos extras para ser producido y sus componentes también presentan diferentes características. En lo que respecta a la materia prima a usar este estudio se limita a usar el estiércol de cuy, pese a que la zona es medianamente ganadera y se crían distintas especies de animales como lo son la vaca, conejo, pollos, etc. Solo tomaré el estiércol de cuy para el presente estudio.

En lo que concierne a la limitación de los recursos, considero como una limitación el recolectar y almacenar la materia prima ya que para evitar que este se mezclen con el estiércol de otros animales se deberá separar al cuy de los demás animales en infraestructuras que se deberán construir en cada casa en la que se instalará el biodigestor, otra limitación será que esta especie estando ya aislada de los demás animales se deberá hacer la recolección del estiércol de cuy a diario antes que se mezcle con la comida que se les dará a diario, para evitar que la materia prima a usar tenga una modificación en su composición y afecte el proceso de producción del biogás. La limpieza a diario

del lugar donde estén estos animales es algo trabajoso, ya que tomará tiempo, considero esto como una limitación más para llevar a cabo el presente estudio.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación presenta características que los hacen viables, en primer lugar, se cuenta con la información suficiente y a la vez confiable para llevar a cabo el presente estudio, se cuenta con el apoyo de la población para poder realizar la instalación de estos biodigestores que producirán el biogás en distintos domicilios, la población aprueba y ve con buenos ojos el presente estudio que se realizará. Otra razón que hace viable este proyecto es que la inversión monetaria para la instalación de los biodigestores no conlleva mucho gasto ya que para la construcción de estos biodigestores se usará material reciclado, en lo único que se invertirá será en la adaptación de estos materiales a biodigestor pero que no será muy elevado y se encuentra dentro de mis posibilidades costear este proyecto.

La obtención de la materia prima como lo será el estiércol está a mi acceso ya que la mayoría de las viviendas se encuentra criando este animal con diversos fines, y en todo caso si no es suficiente se cuenta con una pequeña granja en la ciudad que nos facilitará el ingreso a esta y nos permitirá extraer el estiércol que consideremos suficiente para la producción de biogás. En cuanto al catalizador a usar también me es accesible adquirirla ya que cuento con familiares que crían vacas lo cual me permitirá tomar la cantidad que considere pertinente para poder llevar a cabo con satisfacción el proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Durazno (2020), en su proyecto de tesis “evaluación de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en procesos de biodigestores.” El **objetivo** es evaluar la producción de biogás a partir de estiércol de vaca y cerdo en la planta de producción de biodigestores de la escuela Yumagcay. En la parte **metodológica**, el proceso experimental se conformó un biodigestor de forma cilíndrica a partir de una producción escalonada con un volumen de carga de 233 litros, el porcentaje de la capacidad de carga de un biodigestor fue 65 con 151,42 litros mezclados en una relación estiércol agua 1 a 1; se analizaron varias variables relacionadas con el proceso de digestión anaerobia del estiércol con diferencias significativas: temperatura ambiente, tiempo de residencia, pH, presión y tasa de producción de biogás. Los **resultados** del período de 50 días para cada tipo de fertilizante determinaron producir 48,8 litros y 65,9 litros de biogás para estiércol de ganado vacuno y porcino a temperaturas ambiente promedio de 14,27 °C y 14,53 °C y una presión de 12 psi; 15,2 psi en todas las direcciones. Se **concluyó** que la producción de biogás fue posible con una carga del 65% de la capacidad del biodigestor utilizando una mezcla con una relación estiércol y agua de 1 a 1, y la mayor producción de biogás porcino se registró a igual volumen durante 30 días. 14,4 ° C, 18,5 litros de biogás disminuyó en 40 días, y la producción de petróleo en 14,1 ° C y 13,3 litros disminuyó. El máximo recibido fue de 22 psi después de 30 días de digestión y 16 psi después de 40 días de digestión bovina.

Sanabria, Sánchez et. al (2021) en su tesis “producción de biogás por proceso de digestión anaeróbica utilizando sustratos orgánicos (pasto y aserrín) en la localidad de Estelí”, con el **objetivo** de desarrollar

investigaciones sobre la producción de biogás por procesos de digestión anaerobia no controlada en la aplicación y caracterización de diversos sustratos orgánicos como aserrín y pasto. El proceso **metodológico** de la investigación del presente estudio es experimental, descrito según la profundidad del conocimiento y correlacionado según la clasificación de técnicas, y las herramientas se basan en lo siguiente. Registro de producción de biogás y registro de datos, horno eléctrico, medición de temperatura, temperatura, medidores de pH. En primer lugar, se identificaron las principales características del sustrato orgánico resultantes de la caracterización del biogás obtenido en el proceso de conversión, y se realizó un análisis posterior para identificar los efectos del medio ambiente y la disfunción del proceso de metanogénesis del biogás generado en especies de Bach. Los **resultados** del uso de Infostat pueden demostrar que el sustrato orgánico de aserrín es la mejor materia prima. La temperatura promedio, pH, indica que el agente bioextintor está funcionando incorrectamente. Se ha formado un exceso de sustrato de biogás en comparación con el aserrín y la búsqueda termina satisfactoriamente y **concluye** que el biogás producido por la fermentación del sustrato se puede utilizar en hornos convencionales y es una alternativa eficaz en comunidades rurales como fuente de energía estable que funciona con este aceite.

Sáenz & Sarmiento (2021), en su tesis “producción de biogás a partir de sistemas de biodigestión a partir de residuos orgánicos recolectados por la industria en la localidad de Tunja.” Su **objetivo** es identificar y medir productos de biogás utilizando biodigestores de residuos orgánicos en comercios de la localidad de Tunja. La **metodología** tuvo procedimientos a utilizar son cuantitativamente empíricos. Se ha generado un desecho comercial de Tunja a partir de este tipo de instalaciones mediante el uso de biodigestión utilizando desechos de la industria de la localidad de Tunja. Los resultados del biodigestor 1 mostraron que se produjeron 64335,38 cm³ de biogás en 4 meses y 25 días, pero la producción aumentó en 67 días al final con más de 62500 cm³ de biogás. En el biodigestor 2, los **resultados**

mostraron que se formaron 82354,42 cm³ de biogás durante un ciclo de 4 meses y 4 días, la producción de biogás comenzó el día 29 y finalmente se encontró que para el día 137 se habían producido más de 81.500 cm³ de biogás. Los resultados del Biodigestor 3 mostraron 78,076 cm³ formados en 4 meses, ciclo de 4 días, más de 76,000 cm³ en los últimos 10 días. Se ha determinado como **conclusión** que los biodigestores 2 y 3 son más potentes que los biodigestores 1, por lo que pueden ser provocados por el uso de un invernadero para aumentar la temperatura o por el uso de ácidos y residuos; mediante el uso de materiales de biodigestión para la gestión de residuos, el proyecto favorece la sostenibilidad y la biodiversidad.

García & Gómez (2021), en su tesis “evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos por digestión anaerobia del centro de abastecimiento de Bogotá”. Su **objetivo** es evaluar la producción de biogás en función de biodigestor a partir de residuos vegetales disponibles en una instalación de almacenamiento en Bogotá. El proceso **metodológico** de la investigación es experimental y el proyecto se divide en cuatro etapas: el diseño del equipo de disposición de residuos en el centro de abasto de Bogotá, la prueba y montaje del equipo por parte de la empresa de disposición, selección de mezclas por diseño de sustratos en proceso de certificación, control y seguimiento, y finalmente análisis y selección de mezclas con mejores resultados en campo Obtención de biogás y análisis biológicos. Los **resultados** arrojaron que una proporción significativa de biogás obtenido durante la biodigestión y el contenido de metano fue de 69,5 % para la mezcla de vegetales, 67,7 % para la mezcla de frutas y 64,1 % para el control mixto. El análisis estadístico se realizó con un tiempo de retención de 50 días para iniciar el período de metanogénesis para seleccionar el mejor sustrato. Como **conclusión**, se sugirió que es necesario el uso de materiales aislantes para asegurar la temperatura durante el proceso y aumentar la eficiencia, lo que significa que se reducen las pérdidas de calor por las paredes del biodigestor y el ambiente se reduce en más de un 60% frente a la falta de aislamiento, lo que da como resultado una comunidad microbiana armoniosa, aumentando la temperatura en la región mesófila y reduciendo el tiempo

de residencia en ausencia de cambios mayores en el proceso.

Bautista (2022) en su artículo, un “análisis de la producción de biogás a partir de estiércol de cerdo en una granja de agroinporc y producción de biodigestores.” El **objetivo** es analizar los efectos de la temperatura sobre el biogás producido diariamente por el estiércol porcino. La **metodología** tuvo un proceso experimental y se han preparado dos conjuntos de modelos experimentales. por ejemplo, una vez a 35 °C y dos veces a temperatura ambiente media (t media a 26 °C), repita dos veces cada una. Se utilizó como reactor un recipiente de plástico con una capacidad de 6L, y en la tapa se conectó una tubería para recolectar biogás. Los **resultados** que se alcanzaron en el comportamiento del estiércol de cerdo se obtuvieron con un valor promedio de pH igual a 7,58. Un porcentaje de sólidos totales (ST) de 73,52% y una relación carbono-nitrógeno (C/N) de 11,58. Describimos el biogás producido por 10 y 30 días de fermentación a temperatura ambiente ya temperatura ambiente (35°C). La concentración promedio de metano durante 30 días de fermentación a 35°C fue de 69,04% p/py 54,02% p/w a temperatura ambiente. El incremento de biogás a 35°C es un 21,76% superior al de la producción a temperatura ambiente. Se informó la calorimetría en una muestra de biogás con un valor de 990,3 btu/ft³, y también se realizó la caracterización del biol al final de la fermentación. El valor medio de nitrógeno amoniacal es de 56 ppm, el de fósforo de 350 ppm y el de potasio de 570 ppm. Como resultado de las mejores experiencias, el bioextintor tubular fue diseñado para ser utilizado en la alimentación diaria de 42,9 kg de heno, y la vida útil fue de 25 días. Como **conclusión** los cálculos de producción diaria de biogás incluyen la necesidad de cuatro operaciones ligeras durante 8 horas por día para su uso en ginecología en cerdos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Ruiz (2020), en su trabajo, “Diseño de un biodigestor para generar energía a partir de estiércol de vaca para una familia rural en CC.PP. La cantera en el distrito de Pátapo – Chiclayo – Lambayeque.” El **objetivo**

era diseñar un biodigestor para producir biogás a partir de estiércol de vaca para cubrir las necesidades de electricidad y cocción de alimentos de las viviendas de las zonas rurales de CC.PP. La cantera en el distrito de Pátapo – Chiclayo – Lambayeque. El **método** es un diseño experimental, se determina que el Biodigestor a implementar es Tubular tipo Taiwán, el muestreo es tomar varias muestras de las pilas de estiércol de diferentes días, luego el peso aproximado de las muestras es de 2 kg. Se realizaron análisis para obtener porcentaje de materia orgánica, fibra ácido detergente, nitrógeno total por Kjeldahl, materia seca y fósforo total por colorimetría. El **resultado** confirma que el tiempo de retención es entre 10 días y 30 días, el consumo del horno doméstico: 0,10 m³/h, según la investigación in situ, el horno doméstico funciona durante 3 horas/día, consumiremos 0,30 m³ /día de biogás y la demanda diaria es de 0,52 metros cúbicos /cielo. El tesista **concluyó** que la cantidad de estiércol de vaca en el centro poblado es la siguiente: la cantera es de 314 kg/día, las propiedades físicas y químicas son básicamente 7.3 respecto al potencial de hidrógeno, 6% de la materia seca, y el volumen de biogás que se genera al día es de 0.55 m³.

Alva & Leiva (2020), en su trabajo, “Implementación de un sistema de producción de biogás para uso doméstico como recomendación para el manejo adecuado del estiércol de las poblaciones ganaderas en los caseríos de Carrerapampa; San Pablo, Cajamarca - 2019.” Su **objetivo** fue evaluar si las recomendaciones para el manejo adecuado del estiércol bovino son aplicables a la implementación de un sistema de producción de biogás para los hogares ganaderos del corregimiento de Carrerapampa. El método que utilizó el tesista fue el de un diseño experimental, a fin de precisar la mezcla eficaz que se empleará en el biodigestor, se llevaron a cabo dos pruebas con relación de 1 a 4 y 1 a 3, posterior a ello se calcularon las mediciones de los dimensiones del biodigestor en función al requerimiento del biogás, las longitudes fueron: 6.7m con 1.5m de ancho, cuyo volumen utilizado fue el de 3600l de sustrato y respecto al biogás se empleó 1200l, la evaluación del sustrato en relación a sus parámetros físicos y químicos se llevó a cabo durante

cuarenta y cinco días; el diseño de la presente tesis fue experimental. Los **resultados** que obtuvieron fue que la proporción de 1:3 era la adecuada; respecto al proceso de producción del biodigestor presta atención a las necesidades de aceite y a los parámetros (temperatura, pH y OD) que se encuentren estables y favoreció el desarrollo de los procesos metanogénicos para producir la cantidad deseada, finalmente **concluyó** que el sistema sería efectivo para el control del estiércol de vaca brindando considerables utilidades como el uso del biogás.

Huamán (2021), “Adquisición de biogás a través del tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, vertedero de Bambamarca de la región de Cuñacales Alto, 2017.” El presente estudio tuvo como **objetivo** desarrollar un residuo urbano y de bajo consumo energético a partir de los residuos de Cuñacales Alto. El estudio tuvo como **metodología** un diseño pre experimental con un tiempo de digestión de 12 semanas utilizando como sustratos heces, cerdos, pollos, caballos, cuyes, pieles, hojas, frutas, vegetales, harina, tubérculos, y agua de bebida, posterior a ello se han diseñado nuestros reactores discontinuos con una carga semicontinua de ochenta y cinco litros en cada sustrato; los **resultados** que se obtuvieron fue el 1/1 (sustrato 50 % cosustrato 50 %) para T1 (sustrato 41,35 % cosustrato 58,65 %) y 1/1,2 para T3 (sustrato 45,36 % cosustrato 54,63 %). Los resultados mostraron que T1 produjo 23,8 litros de biogás, T2 33,8 litros y T3 38,2 litros y la cuantificación y caracterización del biogás (T1 45,3% CH₄, 17,0% CO₂, 4,0% O₂, 33,7% balanceado; T2 60,8% CH₄, 30,0% CO₂, 1,5% O₂, 7,7% balanceado y T3 Laboratorio 41,8%), 32,0% CO₂, 3,9% O₂, 2,3% restante). En **conclusión**, posterior al recojo de los desechos, se realizó la distribución de materias primas con los siguientes datos: el porcentaje del primer sustrato fue 41.4%, cosustrato 58.6% (relación 1 a 1.41), el segundo sustrato 50%, cosustrato 50% (relación 1 a 1) y el tercer sustrato 45,4%, co-sustrato 54,6%, medio de fermentación 0,002% (relación 1 a 1,2), elimina desechos, toxinas (CH₄-CO₂) que permanecen durante 12 semanas en el proceso de digestión anaeróbica y protege a los humanos de los peligros de origen biológico.

Llamo & Muñoz (2020), “Diseño y construcción de una máquina biodigestor a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus* L.) y cultivo para el desarrollo familiar en la comunidad de Cutervo.” La investigación tuvo como **objetivo** fundamental desarrollar y utilizar un bioextintor a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus* L.) y extractos vegetales para mejorar la estabilidad de las comunidades familiares. El proceso **metodológico** de la investigación se utilizó para resolver el problema de la contaminación ambiental y, en lugar de experimentar la fase de diseño, la población fue de 250 personas en total y la muestra fue de 15 personas para un experimento. La unidad, el biodigestor, tenía una capacidad de 12,9 m³ y funcionaba con estiércol de cuy diluido en agua. La demanda de estiércol de cuy es de 774,6 kg y de cultivos es de 516,4 kg. Los **resultados** arrojaron que se recibieron 0,975 m³ de combustible por día, dependiendo de toda la materia orgánica utilizada en el primer embarque, esta cantidad es de 2.277 litros de material, 2.277 m³ de m³ a 580 kg de guano de cuy y 1.697 litros de agua. La investigación actual **concluye** que es posible lograr la construcción de una comunidad sostenible al reducir el consumo de energía renovable en la comunidad y conservar el medio ambiente del ecosistema alrededor del cual reside el biodigestor.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

España (2020), en su trabajo, “El uso de estiércol bovino para la producción de biogás como recomendación para el manejo adecuado de los desechos ganaderos en la finca Linderos ubicado en Tomayquichua distrito de Ambo, provincia de Huánuco 2017”. Desde diciembre de 2017 hasta julio de 2018, el **objetivo** fue el de evaluar la propuesta de utilizar estiércol de vaca para producir biogás ayudó a gestionar adecuadamente los desechos ganaderos en la ecofinca aledaña al distrito de Tomayquichua en la provincia de Huánuco. El **método** utilizado fue experimental, se inoculó con una mezcla de estiércol fresco, estiércol de panza bovina y agua, se evaluó el sistema desde diciembre de 2017 hasta julio de 2018, en el que se controlaron y monitorearon parámetros físicos: temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto en cada

ensayo, para ello se utilizó un dispositivo multiparamétrico y se realizaron cuatro tratamientos. Los **resultados** mostraron que, de los cuatro tratamientos, el tercero obtuvo inicialmente un pH de sustrato de 6.58 (solución ácida), por lo que durante el tiempo de retención del proceso se determinó un pH de 7.01 (solución neutra), el cuarto obtuvo un pH de 6.88 (solución ácida), después del tiempo de retención, se determinó que el pH fue de 6,94 (casi neutro), el tratamiento nos funcionó bien, no se obtuvieron parámetros normales para el primer y segundo tratamiento; **concluyó** lo que da la duración de cada proceso anaeróbico, respecto al tiempo de residencia finalmente se obtuvo como 110,67 como promedio general de la producción de estiércol de vaca/día de las fincas ecológicas colindantes.

Daza (2024) en su estudio de investigación titulada “Efecto de la capacidad fermentativa del contenido ruminal con lactosuero en la biometanización de residuos sólidos orgánicos en un reactor modelo casero” tuvo como **objetivo** Determinar el efecto de la capacidad fermentativa del contenido ruminal con lactosuero en la biometanización de residuos sólidos orgánicos en un reactor modelo casero. Es un estudio prospectivo, analítico, longitudinal, con intervención, cuantitativo y aplicativo. En la **metodología**, se cuenta con tres muestras del grupo control (GC) y tres grupos experimentales de tres muestras cada uno que serán evaluados en diferentes periodos de tiempo, el procedimiento consistió en utilizar 12 bandejas de medida 45.3cm x 34.8cm x 26cm, en los 12 bandejas se les añadió de 15 kg residuos orgánicos trozados en partículas menor a 1cm, 3 de ellas se les consideró grupo control (GC) y a los 9 restantes grupo experimental(GE), en cada muestra del grupo experimental se le añadió lactosuero con contenido ramial, y fue clasificados en 3 grupos A-B-C, cada grupo consistía de 3 muestras de GE y una muestra de GC, el grupo A se abrió para toma de parámetros a los 15 días al grupo B a los 30 días y al grupo C a los 45 días. En los **resultados** se demuestran que la capacidad fermentativa del rumen y lactosuero tienen efecto en la descomposición anaerobia de residuos sólidos orgánicos mediante un reactor modelo casero, respecto a los

parámetros de masa, volumen y humedad de la unidad de estudio, es decir, hubo una diferencia significativa entre el grupo control y el grupo experimental, una disminución de masa en un 51.8%, del volumen en un 36.2% y de la humedad en un 13.9%. Se **concluye** La capacidad fermentativa del rumen con lactosuero tiene un efecto sobre la masa y volumen descompuestos en un reactor modelo casero, así mismo en la humedad de los residuos sólidos orgánicos sometidos al tratamiento.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

➤ Biogás

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) la composición va depender del sustrato que contenga el biogás dentro del biodigestor a parte a ello la temperatura va depender de acuerdo a la aplicación lo cual dentro de ello lo conformarán:

- Metano (CH_4): Se encuentra dentro del 45% de concentración gas considerable y es inflamable debido a su alto concentración de biogás en lo que se denomina combustible.
- Dióxido de Carbono (CO_2): Está dentro de los parámetros aportando el porcentaje molar entre 25% a 45% el cual es un gas sumamente influenciado debido a sus componentes
- Sulfuro de hidrogeno (H_2S): Se da debido a los comportamientos de los microorganismos anaerobios por lo general al sulfato lo regula y ayudará alimentar en proporciones al biodigestor, es más teniendo concentraciones menores el H_2S que es toxico al cual varia de 5.000 a 50.000 ppm, biogás crudo ante los humanos y animales es corrosivo debido a que tiene q ser eliminado por el biodigestor de caso contrario afectará a los equipos en donde se aplicó.
- Hidrogeno (H_2): Aporta una concentración menor a 5.000 ppm.

- Nitrógeno de gaseoso (N_2): en los biodigestores no sobrepasa el 5% molar y en biogases de rellenos sanitarios su valor, máximo llega a 25% molar.
- Oxígeno (O_2): se puede obtener el 5% molar como valor máximo en biogás.
- Agua (H_2O): En tolerable detectar en procesos termofílicos vapores de agua.

Según Arriols (2018), El parámetro de biogás siempre varia además de ello contiene en su gran parte el gas metano en el que se encuentra entre el 50% - 70% total, dentro de ello se encuentran oxígeno, hidrogeno y como adicional una cantidad de CO_2 .

➤ Usos del biogás

Según Arriols (2018) existe diferentes usos para dar al biogás. Se puede reemplazar y brindar un gas natural, como también se le puede dar el uso para medios de transporte (vehículos). Muy aparte de lo resaltado adicionalmente presta su condición para instalar agua caliente y calentar viviendas con el servicio de calefacción.

Por lo general se puede generar energía eléctrica en las plantas el cual son energéticas, al igual que el gas natural en este caso, lo que también se realiza la quema de biogás para calentar un circuito de agua lo que hará activar las turbinas convirtiendo en energía y puede ser utilizado por algún usuario.

Según Varnero (2019), por lo general se dan múltiples usos del biogás, producción de energía, combustible para vehículos y la producción de calor tanto como vapor.

➤ Producción de calor o vapor

Según Varnero (2011), se cuenta con el uso fácil de biogás para generar energía térmica en especial en lugares lejanos donde existe la

escases de combustible, el sistema de biogás puede proporcionar energía calórica para cocinar, adicionalmente en menor escala los servicios se puede usar para la iluminación como también los quemadores de gas convencionales son adaptables ligeramente para procesar con biogás, realizando la combinación gas y aire en el que se sugiere una presión de 8 – 25mbar de gas y mantener ciertos niveles de H₂S menores a 100ppm para llegar al rocío de 150°

➤ **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad**

Según Varnero (2019), dentro de los sistemas generados la mezcla se produce calor y electricidad lo que significa que produce combustible y el calor residual, en casos especiales algunos sistemas producen calor y la electricidad que sería opcional. Estos se dividen una parte se dedica a generar electricidad y calor residual para el uso de calentar el agua de tal modo que se tiene que aumentar la eficiencia en caso de utilizar para generar electricidad o calor. Existen microturbinas de gas desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes,> 100 Kw adicional se puede utilizar en la generación de energía y calor brindando una eficacia similar a los motores de encendido por pequeñas chispas y que requiere mantenimiento menor, a pesar del caso los motores de combustión son los más usados lo que se requiere una remoción de H₂S menor.

A las plantas de energía mediana se les considera las celdas de combustible lo que genera 60% de electricidad y calor con condiciones de emisiones bajas.

➤ **Combustible para vehículos**

Según Varnero (2019), usar biogás para vehículos es posible y ya se vino empleando años atrás lo que debe de contar con las condiciones comparativas al gas natural para dar uso en vehículos que optaron la fabricación de funcionamiento con el gas natural lo que la gran mayoría de los vehículos han sido modificados por un tanque de gas y un sistema de control y que no afectaría en nada al usar su sistema de gasolina ya que el funcionamiento sería compatible.

Se puede dar uso con normalidad el biogás en motores de combustión inferior como también a diésel y gasolina sin afectar el funcionamiento. El gas proveniente a base de fermentación complementa con octanaje de 100 a 110 que oscila para el buen funcionamiento.

➤ **Purificación o acondicionamiento del biogás**

Según Varnero (2019), la presencia del biogás (CH_4 - CO_2) en su totalidad no es puro por lo que porta partículas y trazas de otros tipos de gases lo que se recomienda a los usuarios que lo limpian toda la impureza y le den el uso de acuerdo al biogás a utilizar.

Realizar la purificación del biogás existen dos procesos aplicables el primero tiene que ver con el color del biogás y el segundo cumplir con ciertas aplicaciones requeridas como celdas de combustible, vehículos y motores todo lo mencionado se habilita con la purificación del biogás lo que da entender que el tratamiento en general el CO_2 , traza del biogás y vapor de agua se erradica en su mayoría.

Todas las partículas sólidas dentro del biogás se filtran con los colectores de partículas convencionales. Es necesario usar la técnica de adsorción y secado a gases traza.

➤ **Materia orgánica para fabricar biogás**

Según Arriols (2018), la ventaja más grande que tienes este gas es que se puede realizar de cualquier tipo de fuente orgánica en descomposición, lo que genera conseguir desechos o cualquier material orgánico que no le dan uso en los hogares como también en las grandes industrias.

Al estiércol de las ganaderías industrializados se les pueden dar uso para la generación de biogás; de igual manera, el resto de comida sobrante que se tira en los restaurantes y en los domicilios, pero la recolección se debe de dar en un contenedor establecido de color marrón para de esa manera no confundir y realizar el correcto recojo y

para los residuos orgánicos los contenedores deben de ser de color gris o verde, está en el contenedor marrón se llenaran todo los residuos de comida y materia orgánica para que de esa manera pueda ser aprovechada para la producción del biogás, lo que brinda un conocimiento más simple para la obtención de biogás y que además produce en menor cantidad de gases de efecto invernadero transmitidas a la atmosfera, también cabe mencionar que es menos dañina y completamente limpia.

Según Hilbert (2019), en los motores de combustión inferior se puede usar el biogás en motores nafteros y diésel lo que influye que el gas realizado a base de fermentación contiene nafteros que garantiza un funcionamiento adecuado de motores de alta compresión.

➤ **Estiércol**

Según Salazar (2018), el estiércol de los animales granja, aves por lo que pueden ser transformados en mayor o menor escala como también sin ser necesario de transformar. El estiércol está conformado por restos de mezcla vegetales y por excrementos de animales, pero si contiene humedad en el material vegetal existe diferencia de estiércol liquido o sólido.

Salazar (2018), señala que existen 2 tipos de estiércol:

- *Estiércol sólido*: Está formada por deyecciones tanto solidas como liquidas y por material vegetal empleado para la cama del ganado. Para el lecho de sus animales suele utilizarse paja, cascara de cereales, aserrín, viruta, etc.
- *Estiércol líquido*: Es un abono natural proveniente de granja que consiste principalmente en la orina y las heces de animales de granja como los cerdos y el ganado.

Según Martínez (2020) se resalta que se viene comentando que existen muchos elementos que se conectan con el estiércol por lo que es muy complicado realizar las características de cantidad al caso,

debido a las condiciones de valores que se lanza, influye en la variación de algunos factores sobre la cantidad y que nutrientes del estiércol aporta llevando a una condición aprobada

Según el grado de descomposición se puede hablar de: Estiércol fresco o poco hecho y de un estiércol compostado maduro.

Tabla 1
Composición Química del Estiércol de cuy

Composición química	Promedio	En una tonelada de estiércol
Nitrógeno	0.5%	5Kg
Fosforo	0.25%	2.5 Kg
Potasio	0.5%	5Kg

Nota. Alimentos nativos del Perú al mundo (2017)

➤ **Cavia porcellus (Cuy)**

Chauca (2019), define al cuy como mamífero roedor originario de la región andina de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Los cuyes son un alimento altamente nutritivo que contribuye a la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales de recursos limitados. Todas las investigaciones realizadas en Perú fueron consideradas a una especie de carne, por lo que fue importante relatar que los estudios de cuyes se dieron en las décadas de los 60 en Perú, en los 70 se dieron en Ecuador y Colombia, en los 80 en Bolivia y en los 90 en Venezuela, lo que ha generado en grandes cantidades la crianza de cuyes aportando beneficios a la población.

Chauca (2019) señala que, el que tiene la mayor popularidad en la alimentación de las personas andinas está catalogado el cuy en consideración a que es carne limpia. Años atrás después de la conquista el cuy fue un animal casi universal y exportado. Se dice que en la actualidad los humanos le dan diversos usos como animal experimental y mascota, pero en los andes es tradicional utilizar como alimento por su alto contenido de proteínas.

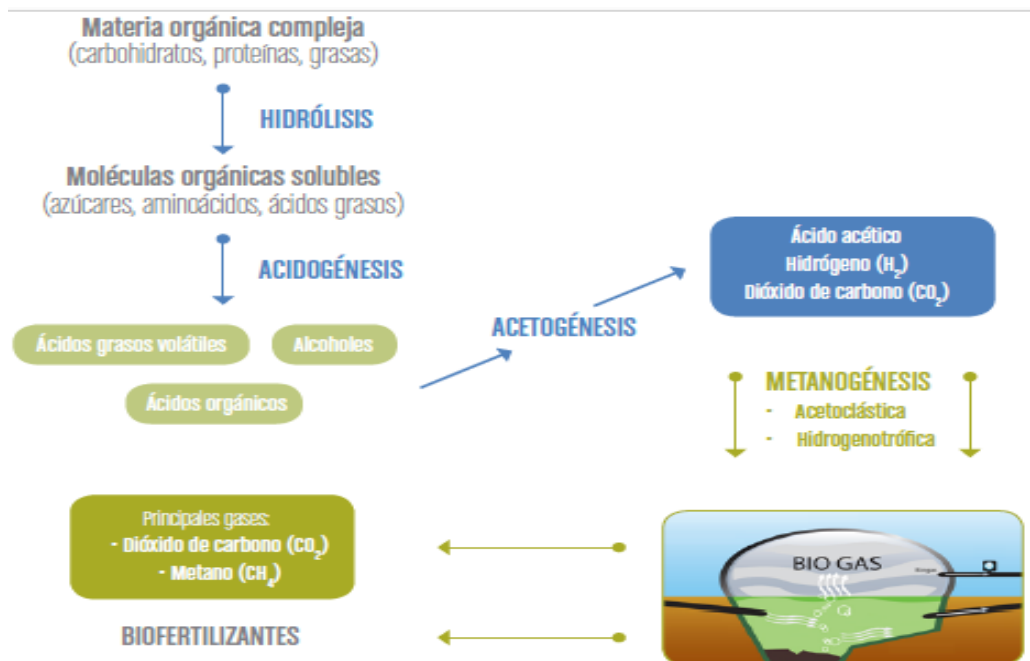
➤ **Proceso de obtención del biogás**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) menciona sobre la producción del biogás resulta muy complejo debido a la presencia de los microorganismos que directamente se dedican en la descomposición de grandes cantidades de sustrato orgánicos que presencian como desperdicio, orgánicos de industrias, resto de comida, residuos locales y de los animales su estiércol.

Es recomendable generar la descomposición de los residuos en un ambiente natural o en biodigestores tecnificados donde se da la anoxia (ausencia de O_2) lo que produce etapas para el proceso. Realizado el proceso el biogás se determina el biogás por dióxido de carbono (CO_2) y en su gran cantidad metano (CH_4), también existe la presencia en menor escala otros gases, dentro de ello el más destacado es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), lo que generalmente es un gas altamente contaminante que presencia malos olores y muy desagradable, se dará dónde se va realizar el proceso de descomposición anaerobia proveniente directamente de residuos orgánicos.

La FAO (2019) destaca que la solubilidad del oxígeno en el agua se ve afectada por sedimentos en lagos, lagunas y ríos, especialmente en áreas donde hay tratamientos de aguas residuales, como granjas de cerdos y rellenos sanitarios. Estos lugares generan lixiviados con un alto contenido de residuos orgánicos, cuya descomposición produce biogás, rico en metano, que posee características similares al gas natural. La producción de biogás a partir de residuos orgánicos se facilita mediante digestores anaerobios, diseñados para maximizar la eficiencia en su producción.

Figura 1
3Etapas de la digestión anaeróbica



Nota. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) se indica que las etapas se separan en tres líneas importantes a pesar de que los biodigestores en el que suceden reacciones con propósitos simultáneos y con datos viables.

Hidrólisis: es un proceso en el que se da la materia orgánica compleja materializando en el proceso como proteínas, lípidos e hidratos de carbono todo lo existente es descompuesto por los microorganismos dedicados en materia solubles como ácidos grasos, aminoácidos y azúcares todo lo consiguiente pasa para el siguiente proceso.

Acidogénesis y acetogénesis: diferentes tipos de microorganismos denominados acidogénicos y accetogénesis a quien convierten la materia soluble y por interfaz suelta el hidrogeno, acetato y se le conoce el proceso más rápido, lo que permitirá evitar el descenso del pH por intermedio de consorcio microbiano

Metanogénesis: es el proceso final donde los microorganismos cuentan con dos metabolismos diferentes a la vía acetoclástica, que transforma el ácido acético en CH_4 y CO_2 , y la vía hidrogenotrófica, que a partir del H_2 y el CO_2 genera CH_4 en lo general.

Todo el cambio provocado químicas y físicas que sufre la materia orgánica cabe recalcar que en el proceso mencionado no solo se dan generación de biogás, también de manera adicional se va tener biofertilizantes para ser utilizada en la agricultura.

Se requiere que los parámetros a tomar se evalúen correctamente junto con la tecnología por lo que le va viabilizar elevar su máxima eficiencia en los procesos, donde serán controlados todos los procesos requeridos con bases físicas, químicas y biológicas en los procesos de digestión anaerobia. Concluyen que será un triunfo en los proyectos a ejecutar y garantizar la calidad referencial a rendimiento máximo.

Es considerado fijar de manera simple los procesos que frecuentan con el biodigestor anaeróbico y explicar el buen funcionamiento de rumiante ante el sistema digestivo. Al consumir el rumen de una vaca sea de oveja se alinea a la etapa de hidrolisis enzimática de polímeros que por lo general se pegan acidogénesis y acetogénesis.

Todos los agentes de microorganismos que influyen dentro de los procesos se saben que son tolerables en variaciones regulares brindando cambios del pH y temperatura al cual pueden sobrevivir en la presencia de oxígeno mostrando su nivel de vida.

Dentro del rumen existe una opción de tejido el cual es especializado al que se le hace conocer papilas ruminales esto hace que se alimenta de ácidos volátiles entre otros ácidos orgánicos, lo que hace que tiene una serie de fuentes de energía en los rumiantes en general. Son los que colonizan el rumen de una manera eficaz notándose fácilmente para la determinación de la dieta que apropia materia forrajera teniendo en consideración que la población tenga su máxima densidad llegando donde se estabiliza el PH, esto hará que se restaure la salud

del tejido viviente.

Tabla 2

Características principales de dos procesos básicos para la producción de biogás

Fase acidogénicos	Fase metanogénica
Bacterias facultativas	Bacterias anaeróbicas estrictas
Reproducciones muy rápidas	Reproducción lenta
Poco sensibles de acidez y temperatura	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura
Principales productos finales metabolitos. Ácidos orgánicos	Principales productos finales: metano y dióxido de carbono

Nota. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019)

➤ **Parámetros físico-químicos de control**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) se muestran una variedad de análisis físicos y químicos que dentro del proceso llevan sustrato permitiendo averiguar el correcto funcionamiento de rendimientos potenciales pertenecientes.

Aquí se dará conocimiento de la viabilidad de los biodigestores que se recomienda y garantiza el adecuado funcionamiento de biodigestor físicamente y químicamente al ser adaptados a la tecnología moderna.

➤ **pH**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) se conoce dentro de los parámetros de PH alcanza una diferencia de acidez o alcalinidad dependiendo de la solución en proceso. Donde se determina la descomposición dentro del biodigestor ácido orgánico y genera los iones hidrógenos, importante llevar todo este control para previa producción de biogás en donde el sistema biológico va relacionarse con el PH en calidad de microorganismos metanogénicos responsables de la generación de metano en grandes cantidades.

Según Babaee y Shayegan, (2011) indica que es variable el PH dependiendo de la mezcla a ingresar al biodigestor lo que también va depender en los procesos que se darán dentro como acidosis, esto requiere frecuentemente un control cada periodo para sacar los resultados del PH y ver los materiales ingresados y del que sale de esa manera llevar un control apropiado, esto para que, con la finalidad de correcciones y no llegar a un punto decadente de esta manera impedir a los microorganismos metanogénicos y llegar a que no se produzca biogás. En determinados casos el PH se encuentra de 7.0 a 7.8 de rango óptimo.

➤ **Potencial redox**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) aquellos microorganismos metanogénicos se recomienda su tipo de vida en un clima reductor, para que se desarrollan al máximo, dentro de los parámetros de potencial redox se sugiere oscilar de 370 a 220mv.

➤ **Temperatura**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) resalta que la temperatura es importante y que implica mucho dentro del biodigestor para garantizar el buen funcionamiento. En si es variable a muchas situaciones porque existen muchos modelos y tecnificados el tipo de biodigestor además de ello el tipo de material, también va influir la región y el clima donde se va realizar el proceso. Dato importante tiene que ver con la temperatura y el rango entre 10 a 55°C para que se da la etapa de biodigestión, se recomienda que los biodigestores tienden a recuperarse para ello existen tres grupos a realizar:

- Psicrófilos: trabajan en un rango de 10 - 25 °C.
- Mesofílico: trabajan en un rango de 25 - 40 °C.

- Termofílicos: trabajan en un rango de 40 - 55 °C.

Cuando se realizan juntos tiempo más el material es probable generar más producción de biogás a temperaturas termofílicas a diferencia de temperaturas psicofílicas,

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) indica que la temperatura no es un factor ligeramente manejable, ya que operar la mezcla en el biodigestor a 55°C cuando la temperatura ambiente exterior promedio es de 10°C requiere de materiales aislantes y sistemas de buen calor, así como sistemas de generación de energía y calor. Es importante señalar que los biodegradarte que operan en regiones termófilas son más sensibles e inestables a pequeñas variaciones en el proceso o en el sustrato, pudiendo incluso inhibir el proceso de degradación biológica. Aunque en estos casos aumenta la solubilidad de la materia orgánica, lo que significa una biodegradación más rápida, también aumenta la solubilidad de los compuestos tóxicos. Esto supone mayores costes de inversión en la construcción y, por tanto, un mayor plazo de amortización.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) establece ciertos conocimientos de temperatura que influye igualmente en determinadas igualdades químicos que aporta gran influencia dentro del proceso anaeróbico.

➤ **Amonio-amoniaco libre o ácidos grasos volátiles**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) dentro de las circunstancias a proceder ionizados y no ionizados, son parte del procedimiento en el que la temperatura va actuar en no ionizadas lo que generalmente el resultado es altamente toxica para microorganismos que están en procesos anaerobio (NH_3 y AGV- no ionizados).

Finalmente, dentro del proceso la temperatura incrementa lo que

hace que la viscosidad de sólidos y algunos semisólidos reducen lo que ayuda a realizar menos agitación para el proceso.

➤ **Tiempo de retención hidráulica**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) señala que hay un dato muy importante que el tiempo de retención hidráulica (TRH) lo que genera permanencia del sustrato dentro del biodigestor, son tipos de acción de los microorganismos, aclarado las etapas no es más que un cociente del tipo de volumen del reactor y el caudal diario que se da por carga.

Todos los microorganismos forman parte del volumen de un biodigestor a la vez se localiza frecuentado con la temperatura y dependiendo que tecnología se utilizará, para la elaboración de la producción de biogás, teniendo como rangos psicrófilicos que necesitan valores mayores de TRH que en rangos mesofílico o termofílicos. Lo que aplica a mayor temperatura es menor TRH.

En relación a diferentes procesos a realizar pueden variar los TRH dependiendo en el estado que se encuentra.

- Psicrófilicos: se encuentran dentro de 50 - 120 días.
- Mesofílico: se encuentran dentro de 25 - 50 días.
- Termofílicos: se encuentran dentro de 15 a 25 días.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) es importante conocer la tasa por día de alimentación y el TRH con la finalidad de medir el biodigestor lo que generalmente este variable va conservar la temperatura en el proceso dado $TRH \text{ (días)} \times \text{Cantidad de carga (m}^3\text{/día)} = \text{Volumen útil del biodigestor (m}^3\text{)}$.

Según Fedailaine (2015), la descomposición de la materia orgánica dentro del sistema anaerobio es la más utilizada y presta muchos

benéficos proporcionando la eliminación con un tiempo récord, aparte de producir gas en determinado tiempo de retención erradicando los sustratos de 40 a 60% masa/masa.

➤ **Velocidad de carga orgánica**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019), existen muchos parámetros en el que se va graduar los componentes de la materia orgánica dependiendo de la unidad de volumen de tiempo, será la carga orgánica la cual variará de acuerdo al tipo de sustrato orgánico a utilizar lo que hará es determinar el grado de la actividad bioquímica, los resultados se verán dentro del biodigestor si se da valores bajos OLR quiere decir que esta elevado su TRH como también puede estar bajo su concentración de los sólidos volátiles dentro del influente pero los incrementos de ORL perjudica en la producir que se da en biogás debido a los sólidos volátiles ingeridas, es por eso que se tiene al OLR en condiciones óptimas por lo que se debe identificar en cada instalación que se mantenga y el sustrato a usar lo que hará más eficaz todo el proceso técnico dentro del biodigestor.

➤ **Materia seca y grado de mezclado**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) que debido a las grandes cantidades de materia seca indica la misma proporción de materia, aunque lo ingresas a la estufa a 105,5°C esto tardará 24 h lo que ayudará extraer toda el agua que tenía, dentro de una mezcla lo que se obtiene es la cantidad de sólidos.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) indica que todos los procesos realizados en la biodigestión conllevan a un proceso biológico lo que conduce al proyecto en adelante generando una variedad de microorganismos por lo que se puede desarrollar en diferentes medios va depender del material del sustrato a degradar, pero todo este proceso

se puede explicar en tres simples pasos:

Biodigestión húmeda: Va suceder en un estado líquido con diferentes porcentajes como son del 1% - 17% sólidos, lo que se basa en los biodigestores con guías al cual realizan todo el proceso.

Biodigestión líquida: Esto se dará en especial para procesar grandes cantidades de material precisamente líquidos acompañado con diferencia de porcentajes del 1% que raramente se supera como en los biodigestores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también RAFA (biodigestor anaeróbico de flujo ascendente).

Biodigestión seca o semiseca: El proceso conlleva a tecnologías que acceden a tratar libremente todos los residuos de materia seca con un nivel superior de 20 %.

➤ **Biodigestor**

Según Palomino (2004) el sistema de biodigestor es completamente asegurado y cerrado lo que permite que el estiércol de los animales será fermentado y sin la presencia de aire para la generación de gas metano. A pesar de las desventajas brindara la energía no convencional y renovable es un aprovechamiento muy adicional al elaborar el proceso de fermentación a base de sus materiales, y como extra los residuos sobrantes se puede dar uso en la agricultura.

➤ **Tipos de biodigestor**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) cuando se menciona sobre los biodigestores existen variedades con tecnologías asombrosas incluso elaborados con diferentes tipos de materiales llamativos además existen plantas con tecnología apropiada con punta automatizadas que brindan condiciones extras a la sociedad para cumplir con las necesidades básicas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) resalta que en la tecnología no lidera una mejor que la otra lo que sí se puede conceder es que la tecnología se adapta de acuerdo a la situación necesaria para ello va depender escoger dependiendo del objetivo a realizar, hará que se vea la materia a utilizar y va influir dependiendo al tipo de los recursos monetarios para invertir, un dato más se tendrá que determinar el tipo de sustrato a usar para nutrir dentro del biodigestor. Se indica que no existe un biodigestor estandarizado, pero si se puede diferenciar por su tamaño en casos especiales, pero si le diferencia sus características y en el nivel tecnológico que presta dicho sistema.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) de acuerdo a las características que presta el biodigestor va depender del tipo de carga empleada dentro de ello y el material será la materia seca de la mezcla de alimentación lo que va depender del nivel de mezcla e importante controlar el sustrato en los procesos a realizar.

- Carga: se ejecuta en sistemas de batch por ende llevar un control de una forma continua o como también de forma semicontinua.
- Componentes de materia seca para mezcla: resume que los digestores se encuentran en estado húmedo – semihúmedo o también puede resultar seco.
- Grado de mezclado: ayuda a identificar y a diferenciar una mezcla completa y una mezcla en estado parcial o ser nula.
- Manejo del sustrato: existen digestores efectivos en realizar y como también digestores que no lo hacen.
- Etapas del manejo: estos procesos se realizan en operaciones en el que puede suceder de uno a dos etapas al cual varía.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) existe tipos de diferenciar los biodigestores en

niveles de alto- medio – bajo, esto ayudará a monitorear el grado de la mezcla, temperatura, automatización y todos los parámetros de medición en el proceso, en la gran mayoría de los sistemas de biodigestor dado en el proceso tiene que prestar el volumen del aire de entre 20% - 50% aproximadamente para la obtención del biogás.

Seguidamente se darán a conocer los biodigestores más comunes y utilizadas.

➤ **Biodigestores en batch**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) son prototipos de biodigestor que se usan principalmente para sacar datos de investigación en laboratorios. En donde se puede determinar si realmente el material es apto para la producción de biogás o no, se puede apreciar el tiempo de obtención y cuánto va generar esto hará tan potente la producción de biogás no solo con uno si no con tipos de sustrato se pueden usar variedades de materiales y tamaños pero lo más obtenido es en pequeños lo que hace más sencillo el proceso para sacar temperatura y realizar la homogenización sin generar gastos mayores lo que hace que está a condiciones del usuario.

En biodigestores de procedencia batch se realiza procesos de una sola carga y vaciado en general donde se aplicará una solución de inóculo que abarca un porcentaje de 20% - 50% de mezcla asimilada, dentro de proceso el inóculo es procreado por los microorganismos que trabajan en la reacción, pero en sistemas pecuarios en su gran mayoría lo optan, pero en casos especiales otros sustratos no, por tal razón las proporciones de la mezcla tienden a variar al tipo de ensayo y al sustrato.

En los Biodigestores continuos se dan en estado húmedo y sin sustrato como también en semicontinuo, netamente estos biodigestores se prestan para materia seca de 1% - 17% en mezcla al cual puede tener resultado nula, parcial o completa va depender de la tecnología como también pueden ser diferentes. Este mecanismo es simple con recursos

adaptables ante la situación necesitada de la sociedad, abarca muchas soluciones con este sistema a realizar para satisfacer una necesidad útil y económico.

➤ **Biodigestores rurales de baja tecnología**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) referencia a todos los biodigestores adaptados en sus hogares en zonas rurales se diferencian por no contar con un sistema de agitación continua. En casos especiales lo adaptan prototipos de mezcla manual con palancas a diferencia que otros utilizan la agitación manual como los tubulares o lagunas con flujo a pistón existen casos que en su gran parte estos sistemas no optan en tener el sistema de calefacción en este caso la temperatura depende de exterior, es posible aislar el biodigestor para ganar temperatura dentro del sistema se han visto antecedentes del uso de biodigestor en zonas rurales de Altiplano de Bolivia en condición funcionando a pesar de su clima en bajas temperaturas umbral de tolerancia los microorganismos metanogénicos sobreviven a niveles $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero se mantiene con la digestión a continuar.

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) se dan tipos de sistemas a seleccionar para realizar clasificaciones. Los biodigestores tubulares, taiwaneses, flexibles: Son muy comerciales y generalizados en Taiwán, su fabricación son con materiales importados membranas lo que la variación se da dependiendo del grosor, y la calidad de material. Dentro de los materiales mencionados el precio varía dependiendo al material fabricado, dentro de ellos esta Las de material policloruro de vinilo (PVC), etileno propileno diseño tipo M (EPDM) o polietileno de alta densidad (PDA). Son de forma largo los túbulos lo que les permite poner debajo del piso este sistema hace que aporta cuando se realiza la carga, la masa de líquido ingresada al biodigestor se traslada a la parte final, esto hace que se genera su propia agitación como se explicó tal cual.

Las ventajas de instalar estos biodigestores son muy fáciles de trasladar y transportar así enrollado en camionetas o moto strom (trimovil), influye bastante el grosor de la membrana a utilizar un promedio de 0.80 mm adicional a ello implica el tipo de material cintas y aditivos utilizados en su fabricación y que combaten a los compuestos químicos y que soporta los rayos solares.

Biodigestores chinos rígidos: Están hechos de material tieso ejemplo como los ladrillos, tanques de plástico y hormigón, el producto es más dura, firme y resistente ante cualquier caída o cortes, lo que se presta para modificar y realizar un sistema de agitación sin dificultades y se recomienda realizar las modificaciones en el lugar porque al trasladar ya puede ser más dificultoso debido al tamaño y modificación realizada. Son biodigestores de buena calidad en espesor y de buen tamaño como los tanques muy aparte para la fabricación existen tipos de materiales y tecnologías, esto dependerá del modelo a realizar y de la creatividad del fabricante y por ende el tipo de diseño. Las diferencias se apreciarán en el piso previo instalación de un sistema adaptado la campana, o algún prototipo de agitación y otros.

➤ **Biodigestores de laguna cubierta de media-baja tecnología**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) en este rubro se menciona los sistemas de biodigestores fabricados de efluentes como lagunas que están previo tratamiento lo que se ha visto en situaciones comunes se realizan cubrir con membranas para obtener biogás de tal manera utilizar biodigestión anaerobia. Son netamente lagunas extensas en su dimensión y cuentan con niveles bajos de agitación tampoco existe presencia de calefacción lo que va depender su eficiencia mucho de las temperaturas del ambiente lo que también no cuentan en temas de medición tampoco llevan control para así determinar un control de eficiencia durante el proceso elaborado.

Se sabe que la producción de biogás da como resultado en elevadas cantidades al cual se puede medir en metros cúbicos por día (Nm³ biogás/día), debido a las extensas longitudes de la laguna a realizar por medio anaerobio de tal modo que la cantidad el efluente orgánico con los que procesa y mas no centrar a la eficiencia porque tiene niveles bajos lo que hace que los resultados de la degradación de demanda oxígeno (DQO) y metro cúbico en estado normal de biogás realizados por tonelada de sustrato (Nm³ biogás/ t sustrato). De tal manera que se puede sacar datos relevantes para el buen funcionamiento.

➤ **Biodigestores de mezcla completa de media-alta tecnología**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) menciona que en los años anteriores a mediados de la década de 1990 en Tailandia se hizo un aprovechamiento al cual el suelo y la clima fueron relacionados para poder realizar un modelo de biodigestor con un fin de generar resultados eficaces en la producción de biogás dando a conocer un costo económico mínimo para la inversión lo que se dio en una planta piloto que llego a instalar en los años de 1988 respaldado por un programa de cooperación en Tailandia y seguidamente se dio en Alemania todo esto se realizó con la colaboración de la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ), lo que hizo que los biodigestores se encadenen por el país asiático en grandes cantidades del modelo de canal una variedad de tubulares y de forma laguna con sistema de agitación y con un control de variables .

➤ **Biodigestores de mezcla completa de alta tecnología**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) menciona que existen biodigestores que pueden trabajar en cualquier tipo de clima al cual es adaptable no importa la carga del tipo sólido como orgánicos lo que permitirá aumentar la efectividad en el proceso a realizar. La nueva tecnología es fabricado a base de hormigón y acero inoxidable en condiciones que se garantice la

calidad y el tipo de material que serán resistentes ante la presencia de los químicos generados por el biogás a la vez, implica mucho para brindar la producción de biogás y también se produce energía térmica por un tiempo lapso de 24h y de la misma manera hasta los 365 días del año.

➤ **Biodigestores con altas cargas orgánicas para efluentes líquidos**

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) menciona que en Holanda en los años de 1970 , hubo un creador de reactor UASB o RAFA, por el personaje Gazte Lettinga, quien era doctor al cual su indicación era para dar uso continuo en lo que la materia prima debe de ser ingerida por la parte inferior luego teniendo una salida por la parte inferior después de homogenizar dentro del reactor además son muy amplios lo que ayuda a tener mayor recorrido en el proceso.

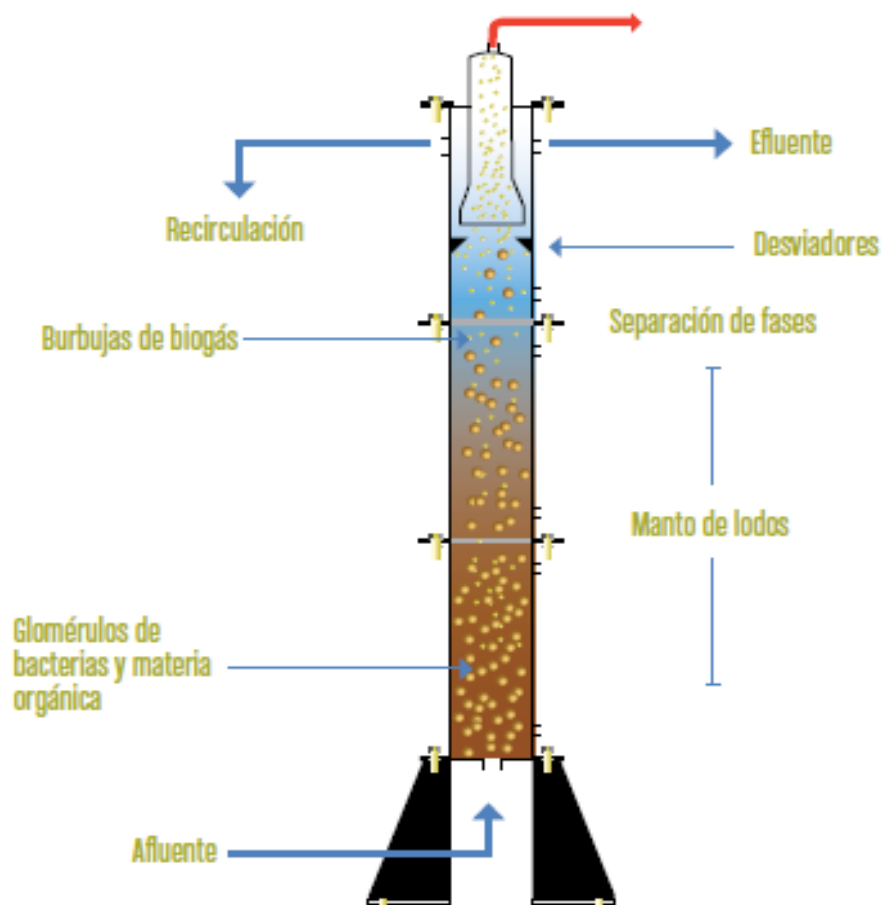
Los efluentes van a depender de los procesos ingresados a un biodigestor para así ganar la velocidad promedio tampoco buscar en exceso la velocidad por que de ser así perjudicaría la materia orgánica por ende a los microorganismos dentro del reactor tampoco puede suceder muy lento sin embargo perjudicaría a los sólidos abordando a un rincón con dificultad a tratar, la velocidad mencionada se encuentra en nivel alto de 0,4-0,6 m/hora. Resaltando en condiciones de velocidad necesaria las bacterias se reúnen con la finalidad de generar glomérulos y también flósculos que se encuentran dentro del reactor, lo que hará que ayuda a lograr la eficiencia en su nivel alto y de mismo modo se obtendrá el biogás.

Todos los restos provocados de la materia orgánica con bacterias floculadas y glomérulos a todo ello se le llama “manto de lodos” lo que este sistema de tecnología habilita disminución de DQO obtenidos de los efluentes orgánicos en estado diluido, con diferencia de materia seca menor al 1% dentro de la mezcla. En efecto lo que buscan estos

reactores es mejorar el TRH consecuentemente de días a horas dando como resultado la reducción del volumen.

Secuencialmente a procesos que va ganando progresos la materia orgánica dentro de la oxidación es ahí cuando la tasa de crecimiento inicia a mejorar y en situaciones críticas los carbonos orgánicos se ponen en esto limitantes y frecuentemente reduce la tasa de oxígeno esto sucede cuando el material es en pocas cantidades para brindar la subsistencia de los diferentes tipos de microorganismos. Esto hará que continúe el proceso adecuado y regularmente conllevar un control para saber si realmente estamos marchando bien o no, con los resultados a obtener en el reactor.

Figura 2
Esquema de reactor UASB



Nota. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019)

➤ **Biodigestores semicontínuos o continuos húmedos en dos etapas**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) referencia que existen dos tipos de platos en el que se denomina de “hidrolisis secuencial” y “dos etapas”.

Dentro de los procesos dados en la aplicación de biodigestión y la generación de biogás participan diferentes organismos, así mismo el pH lo que implica que significa variable clave la metanogénica que requiere de mucha atención para dar cambios a la acidez o alcalinidad en el proceso.

Exponiendo con resultados de pH neutro, similar a resultados de biodigestor con materiales necesarios en particular los fibrosos que tiene altos niveles de celulosa y lignina, quiere decir a lo largo no son usados debido a que contienen químicos muy elevados sin embargo no proceden a romperse.

Por tal razón se provee tecnologías que realizan pretratamientos de ácido para poder aprovechar la mayor parte de los beneficios por cada etapa y por el crecimiento de las bacterias, para lograr en primeras etapas un pH de 3,5 hasta 5,5, en lo que ayuda a mejorar la digestión de carbohidratos durante el proceso, y gradualmente se puede incrementar la generación de biogás consiguiente para un sustrato, mayormente para todos aquellos ricos en fibras.

➤ **Biodigestores semicontínuos o continuos semihúmedos sin manejo del sustrato**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) señala que el prototipo de biodigestor a usar trabaja con mezclas orgánicas que contienen de 25% - 35% de materia orgánica seca. Lo que permite ser adecuado para funcionar con FORSU y algunos sustratos con determinados grados de humedad bajo como también en las zonas alejadas donde existe los

escases de agua para dar el proceso de la mezcla. En lo que se ve que hay diferentes variedades de reactores al cual se puede vertir de manera horizontal o vertical para seguir con la etapa de homogenizar la mezcla de alimentación. Son de tipo muy resistentes y sistemas que aportan la protección ante la presencia de materiales inertes en la mezcla de alimentación por lo general no permite la creación de espuma dentro del reactor, hace que podemos mejorar el volumen de líquido lo que nos accede operar la planta de digestión en estado húmedo, el sistema de reactor debe contar con un mecanismo para separar el líquido como prensa helicoidal o centrífuga, para realizar el proceso siguiente.

➤ **Biodigestores semicontínuos o continuos secos sin manejo del sustrato**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) indica que existe una serie de sistemas y una de ellas bioceldas, que tiene las mismas condiciones que el reactor, en particular para sustratos con alto contenido de sólidos de 50% de materia seca.

Los métodos son muy parecidos que se dan en los rellenos sanitarios a diferencia que la fase anaeróbica se encuentra monitoreado lo que hace que la producción de biogás sea eficiente en tonelada de sustrato. Se establece para estos casos el sistema de 28 días con el THR de 25% - 50% de materia seca.

Las tecnologías de mayor potencialidad se encuentran en las compuertas que tienen el sistema que se abre cuando hay que ingresar en diferentes compartimientos y consecuentemente se cierran lo que permite la confiabilidad de hermeticidad y la anaerobiosis dentro del proceso de un reactor, sin embargo, es importante resaltar que los manejos de lixiviados ayudan a mantener la zona húmeda para el desarrollo de las bacterias metanogénica.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2019) después del proceso por las

bioceldas se pasará a operar a un sistema anaerobio con la finalidad de llegar a establecerse la materia orgánica, por lo que estos sistemas prestan menor eficiencia de producción de biogás a diferencia de sistemas de reactores húmedos o semihúmedos, ante ello existen ventajas que lo regresan adecuado para el proceso FORSU en zonas urbanas que existen otros sustratos:

- Absolutamente no requieren sistemas de agitación interna.
- Prestan resistencia ante cualquier tipo de presencia inerte de gran peso o de material plástico
- En lo general no sucede cortocircuitos hidráulicos en ningún caso.
- Resulta una pérdida baja de sustancia biodegradable en el proceso.
- Son muy fuertes y resistentes a sustratos como también a sustancia tóxicas.
- Se acceden a pretratamientos a menor escala y más enfocados a económicos.
- Realizan la obtención de agua en cantidad mínima en el proceso.

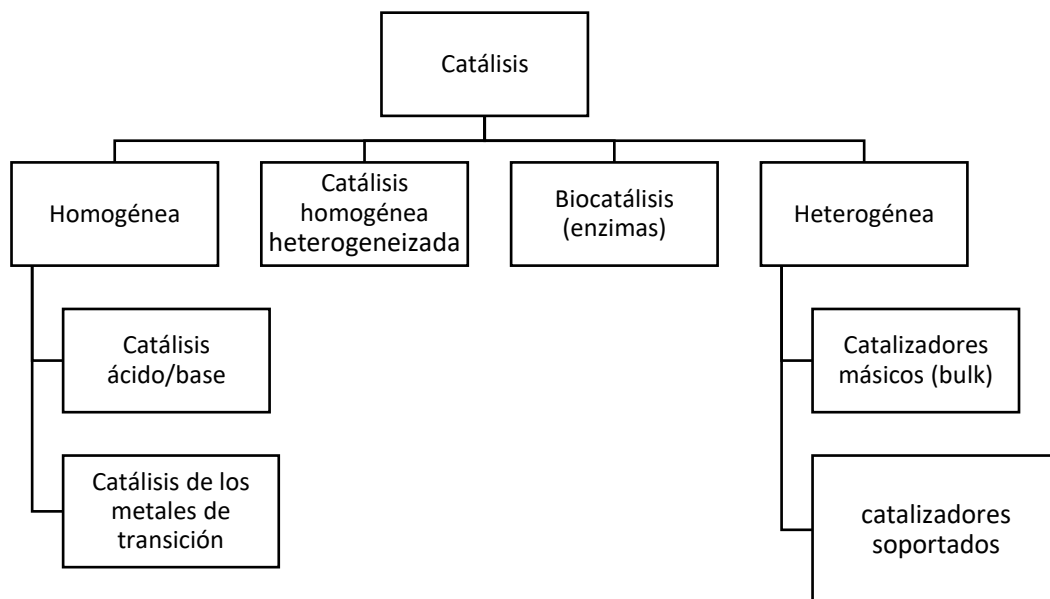
➤ **Catalizador**

Según Shiva, Atkins y Langford (1998) son sustancias que aumentan y aceleran cualquier tipo de reacción. Los catalizadores son muy utilizados en la naturaleza, la industria y el laboratorio, se estiman que contribuyen a la sexta parte del valor de todas las mercancías manufactureras de los países industrializados.

➤ **Clasificación de los catalizadores**

Según Cuevas (2009) señala que hay tipos y diferentes niveles que existen los catalizadores, lo cual resaltaremos lo más importante en la siguiente:

Figura 3
Clasificación de los catalizadores



Nota. Rogelio Cueva García (2009)

➤ **Catálisis homogénea**

- Dentro del proceso la reacción se dará en la primera fase.
- Hace que Implica solubilidad dentro del catalizador en medio de la reacción en proceso.
- En los procesos industriales se dan de 10% - 15%.

➤ **Catálisis heterogénea**

- Generalmente se solicita dos fases para llevar a cabo.
- 85-90% de los procesos industriales

➤ **Biocatalizadores**

Según Cepa López de Oro (2003) los cambios de las reacciones químicas es donde se nota la transformación de sustancia reactivas y también obtener sustancias finales o productos en el que este proceso se da mediante el proceso intermedia conocida la etapa de transición

también conocido con el nombre estado activo, en el proceso es un estado que dura por poco tiempo inestable y altamente energético donde necesariamente los reactivos se activan en estado débil con relación a enlaces lo que permitirá a formar a favor esto se realiza para que el proceso de transmisión y la reacción aumente la energía al cual se le llama energía de activación lo que se puede aprovechar calentándonos a temperatura elevadas, poniendo en peligro las descargas eléctricas producidas a base de reacciones orgánicas.

Según Cepa (2003) menciona que, en sustancias químicas se designa fundamentos que tienen que ver con catalizador que acelera una determinada mezcla dependiendo la reacción en el proceso que va provocar el aumento o la disminución de la velocidad dentro del proceso de la reacción inalterada donde la efectividad de trabajo que realiza el catalizador el cual se caracteriza catálisis. Según Cepa López de oro (2003) se distinguen tres tipos de biocatalizadores: las enzimas o fermentos, las vitaminas y las hormonas.

Según Cepa López de Oro (2003) también, suelen definirse como biocatalizadores autógenos de acción concreta. En esta definición se recogen dos características que los diferencian de los otros tipos de biocatalizadores: cada organismo elabora sus propias enzimas (autógenas) y su especificidad, lo que permite que la enzima trabaja ante una sustancia breve como también en tipos de enlaces presente en un grupo de sustancias con cierta similitud química.

Según Cepa López de Oro (2003) podemos decir que, las enzimas tienen las siguientes características:

- Todas las sustancias sin excluir alguno desde lo más grande hasta más pequeño tiende a acelerar el proceso de una reacción, en otras palabras, se obtendrá en menor tiempo posible.
- Se recomienda no consumir en el proceso de reacción biológica porque dentro del resultado final habrá la misma cantidad de enzima.

- Tienden a ser específicas lo que les admite una reacción sin alterar a los demás.
- Su proceso será a una temperatura normal que presta las mismas cualidades al ser vivo.
- Se consideran activas lo que hace que algunos encuentran acelerar la reacción en muchas veces quiere decir por encima de catalizadores no biológicos.
- Dentro del proceso tiene un peso molecular excesivo.
- Son sensibles a diversos factores como la temperatura y el pH.
- Pueden ser endocelulares o exocelulares (fermentos digestivos)
- La causante de la actividad enzimática no es la molécula proteica en su totalidad sino un conjunto de aminoácidos con una determinada configuración espacial que constituyen el centro activo de la enzima.

Según Cepa López de Oro (2003), la clasificación de las enzimas de acuerdo a su complejidad y estructura son:

De acuerdo a su complejidad las enzimas se clasifican como:

- a) Las enzimas proteicas (simples): Generalmente están formadas por uno o más cadenas polipeptídicas.
- b) Holoenzimas (conjugadas): Se encuentran conformados por fragmentos de polipeptídica, lo que indica no proteica por ende es cofactor. generalmente conocida como apoenzima,

La forma de realizarse la acción catalizadora es la siguiente:

1. En este proceso existe una combinación de sustrato con enzima como resultado a obtener la complejidad.
2. Dentro de esta reacción el sustrato dará un cambio a productos.

3. Se separan enzima y productos recobrando la enzima en lo que se puede recuperar el sustrato en otras moléculas (esto explica la escasa cantidad de enzima necesaria para transformar gran cantidad de sustrato).

➤ **Factores que afectan a la actividad enzimática**

Según Cepa López de oro (2003) La velocidad de reacción de una enzima depende de otros factores además de la concentración del sustrato: la temperatura, el pH y la presencia de inhibidores.

- a) Efecto de la temperatura: si se suministra energía térmica a una reacción enzimática, las moléculas aumentan su movilidad y el número de encuentros moleculares, lo que aumenta la velocidad de formación del producto.
- b) Existe una temperatura óptima a la que la actividad enzimática es máxima. Si se eleva más la temperatura, la unión enzima-sustrato se hace más difícil, ya partir de cierta temperatura la enzima se desnaturaliza, perdiendo su estructura terciaria o cuaternaria (si tiene estructura terciaria o cuaternaria), por lo que pierde su actividad enzimática.
- c) Efecto del pH: Las enzimas tienen dos límites de pH entre los cuales son efectivas, más allá de estos valores, la enzima se desnaturaliza y deja de funcionar. Entre estos dos límites, hay un pH óptimo en el que la enzima es más eficaz. El pH óptimo depende del tipo de enzima y sustrato (no todas las enzimas son iguales).
- d) Inhibidores: Estos son medicamentos que reducen la actividad de las enzimas o bloquean completamente su actividad; Por ejemplo, puede ser perjudicial o beneficiosa, como la penicilina, un inhibidor de una enzima que regula la síntesis de las paredes bacterianas, por lo que es beneficiosa para el virus, y la azidotimidina (AZT), un inhibidor de la transcriptasa tipo inversa, cuya función es retrasar el avance del SIDA.

➤ **Leche vacuna**

Según Navarro (2001), la leche es un alimento sencillo y parte integral de la dieta humana en muchas culturas, cuyas propiedades son populares, contiene calcio para fortalecer los huesos, el porcentaje de grasa que el cuerpo necesita, se usa para nutrir a los bebés, hierro y proteínas para apoyar nuestro metabolismo y vitaminas del grupo A, C y B. Según Navarro (2001) sus componentes son importantes y esenciales lo que permite que a la leche le dan usos múltiples: transformando en yogur o kéfir, combinándola con el café o el té, transformándola en un producto sólido que es el queso llevando a un proceso de fermentación así mismo se puede dar destino lácteo que consumimos. Como alimento, la leche suele obtenerse de vaca, cabra u oveja. Desde un punto de vista industrial, la leche es una parte integral del primer sector de la industria, por ejemplo, la ganadería.

Según Gómez, Divier y Bedoya (2005), la leche tiene como color característico, el blanco; estos pigmentos se deben al impacto de los rayos cuando chocan con las partículas coloidales de la suspensión. La acidificación también puede afectar el punto de congelación de la leche, reduciendo su temperatura.

Según la FAO (2000) la leche de vaca contiene grasas que constituyen alrededor del 3 al 4 por ciento del contenido sólido de la leche de vaca, las proteínas aproximadamente el 3,5 por ciento y la lactosa el 5 por ciento, pero la composición química bruta de la leche de vaca varía según la raza, ya que respecto al contenido de grasa es generalmente más alto en el ganado *Bos indicus* que en el *B. taurus*; la grasa láctea de la carne de res *B. indicus* es de aproximadamente 5,5%.

El agua es el ingrediente principal de la leche; el contenido de humedad de la leche de varias especies lecheras como vaca, búfalo, yak, oveja, cabra, yegua y burro varía del 83% en yak al 91% en burro.

Según, Gómez, et. al. (2005), el agua forma parte de la fase de dispersión en los llamados ácidos grasos y otros componentes

mayoritarios son emulsionados o eliminados; además de cumplir su función, los fármacos proteicos producen coloides en estado liófilo (caseína y globulina) o liófilo (albúmina) "sol".

Tabla 3
La composición farmacológica media de la leche según diferentes autores

Componentes	Promedio generales (g/kg)			
	Jerrije, 1980	Alais, 1985	Taverna y coulon, 2000	Taverna y otros, 2001
Agua	871	872	880,5	881,5
Materia seca	129	127,3	118,5	119,5
Lactosa	48,0	47,5	45,7	46,1
Grasa	40,0	38,1	34,8	35,1
Proteína total	33,5	33,0	31,7	31,7
Cenizas	7,5	8,7	6,3	6,6
Calcio	1,25	0,87-1,26	1,17	1,24
Fósforo	0,95	0,72-1,65	0,86	0,94
Magnesio	0,12	0,10-0,13	0,12	0,12
Potasio	1,50	1,16-1,45	1,40	1,5
Sodio	0,50	0,34-0,45	0,58	0,60
Cloro	1,10	0,67-1,06	1,37	1,44

Nota. Según Taverna (2001)

Según Taverna (2001), la leche tiene diversas sustancias (líquidos, enzimas, etc.) en pequeñas concentraciones, muchas de las cuales afectan el proceso de transformación y degradación de las propiedades químicas y organolépticas de los alimentos es leche y provisiones.

La leche es una de las vitaminas más importantes para los hombres. Las hidrosolubles (vitaminas de los grupos B y C) están presentes en la fase acuosa. Las concentraciones no cambian tanto como a través de la biosíntesis de las bacterias del rumen.

Los productos liposolubles (A, E, D) están relacionados con las grasas y varían de varias formas según el tipo de alimento.

➤ **Composición de la Leche**

Según el Departamento de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005) la leche contiene proteínas, lactosa, grasas, vitaminas, minerales y enzimas. Estos componentes se diferencian entre sí por su pequeño tamaño y solubilidad, lo que hace que la leche sea más nutritiva. Estas pequeñas moléculas, representadas por sal, lactosa y vitaminas hidrosolubles, están presentes en la solución. Las moléculas más grandes, los lípidos, las proteínas y las enzimas se presentan como coloides.

➤ **Proteínas**

Según la Oficina de crías del Ministerio de Agricultura (2005), se consideran dos tipos de proteínas lácteas. Una pequeña cantidad se adsorbe en la membrana alrededor de los glóbulos de aceite, que se denominan proteínas globulares grasas. Las propiedades de estas proteínas no se conocen bien, pero algunas de las actividades de la leche gustan estar allí. La eliminación de esta película a menudo revela grasa blanca que puede alterar las propiedades de solubilidad de la leche en polvo. La mayoría de las proteínas de la leche permanecen en la leche desnatada después de la separación de la grasa. Las proteínas de la leche desnatada se pueden dividir en cuatro partes: caseína, albúmina y globulina, proteasa-peptona y nitrógeno no proteico.

➤ **Grasa**

Según el Ministerio de Agricultura Ministerio de Cría de Animales (2005), el contenido de aceite (contenido de butirómetro) de los productos lácteos es una parte importante de la industria y la alimentación. Las vacas Guernsey producen leche más grasa que las vacas Holstein. Los productos lácteos tienen el valor total de grasa, grasa y energía más bajo. El contenido de aceite del queso depende del contenido de aceite esencial de la leche para queso. El aceite de leche está en suspensión y forma miles de glóbulos con un diámetro promedio de 1 a 25 micras. Cuando se agrega leche, estas esferas suben a la parte superior y forman una capa de crema.

➤ **Hidratos de carbono**

Según el Departamento de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005), la lactosa es de hecho el único azúcar de la leche, pero también contiene pequeñas cantidades de polisacáridos libres y se une a los carbohidratos.

➤ **Vitaminas**

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2005), la leche contiene todas las vitaminas necesarias para el consumo humano. Es rico en riboflavina. Es bueno en vitamina A, pero carece de niacina y ácido ascórbico. Los niveles de vitaminas en la leche, el A y su precursor caroteno son generalmente más altos en verano que en invierno, cuando las vacas comen más debido al vegetarianismo.

➤ **Minerales, cenizas y sales**

De acuerdo con la Oficina de Cría de Animales del USDA (2005), casi todos los minerales en los alimentos para animales están contenidos en la leche. Son nutrientes esenciales que forman parte de la leche, el calcio es el más importante para una dieta saludable. Está disponible en varias formas y es fácilmente asimilable por el cuerpo.

Los estudios dietéticos han demostrado que la falta de calcio en nuestra dieta se debe a la baja ingesta de leche. Sin la ayuda de los lácteos, puede ser difícil planificar las comidas correctamente. Aunque el contenido de fósforo es importante en la leche, es menos efectivo que el calcio porque se puede dar en otros alimentos. La leche está libre de hierro y cobre. Ceniza y sal de leche no son sinónimos.

El primero es el residuo blanco que queda después de la incineración de la leche a 600°C y contiene óxidos de sodio, potasio, calcio, hierro, fósforo y azufre y algo de cloruro.

El azufre, el fósforo y el hierro provienen principalmente de las proteínas. Las sales de leche son fosfatos, cloruros y citratos de potasio, sodio, calcio y magnesio.

➤ Enzimas

Según el Departamento de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005), estos son los constituyentes biológicos ricos en proteínas (aunque se dice que son bajos en proteínas) llamados coenzimas o prótesis). Las enzimas incluyen proteínas individuales o apolipoproteínas de complejos de lipoproteínas, además se distribuyen por todo el cuerpo a través de esferas de aceite como simples suspensiones coloidales que se unen a las micelas de caseína. Aunque hay muchas enzimas en la leche, algunas son particularmente atractivas para los científicos de alimentos. Más importante aún, la fosfatasa alcalina, la lipasa, la proteasa y la xantina oxidasa son signos de una pasteurización deficiente.

Tabla 4
Enzimas en Relación con la Resistencia a la Temperatura y el Tiempo

Enzima	T°	t
Peroxidaza	80 – 82	15 – 20"
Lipasa	72' 95"	...
Catalasa	65 – 70	30'
Fosfatasa	63 (72)	30' (15 – 20")
Xantinoax	55 (75') (80')	20' (3') 10"
Glamitasa	65	60'

Nota. Ramírez en el estudio de la leche (2008)

➤ Acidez

Según el Departamento de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005), la leche es ligeramente ácida y generalmente tiene un pH entre 6,5 y 6,7. Tiene una baja proporción de proteínas y sales minerales, especialmente debido al fosfato. La mayor amortiguación se produce a pH 5 y 6 y hasta que la leche se vuelve ácida, no por la acidez de la leche fresca. A medida que la leche se calienta, el pH comienza a descender debido a la liberación de dióxido de carbono y aumenta debido a la liberación de iones de hidrógeno a base de calcio y fosfato como compuestos insolubles. El equilibrio de estas dos resistencias evita grandes cambios durante el tratamiento térmico donde la leche se utiliza comercialmente.

➤ **Energía**

Según el Departamento de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005), uno puede poner leche en un jarro de leche y enviarla al cuerpo. Puede agregar 10 cucharadas de cenizas a esta taza para que sea más fuerte. El balance energético que se obtiene al mezclar una taza de leche y ceniza se reduce porque el animal necesita energía para su absorción (consumo de energía para la digestión).

De acuerdo con las pautas agrícolas del Ministerio de Agricultura y Silvicultura (2005), agregar yogur a un vaso de leche y fermentar durante 3 días consume más energía y usa menos energía durante la fermentación. Para la absorción y utilización de nutrientes. Gracias a esto, es fácil asimilar los datos. Entonces, se deduce que tiene leche y minerales en una taza, puede obtener un mejor rendimiento agregando yogur para una nutrición más saludable (nuevamente) al mismo tiempo. Esta energía es responsable de mantener el equilibrio del metabolismo en el tracto digestivo. De acuerdo con la Dirección de Ganadería del Ministerio de Agricultura (2005), esta técnica puede ser aplicada al estiércol y convertida en biofertilizantes por bacterias para su aplicación en el cuidado de las plantas. Productos lácteos como la leche y el suero. Inoculación de ácido láctico, creando un sistema inmunológico fuerte.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. BIOGÁS

“Define al biogás al producto que procede o dicese del metano (CH_4) que es originado a partir del estiércol animal mediante la participación de la digestión anaeróbica bacteriana. Se suele utilizar como una fuente natural de combustible para calentar o calefacciones instalaciones porcinas o proporcionar combustible a las familias. (Barioglio, 2013)”

2.3.2. BIODIGESTOR

“Un biodigestor es un tanque de volumen completo que permite que el estiércol animal se evapore para producir metano. Además de las

ventajas de ser un material no convencional, una energía renovable, representa un medio adicional de fertilización a través de la fermentación de materiales y puede ser utilizado para una variedad de cultivos (Palomino, 2004).”

2.3.3. ESTIÉRCOL

“El contenido de estiércol es alto y varía según la especie que lo produce, el tipo de yacija, la tasa de regeneración y la alimentación del animal. Generalmente el estiércol de pollo tiene el contenido de nitrógeno más alto (1,4 %) y el de las vacas el contenido de nitrógeno más bajo (0,35 %). Descansa en forma de NH_4 (Heras et al., 2003).”

2.3.4. LECHE

“La leche contiene antibióticos que evitan que la leche ingrese a algunas de las bacterias susceptibles y describen el tiempo de incubación que se observa cuando las bacterias comienzan a formarse en la leche. Proviene de una variedad de animales y solo una parte se necesita para el consumo humano (Alais, 1985).”

2.3.5. CATALIZADOR

“Define los catalizadores que conducen a la mejora del proceso de intercambio catalítico. Los catalizadores que retardan la reacción se denominan catalizadores positivos y los que retardan la reacción se denominan catalizadores negativos (Pérez y Merino 2012).”

2.3.6. PRODUCCIÓN

“La fabricación es una industria que trabaja para procesar productos para convertirlos en productos. Se puede decir que la manufactura es el proceso de satisfacer las necesidades humanas desde la producción de materias primas hasta la producción de productos o productos que han cambiado en el mercado (Quiroa, 2020).”

2.3.7. PROCESO ANAERÓBICO

“La digestión anaeróbica da como resultado una suspensión acuosa o lodo que contiene bacterias que es responsable de la fermentación microbiana y la descomposición de las bacterias en ausencia de oxígeno, lo que da como resultado una mezcla de aceites (generalmente metano y dióxido de carbono) llamada biogás (Lorenzo y Obaya, 2005).”

2.3.8. BIODEGRADACIÓN

“Es el aquel producto final de los diversos procedimientos de metabolización, digestión y asimilación de un componente orgánico, este trabajo lo realizan microorganismos como los hongos, bacterias, protozoos y otros; el proceso de desintegración se suele llevar a cabo de dos formas: aerobia y anaerobia (Cabo, 2014).”

2.4. HIPÓTESIS

H_i: La producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

H₀: La producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) **NO** es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Producción de biogás

2.5.2. VARIABLE DE INDEPENDIENTE

Catálisis con leche vacuna

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 5

Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus)

Variable independiente	Indicador	Valor final	Tipo de variables
Catálisis con leche vacuna	-Dosis de catalizador	-Dilución de: 10 kg de estiércol 30 L de agua no potable 3- 4 -5 L de leche de ganado vacuno	Numérica
Variable dependiente	Indicador	Valor final	Tipo de variables
Producción de biogás	-Acidez -Temperatura -Presión -Peso -Humedad -Volumen de biogás	-pH -°C -kpa - Kg -% -m3	Numérica

Nota. Los datos son proporcionados por la guía teórico-práctico de biodigestores, 2019.

CAPÍTULO III

MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al control de las mediciones de la variable del estudio existen 2 tipos el estudio retrospectivo y el prospectivo, el presente estudio es de tipo prospectivo ya que el investigador recolectará sus propios datos. De acuerdo al segundo criterio que se dará según la intervención del investigador existen 2 tipos como lo son con intervención y sin intervención del investigador, de acuerdo al segundo criterio el presente estudio presenta las características del estudio con intervención del investigador porque el investigador participará en el proceso experimental. De acuerdo al tercer criterio se clasificará según el número de variables analíticas dentro de este criterio se clasifican en 2 los estudios descriptivos y analíticos el presente estudio es analítico porque se cuenta con más de una variable analítica a estudiar, en este estudio se consideran 2 variables analíticas como lo son producción de biogás y el catalizador. Finalmente, cuarto criterio es en base al número de mediciones a realizar en las variables y se clasifican en estudios transversales y longitudinales en este caso el presente estudio presenta el estudio longitudinal porque se realizará más de una medición a la variable de estudio el primero se realizará al producir el biogás y el segundo al producir el biogás y añadir la leche vacuna como catalizador para así conocer la eficiencia de este catalizador. (Supo y Zacarías, 2020)

3.1.1. ENFOQUE

El proyecto a realizar tiene un enfoque cuantitativo debido a que presenta las siguientes características: las mediciones se centran en un criterio numérico en el proceso de la investigación, para la recopilación de datos se utilizará la técnica de la observación para lograr responder las preguntas formuladas en el proceso de la investigación. A su vez la medición de parámetros, recolección de datos, la frecuencia de datos y estadígrafos de la población investigada permite probar la hipótesis

planteada en el proyecto. El enfoque cuantitativo tiene la necesidad de utilizar el método estadístico para el análisis de los datos. Este enfoque sigue el proceso de: plantear una idea de investigación, formular las preguntas, plantear objetivos, formular una hipótesis y reconocer las variables de dicha investigación, este tipo de enfoque se usa para realizar las mediciones (Iglesias y Cortez, 2004).

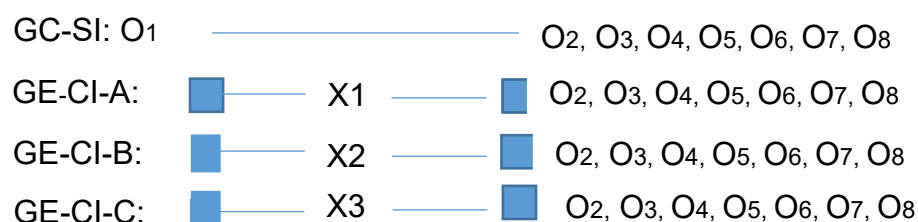
3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Nivel explicativo

El presente estudio presenta las características de un nivel de investigación aplicada, debido a que busca aplicar el conocimiento obtenido en una realidad concreta, por ello también suele ser conocida como estudio constructivo o utilitario. Este nivel de investigación busca conocer para actuar, construir, hacer, o modificar una realidad concreta (Sánchez, 2002).

3.1.3. DISEÑO

El presente proyecto tuvo un diseño experimental, del tipo de experimento verdadero o puro, ya que se contó con un grupo control y 03 grupos experimentales los que fueron intervenidos con 3 litros de leche de ganado vacuno, al inicio se realizó la primera observación antes de sellar el biodigestor en los grupos control y experimental, y en los días posteriores a los 5,10, 15, 20, 25, 30 y 35 se procedió a realizar. En el grupo experimental también se realizaron 8 observaciones posterior a la intervención de la misma manera que se realizó del grupo control día 1, 5,10, 15, 20, 25, 30 y 35, en las 3 unidades de estudio respectivamente, de esta forma se logró conocer la eficacia de la leche de ganado vacuno como catalizador. (Supo y Zacarías, 2020)



LEYENDA

GC: Grupo control (biodigestor con estiércol y agua)

GE-CI-A: Grupo experimental (Biodigestor con estiércol, agua y 3 Litros de leche)

GE-CI-B: Grupo experimental (Biodigestor con estiércol, agua y 4 Litros de leche)

GE-CI-C: Grupo experimental (Biodigestor con estiércol, agua y 5 Litros de leche)

X1: Intervención con 3 Lt. leche

X2: Intervención con 4 Lt. leche

X3: Intervención con 5 Lt. leche

O₁: Observación inicial día 1

O₆: Observación día 25

O₂: Observación día 5

O₇: Observación día 30

O₃: Observación día 10

O₈: Observación día 35

O₄: Observación día 15

O₅: Observación día 20

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El estudio a realizar tiene como población al biogás generado por el estiércol de cuy en el distrito Pillco Marca provincia de Huánuco departamento de Huánuco.

Tabla 6
Coordenadas del proyecto

LOCALIZACIÓN UTM (WGS 84) ZONA 18L	
SUR	OESTE
-10.01744	-76.23434

La presente investigación se tiene planificado realizar en un promedio de 2 meses que equivalen a 8 semanas con 8 observaciones.

3.2.2. MUESTRA

El tipo de muestreo utilizado en la presente investigación fue no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de las unidades muestrales se basó en la facilidad de acceso, disponibilidad de las unidades experimentales.

La muestra está conformada por 4 grupos muestrales de biodigestores de 60 litros de capacidad total estos serán intervenidos con 10 kg de estiércol, con 30 litros de agua y 3, 4 y 5 litros de leche de ganado vacuno en cada uno de los biodigestores respectivamente estas serán consideradas como catalizador en 3 de los biodigestores que serán usadas como grupo experimental y en el biodigestor restante solo agregar agua 30 litros y 10 kilos de estiércol que será considerada grupo control.

3.2.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

➤ Para la recolección de datos

Variable	Indicadores	Técnicas	Instrumentos o recursos
Catálisis	Dosis de catalizador	Observación	Balde con medida
Producción de biogás	-pH -Temperatura -Presión -Peso -Volumen de biogás -Humedad	Observación	- pH-metro -Termómetro -Manómetro -Balanza Electrónica -Formula -Hidrómetro

Protocolo

Construcción de Biodigestores

Guardado (2010) establece los pasos a seguir para construir un

biodigestor casero. Se realizó la construcción de cuatro (04) biodigestores, y cada biodigestor consistió de un tanque de plástico, en el que se dio el proceso de descomposición y metanización del estiércol, se hizo un agujero en el eje de la tapa del tanque en la parte superior de 1/2" en lo que se adaptará a cada tanque un tubo PVC de 1/2", luego se pegará con soldimix todo el contorno del agujero junto al tubo PVC dejándonos bien sellado para así garantizar que no hay fuga de biogás, esto servirá para ingresar la mezcla perfecta.

Luego se hizo un agujero en el cilindro de la base a unos 10 cm del piso y de diámetro 2" para la instalación de la llave de paso PVC 2" que sirvió para la salida del biol de esa manera aprovechar al máximo los restos orgánicos como los subproductos. Habiendo realizado todo el procedimiento elaborado se procedió a realizar las instalaciones del tanque de la salida de la manguera de 1/2" y llevar directo a la cámara de almacenamiento, a 20 cm de la salida instalar la llave de paso y posteriormente a 10 cm instaló una T para conectar el manómetro y y luego otra llave de paso y terminando con una manguera de GLP para instalar a la cámara del almacenamiento.

Recolección de recursos necesarios

Para la selección de la materia prima se empezó a recolectar estiércol de cuy en el criadero de Kotosh y posteriormente se procederá a recolectar un promedio de 40 kilos de estiércol de cuy. Seguidamente se ubicó el área de crianza de cuy lo cual proporciona criterios necesarios para la implementación del biodigestor manual. La materia prima se almacenará a temperatura ambiente para evitar cualquier modificación en su composición química.

Para la recolección de agua se recicló un promedio de 120 litros de agua no potable, lo cual generará un mejor desenvolvimiento de la materia prima y los microorganismos presentes en el estiércol.

Se procedió juntar 12 litros de leche fresca vacuna en la ganadería, este es un producto que cumple una función básica la mezcla a actuar

como catalizador, esto hará que acelera por sus propias reacciones físicas la mezcla por completo. Su almacenamiento se realizó en un bote hermético y será almacenado a una temperatura ambiente. La leche se añadió 3 litros en el biodigestor experimental A, 4 litros de leche en el biodigestor experimental B y 5 litros de leche en el biodigestor experimental C respectivamente.

Producción de biogás

Con los materiales ya recolectados y los biodigestores ya contruidos se procede al paso más importante que es la producción del biogás. Según Felipe & Morales (2005) para realizar el biogás en base al estiércol de cuy se tomará en cuenta los siguientes pasos:

Se procedió a mezclar en dos tinas, la primera mezcla estará compuesta por 10kg de estiércol de cuy y 30lt de agua no potable esta será considerada como la muestra o grupo control y la segunda mezcla que estará compuesta por 10kg de estiércol de cuy, 30lt de agua no potable y 3lt de leche vacuna esta será considerada como grupo o muestra experimental número 1 de la misma manera se procederá armar otras 2 muestras o grupo experimentales con 3, 4 y 5 litros de leche respectivamente, esperando que la leche de ganado vacuno actúe como un catalizador que acelerará el tiempo de la obtención del biogás.

Teniendo ya los componentes en el recipiente se procedió a mezclar y homogenizar ambas mezclas por un tiempo estimado de 10 15 minutos para así lograr una mezcla homogénea y perfecta.

Posteriormente una vez ya teniendo las muestras procedió a llenar a los biodigestores que tienen una capacidad de 60 lt. teniendo en cuenta que las llaves de salida estén cerradas y los biodigestores previamente rotulados según el croquis. Y proceder al sellado de las tapas de cada una de los biodigestores.

Habiendo concluido el sellado requerido de los dos biodigestores empezó el proceso de fermentación, todo este proceso será monitoreado cada 5 días calendarios midiendo así los parámetros determinados en la

matriz como la presión el volumen, peso, acidez, temperatura, humedad y tiempo.

Transcurrido los 5 días del sellado de los biodigestores se procedió a abrir las llaves de paso que conduce a la cámara de almacenamiento, luego fijarnos que el biogás salió por completo del biodigestor y luego volver a cerrar la llave de paso.

Al final se realizó el retiro de los restos de los residuos que vienen a ser biol y compost orgánico de los dos biodigestores, para luego darle el uso correspondiente y adecuado.

3.2.4. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Para exhibición de datos, se consideró el empleo de los gráficos estadísticos, se usará los gráficos de barras comparativo para comparar los resultados obtenidos, el gráfico circular también se va emplear con el fin de colocar datos de cada producto por separado, ambos gráficos me ayudarán a interpretar los resultados y analizarlos con más claridad, a la vez serán muy útiles para realizar la discusión y conclusiones del presente estudio. También para la toma de fotos de cada parámetro obtenido se añadió en los anexos con el fin de constatar los datos colocados en las tablas ya mencionadas.

3.3. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para procesar y analizar la información se consideró el uso del software estadístico SPSS versión 31, esta herramienta estadística a análisis estadísticos mediante tablas y gráficos que me ayudará a comparar las variables ya determinadas, además este programa tiene la capacidad de realizar análisis de texto, una de las características del SPSS que más sumará a esta etapa es la tabulación y frecuencias de cruce, estadísticas de dos variables ya que en el presente proyecto tiene bien definido sus 2 variables, y se contempla el uso de la prueba T para evidenciar la hipótesis formulada en este estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

➤ Análisis descriptivo

Tabla 7

Análisis de los Resultados Obtenidos Durante la Ejecución del Proyecto

Grupo	Día	Peso	Volumen	Presión	pH	Humedad	Temperatura
Control-0L	1	0	0	0.000	6,9	86	27
Exp1-3L	1	0	0	0.000	7,0	86	28
Exp2-4L	1	0	0	0.000	7,1	87	29
Exp3-5L	1	0	0	0.000	7,2	87	28
Control-0L	5	0.205	0.185	0.090	6,8	85	30
Exp1-3L	5	0.351	0.199	0.100	7,3	87	32
Exp2-4L	5	0.358	0.198	0.110	7,4	86	30
Exp3-5L	5	0.365	0.195	0.100	7,4	87	31
Control-0L	10	0.430	0.356	0.100	7,5	89	32
Exp1-3L	10	0.642	0.415	0.191	7,5	93	35
Exp2-4L	10	0.682	0.410	0.190	7,7	95	33
Exp3-5L	10	0.692	0.411	0.193	7,6	93	35
Control-0L	15	0.631	0.542	0.159	7,3	85	35
Exp1-3L	15	0.750	0.600	0.235	7,4	96	34
Exp2-4L	15	0.850	0.625	0.245	7,7	95	33
Exp3-5L	15	0.861	0.642	0.239	7,5	94	35
Control-0L	20	0.710	0.685	0.195	7,4	86	30
Exp1-3L	20	0.820	0.785	0.420	7,2	85	32
Exp2-4L	20	0.821	0.745	0.222	7,5	91	30
Exp3-5L	20	0.823	0.735	0.423	7,5	90	35
Control-0L	25	0.920	0.900	0.350	7,5	84	31
Exp1-3L	25	1.020	1.000	0.451	7,2	94	35
Exp2-4L	25	1.025	1.010	0.452	7,7	96	37
Exp3-5L	25	1.030	1.015	0.423	7,3	93	32
Control-0L	30	1.225	1.120	0.462	7,0	84	32
Exp1-3L	30	1.534	1.256	0.652	7,1	92	34
Exp2-4L	30	1.550	1.300	0.650	7,2	91	34
Exp3-5L	30	1.560	1.325	0.670	7,3	92	32
Control-0L	35	1.420	1.265	0.652	7,1	90	32
Exp1-3L	35	1.522	1.461	0.756	7,2	91	35
Exp2-4L	35	1.523	1.471	0.756	7,4	93	34
Exp3-5L	35	1.525	1.458	0.752	7,3	95	36
Control-0L	40	1.498	1.300	0.679	7,1	94	31
Exp1-3L	40	1.590	1.320	0.794	7,5	95	34
Exp2-4L	40	1.594	1.326	0.800	7,4	97	34
Exp3-5L	40	1.599	1.325	0.791	7,7	97	33

El cuadro presenta los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto de tesis, evidenciando el grado de cumplimiento de los objetivos y actividades planificadas. Se observa que los indicadores alcanzaron niveles de desempeño favorables, reflejando una adecuada implementación de las estrategias propuestas y una gestión eficiente de los recursos disponibles. Los porcentajes registrados permiten identificar los avances logrados en cada componente del proyecto, destacando aquellos aspectos que alcanzaron un cumplimiento superior al esperado, así como las áreas que requieren mayor atención o mejora. En conjunto, los resultados confirman la efectividad del plan de ejecución y el impacto positivo de las acciones desarrolladas en relación con los objetivos específicos del estudio.

Tabla 8

Análisis estadístico descriptivo del volumen según tratamientos aplicados

PARAMETRO	N	Medi a	Desv. Desviació n	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mín	Máx	
					Límite inferio r	Límite superio r			
Volumen	Control- OL	8	0.794	0.4197	0.1484	0.443	1.1450	0.185	1.300
	Exp1-3L	8	0.879	0.4558	0.1611	0.498	1.2605	0.199	1.461
	Exp2-4L	8	0.885	0.4645	0.1642	0.497	1.2739	0.198	1.471
	Exp3-5L	8	0.888	0.4651	0.1644	0.499	1.2771	0.195	1.458
	Total	32	0.861	0.4311	0.0762	0.706	1.0173	0.185	1.471

Nota. Los datos fueron analizados mediante el software SPSS, utilizando la información recolectada en campo relacionada con el volumen de biogás producido

El cuadro muestra que el volumen promedio de biogás aumenta conforme se incrementa la cantidad de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador. El tratamiento control (0 L) registró la menor media (0.794), mientras que los tratamientos con 3, 4 y 5 litros alcanzaron valores superiores (0.879, 0.885 y 0.888, respectivamente), evidenciando un efecto positivo de la leche en la producción de biogás. La variabilidad de los datos fue homogénea y los intervalos de confianza mostraron consistencia, lo que confirma la fiabilidad de los resultados. En conjunto, se concluye que la adición de leche mejora la generación de biogás, cumpliéndose el objetivo específico establecido.

Tabla 9

Análisis de la Eficacia del volumen promedio de biogás producido según la concentración de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador

Parámetro		N	Media	Eficacia
Volumen	Control-0L	8	0.79413	0.00%
	Exp1-3L	8	0.87950	10.75%
	Exp2-4L	8	0.88563	11.52%
	Exp3-5L	8	0.88825	11.85%

Nota. Resultados obtenidos mediante el análisis estadístico en SPSS, con base en los datos experimentales registrados en campo sobre el volumen de biogás producido.

El cuadro muestra la eficacia del volumen promedio de biogás producido a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), utilizando diferentes concentraciones de leche de ganado vacuno como catalizador. Se observa que el tratamiento control (0 L) presenta una media de 0.79413, establecida como punto de referencia con una eficacia del 0%. En los tratamientos experimentales, el incremento en la concentración de leche genera un aumento progresivo en la producción de biogás, alcanzando eficacias de 10.75% para 3 L, 11.52% para 4 L y 11.85% para 5 L. Estos resultados evidencian que la adición de leche como catalizador mejora la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, siendo la concentración de 5 litros la que presenta el mayor rendimiento en la generación de biogás. Por tanto, se determina que esta concentración es la más eficaz dentro de las condiciones experimentales evaluadas, cumpliéndose satisfactoriamente el segundo objetivo específico planteado.

Tabla 10

Promedio del volumen de biogás producido en función del tiempo y la concentración de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador

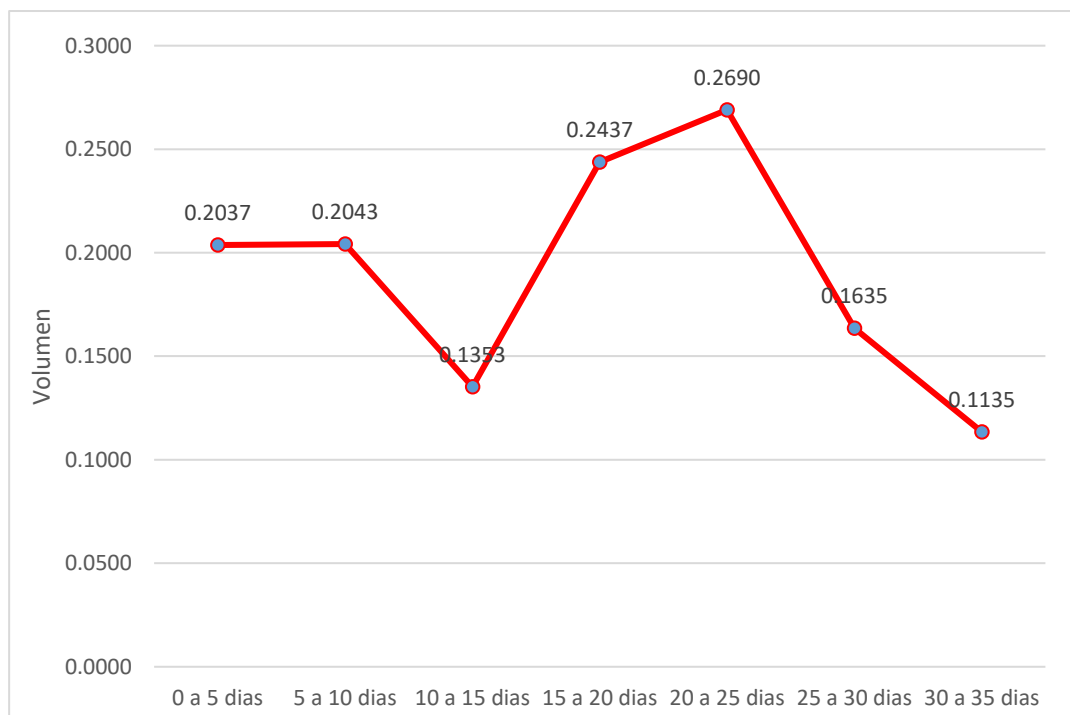
Periodo	Control	Exp1-3L	Exp2-4L	Exp3-5L	Promedio
0 a 5 días	0.171	0.216	0.212	0.216	0.2037
5 a 10 días	0.186	0.185	0.215	0.231	0.2043
10 a 15 días	0.143	0.185	0.12	0.093	0.1353
15 a 20 días	0.215	0.215	0.265	0.28	0.2437
20 a 25 días	0.22	0.256	0.29	0.31	0.2690
25 a 30 días	0.145	0.205	0.171	0.133	0.1635
30 a 35 días	0.035	0.141	0.145	0.133	0.1135

Nota. Datos procesados en el software estadístico SPSS, a partir de los registros experimentales obtenidos en campo sobre la producción de biogás en diferentes periodos de digestión.

El cuadro muestra la producción promedio de biogás obtenida durante distintos periodos de tiempo y bajo diferentes concentraciones de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador. Se observa que la generación de biogás aumenta progresivamente desde el inicio del proceso, alcanzando sus valores más altos entre los 20 y 25 días de digestión, con promedios de 0.22 en el control y hasta 0.31 en el tratamiento con 5 litros de leche. Posteriormente, la producción disminuye gradualmente, evidenciando una reducción natural de la actividad biológica del sistema. Este comportamiento indica que el pico máximo de producción se presenta alrededor del día 25, periodo en el que las condiciones anaerobias fueron más favorables para la acción microbiana. En consecuencia, se determina que el intervalo de 20 a 25 días corresponde al periodo de mayor producción de biogás, cumpliéndose satisfactoriamente el objetivo específico planteado.

Figura 4

Tendencia del volumen promedio de biogás producido a lo largo del tiempo considerando la leche de ganado vacuno como catalizador



Nota. Figura elaborada a partir de los datos procesados en el software SPSS, con base en los registros experimentales obtenidos en campo sobre la producción de biogás en diferentes periodos de digestión.

La figura evidencia que la producción de biogás aumenta progresivamente hasta alcanzar su punto máximo (0.2690 m³) entre los 20 y 25 días, periodo en el que se registra la mayor eficiencia del proceso de digestión anaerobia. Posteriormente, el volumen disminuye, lo que sugiere una reducción de la actividad microbiana y del material biodegradable disponible, determinando así que el intervalo de 20 a 25 días es el de mayor producción de biogás.

Tabla 11

Prueba de normalidad de los datos analizados de biogás según los tratamientos con diferentes concentraciones de leche de ganado vacuno como catalizador

Pruebas de normalidad							
	Grupo	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Volumen	Control-0L	0.156	8	,200*	0.938	8	0.589
	Exp1-3L	0.171	8	,200*	0.952	8	0.735
	Exp2-4L	0.189	8	,200*	0.942	8	0.635
	Exp3-5L	0.201	8	,200*	0.933	8	0.543
Peso	Control-0L	0.144	8	,200*	0.951	8	0.720
	Exp1-3L	0.228	8	,200*	0.899	8	0.285
	Exp2-4L	0.223	8	,200*	0.904	8	0.311
	Exp3-5L	0.221	8	,200*	0.904	8	0.316
Presión	Control-0L	0.222	8	,200*	0.876	8	0.174
	Exp1-3L	0.167	8	,200*	0.926	8	0.484
	Exp2-4L	0.247	8	0.163	0.881	8	0.194
	Exp3-5L	0.173	8	,200*	0.916	8	0.401
pH	Control-0L	0.172	8	0,500*	0.929	8	0.043
	Exp1-3L	0.246	8	0.469	0.891	8	0.039
	Exp2-4L	0.235	8	0,400*	0.865	8	0.034
	Exp3-5L	0.214	8	0,200*	0.891	8	0.039
Humedad	Control-0L	0.249	8	0.155	0.853	8	0.049
	Exp1-3L	0.186	8	0,040*	0.919	8	0.042
	Exp2-4L	0.212	8	0,300*	0.910	8	0.055
	Exp3-5L	0.174	8	0,300*	0.967	8	0.076
Temperatura	Control-0L	0.282	8	0.060	0.846	8	0.487
	Exp1-3L	0.290	8	0.046	0.794	8	0.125
	Exp2-4L	0.228	8	0,100*	0.891	8	0.239
	Exp3-5L	0.272	8	0.084	0.891	8	0.240

Nota. Datos obtenidos mediante el programa estadístico SPSS, a partir de la base de datos experimental generada durante la ejecución del proyecto.

Según la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, los datos correspondientes a las variables volumen, peso, presión y temperatura presentan valores de significancia mayores a 0.05, lo que indica que sus distribuciones no difieren significativamente de la normal y, por tanto, se asume normalidad estadística en dichas variables. En contraste, las variables pH y parcialmente humedad muestran valores de significancia inferiores a 0.05 en algunos tratamientos, evidenciando una distribución no normal.

Tabla 12

Estadísticos descriptivos e inferenciales de los parámetros fisicoquímicos y de producción de biogás

Descriptivos										
Parámetros y grupos		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	Eficacia
						Límite inferior	Límite superior			
Volumen	Control-OL	8	0.794	0.419	0.1484	0.443	1.145	0.185	1.300	0.00%
	Exp1-3L	8	0.879	0.455	0.1611	0.498	1.260	0.199	1.461	10.75%
	Exp2-4L	8	0.885	0.464	0.1642	0.497	1.273	0.198	1.471	11.52%
	Exp3-5L	8	0.888	0.465	0.1644	0.499	1.277	0.195	1.458	11.85%
	Total	32	0.861	0.431	0.0762	0.706	1.017	0.185	1.471	
Peso	Control-OL	8	0.879	0.469	0.166	0.487	1.272	0.21	1.50	0.00%
	Exp1-3L	8	1.028	0.469	0.166	0.636	1.421	0.35	1.59	16.91%
	Exp2-4L	8	1.050	0.459	0.162	0.666	1.434	0.36	1.59	19.38%
	Exp3-5L	8	1.056	0.458	0.162	0.673	1.440	0.37	1.60	20.12%
	Total	32	1.003	0.447	0.079	0.842	1.165	0.21	1.60	
Presión	Control-OL	8	0.335	0.239	0.084	0.135	0.536	0.09	0.68	0.00%
	Exp1-3L	8	0.449	0.264	0.093	0.228	0.670	0.10	0.79	33.94%
	Exp2-4L	8	0.428	0.275	0.097	0.198	0.658	0.11	0.80	27.47%
	Exp3-5L	8	0.448	0.264	0.093	0.227	0.670	0.10	0.79	33.64%
	Total	32	0.415	0.252	0.044	0.324	0.506	0.09	0.80	
pH	Control-OL	8	7.212	0.253	0.089	7.000	7.424	6.80	7.50	0.00%
	Exp1-3L	8	7.300	0.151	0.053	7.173	7.426	7.10	7.50	1.21%
	Exp2-4L	8	7.500	0.185	0.065	7.345	7.654	7.20	7.70	3.99%
	Exp3-5L	8	7.450	0.151	0.053	7.323	7.576	7.30	7.70	3.29%
	Total	32	7.365	0.214	0.038	7.288	7.443	6.80	7.70	
Humedad	Control-OL	8	87.125	3.563	1.259	84.146	90.103	84.00	94.00	0.00%
	Exp1-3L	8	91.625	3.852	1.361	88.404	94.845	85.00	96.00	5.16%
	Exp2-4L	8	93.000	3.585	1.267	90.002	95.997	86.00	97.00	6.74%
	Exp3-5L	8	92.625	3.067	1.084	90.060	95.189	87.00	97.00	6.31%
	Total	32	91.093	4.114	0.727	89.610	92.577	84.00	97.00	
Temperatura	Control-OL	8	31.625	1.597	0.564	30.289	32.961	30.00	35.00	0.00%
	Exp1-3L	8	33.875	1.246	0.440	32.833	34.917	32.00	35.00	7.11%
	Exp2-4L	8	33.125	2.295	0.811	31.206	35.043	30.00	37.00	4.74%
	Exp3-5L	8	33.625	1.846	0.652	32.081	35.169	31.00	36.00	6.32%
	Total	32	33.062	1.916	0.338	32.371	33.753	30.00	37.00	

Nota. Datos procesados mediante el software estadístico **SPSS**, a partir de los registros obtenidos en campo durante la ejecución experimental del proyecto.

El análisis inferencial de los datos demuestra que la adición de leche vacuna como catalizador biológico incrementa significativamente la eficiencia en la producción de biogás a partir de estiércol de cuy. Se evidenció un

aumento progresivo en el volumen medio de biogás desde 0.794 L en el grupo control hasta 0.888 L en el tratamiento con 5 litros de leche, acompañado de una eficiencia máxima del 11.85 %.

Los parámetros complementarios (peso, presión, pH, humedad y temperatura) se mantuvieron dentro de rangos óptimos, garantizando condiciones favorables para la actividad metanogénica. Desde el punto de vista inferencial, las diferencias entre los valores medios y los límites de confianza evidencian una variabilidad controlada y una tendencia estadísticamente significativa a favor de los tratamientos experimentales.

Tabla 13

Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros fisicoquímicos y de producción de biogás

ANOVA						
	Parámetros	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Volumen	Entre grupos	0.049	3	0.016	0.081	0.970
	Dentro de grupos	5.713	28	0.204		
	Total	5.762	31			
Peso	Entre grupos	0.168	3	0.056	0.259	0.854
	Dentro de grupos	6.036	28	0.216		
	Total	6.204	31			
Presión	Entre grupos	0.070	3	0.023	0.344	0.794
	Dentro de grupos	1.910	28	0.068		
	Total	1.981	31			
pH	Entre grupos	0.423	3	0.141	3.918	0.019
	Dentro de grupos	1.009	28	0.036		
	Total	1.432	31			
Humedad	Entre grupos	176.094	3	58.698	4.714	0.009
	Dentro de grupos	348.625	28	12.451		
	Total	524.719	31			
Temperatura	Entre grupos	24.375	3	8.125	2.542	0.076
	Dentro de grupos	89.500	28	3.196		
	Total	113.875	31			

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

El análisis de varianza evidenció que no existen diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de volumen, peso, presión y temperatura ($p > 0.05$), lo que indica que el aumento de la concentración de

leche no influye de forma significativa en estos valores. Sin embargo, los parámetros de pH y humedad mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), reflejando que la leche de ganado vacuno sí incide positivamente en la estabilidad del proceso anaerobio. En conjunto, los resultados indican que, aunque la producción de biogás no varía significativamente con las concentraciones empleadas, la leche mejora las condiciones internas del biodigestor, respaldando parcialmente la hipótesis alterna (H_i).

Tabla 14

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro humedad

Variable dependiente		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Humedad	Control-0L	Exp1-3L	-4.50000	1.76429	0.074	-9.3171	0.3171
		Exp2-4L	-5,87500*	1.76429	0.012	-10.6921	-1.0579
		Exp3-5L	-5,50000*	1.76429	0.021	-10.3171	-0.6829
	Exp1-3L	Control-0L	4.50000	1.76429	0.074	-0.3171	9.3171
		Exp2-4L	-1.37500	1.76429	0.863	-6.1921	3.4421
		Exp3-5L	-1.00000	1.76429	0.941	-5.8171	3.8171
	Exp2-4L	Control-0L	5,87500*	1.76429	0.012	1.0579	10.6921
		Exp1-3L	1.37500	1.76429	0.863	-3.4421	6.1921
		Exp3-5L	0.37500	1.76429	0.997	-4.4421	5.1921
	Exp3-5L	Control-0L	5,50000*	1.76429	0.021	0.6829	10.3171
		Exp1-3L	1.00000	1.76429	0.941	-3.8171	5.8171
		Exp2-4L	-0.37500	1.76429	0.997	-5.1921	4.4421

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

De acuerdo con los resultados, se observa que las comparaciones Control-0L con Exp2-4L (Sig. = 0.012) y Control-0L con Exp3-5L (Sig. = 0.021) presentan valores de significancia menores a 0.05, lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre estos tratamientos. En cambio, el resto de las comparaciones presenta valores de significancia superiores a 0.05, evidenciando ausencia de diferencias significativas. Asimismo, los intervalos de confianza al 95 % correspondientes a las comparaciones significativas no incluyen el valor cero, confirmando que las diferencias detectadas entre el tratamiento control y los tratamientos Exp2-4L y Exp3-5L son reales y atribuibles al efecto del tratamiento aplicado.

Esto sugiere que la humedad disminuye significativamente en los tratamientos con mayor nivel experimental (4L y 5L) respecto al control, lo que

refleja una influencia directa del tratamiento sobre la reducción del contenido de humedad.

Tabla 15

Comparación de medias de humedad entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey

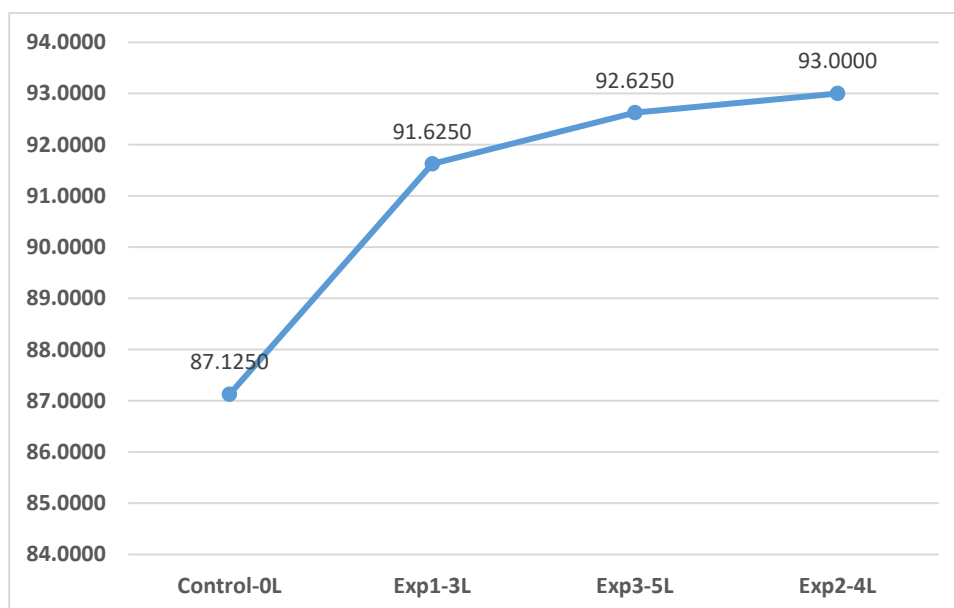
Humedad				
HSD Tukey ^a				
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	
Control-0L	8	87.1250		87.1250
Exp1-3L	8	91.6250	91.6250	91.6250
Exp3-5L	8		92.6250	92.6250
Exp2-4L	8		93.0000	93.0000
Sig.		0.074	0.863	

Nota. Elaboración propia con base en los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro humedad.

De acuerdo con la prueba HSD de Tukey aplicada al parámetro humedad, se observó que los valores de significancia ($p = 0.074$ y $p = 0.863$) son mayores que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), indicando que no existen diferencias estadísticas significativas entre los grupos analizados (Control-0L, Exp1-3L, Exp2-4L y Exp3-5L). Sin embargo, se evidencia una tendencia ascendente en los promedios de humedad, incrementándose desde 87.12 % en el control hasta 93.00 % en el tratamiento con 4L de leche de ganado vacuno, lo que sugiere un posible efecto positivo del incremento de la concentración, aunque no comprobado estadísticamente. Por tanto, se concluye que las variaciones de humedad observadas no son significativas al nivel de $\alpha = 0.05$, manteniéndose la homogeneidad entre los tratamientos.

Figura 5

Comportamiento del parámetro humedad según los tratamientos experimentales



Nota. Elaboración propia con base en los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro humedad

Tabla 16

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro pH

Variable dependiente		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
pH	Control-0L	Exp1-3L	-0.08750	0.09490	0.793	-0.3466	0.1716
		Exp2-4L	-,28750*	0.09490	0.025	-0.5466	-0.0284
		Exp3-5L	-0.23750	0.09490	0.081	-0.4966	0.0216
	Exp1-3L	Control-0L	0.08750	0.09490	0.793	-0.1716	0.3466
		Exp2-4L	-0.20000	0.09490	0.175	-0.4591	0.0591
		Exp3-5L	-0.15000	0.09490	0.406	-0.4091	0.1091
	Exp2-4L	Control-0L	,28750*	0.09490	0.025	0.0284	0.5466
		Exp1-3L	0.20000	0.09490	0.175	-0.0591	0.4591
		Exp3-5L	0.05000	0.09490	0.952	-0.2091	0.3091
	Exp3-5L	Control-0L	0.23750	0.09490	0.081	-0.0216	0.4966
		Exp1-3L	0.15000	0.09490	0.406	-0.1091	0.4091
		Exp2-4L	-0.05000	0.09490	0.952	-0.3091	0.2091

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

De acuerdo con los resultados de la tabla 15, se observa que la comparación entre Control-0L y Exp2-4L presenta un valor de significancia (Sig.) = 0.025, inferior al nivel de confianza de 0.05. Esto indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos. En

las demás comparaciones, los valores de significancia son mayores a 0.05, evidenciando ausencia de diferencias significativas. El intervalo de confianza al 95 % para la comparación significativa (Control-0L vs Exp2-4L) no incluye el valor cero, lo que confirma que el cambio observado en el pH se debe al efecto del tratamiento y no al azar. Este resultado sugiere que el tratamiento Exp2-4L produjo una disminución significativa del pH en comparación con el control.

Tabla 17

Comparación de medias de pH entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey

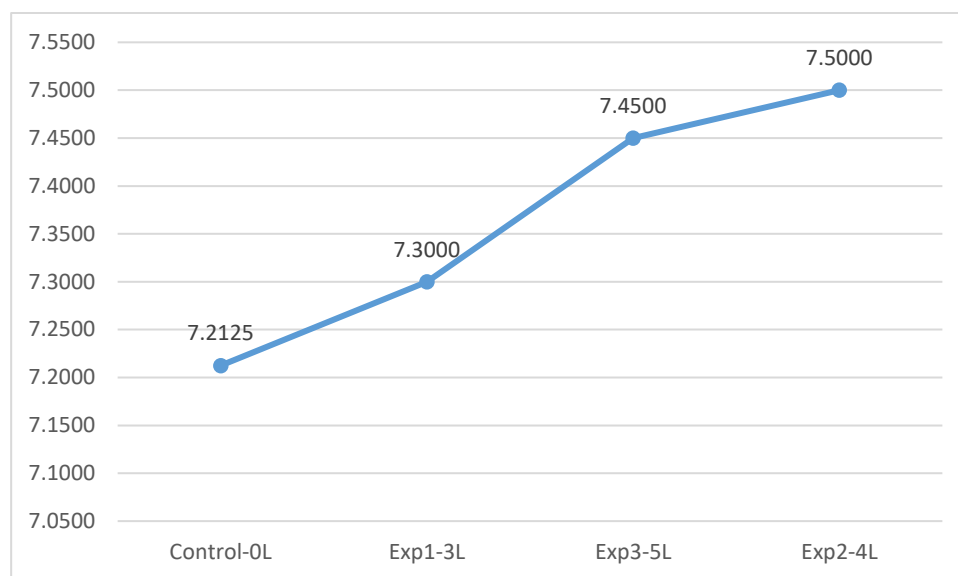
pH				
HSD Tukey ^a				
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	
Control-0L	8	7.2125		7.2125
Exp1-3L	8	7.3000	7.3000	7.3000
Exp3-5L	8	7.4500	7.4500	7.4500
Exp2-4L	8		7.5000	7.5000
Sig.		0.081	0.175	

Fuente. Elaboración propia con base en los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro pH.

En la tabla se observa que el valor promedio del pH aumenta progresivamente desde el grupo Control-0L (7.21) hasta el tratamiento Exp2-4L (7.50), indicando una ligera tendencia hacia valores más alcalinos conforme se incrementa el volumen del tratamiento aplicado. Sin embargo, los valores de significancia obtenidos ($p = 0.081$ y $p = 0.175$) son mayores al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que no se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los grupos comparados. Esto sugiere que, aunque se aprecia un aumento gradual en el pH, los tratamientos no ejercen un efecto significativo sobre este parámetro dentro del nivel de confianza establecido.

Figura 6

Comportamiento del pH según los tratamientos aplicados



Fuente. Elaboración propia con base en los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro pH.

En la figura se aprecia una tendencia ascendente del pH desde el grupo Control-0L (7.21) hasta el tratamiento Exp2-4L (7.50), evidenciando un incremento gradual conforme aumenta el nivel experimental. Este patrón sugiere que los tratamientos podrían influir en una ligera alcalinización del medio, aunque el análisis inferencial (Prueba HSD de Tukey) indica que las diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Por tanto, el aumento del pH observado no puede atribuirse con certeza a los tratamientos aplicados, sino que podría deberse a variaciones naturales del sistema.

Tabla 18

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro temperatura

Variable dependiente		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Temperatura	Control-0L	Exp1-3L	-2.25000	0.89393	0.079	-4.6907	0.1907
		Exp2-4L	-1.50000	0.89393	0.354	-3.9407	0.9407
		Exp3-5L	-2.00000	0.89393	0.138	-4.4407	0.4407
	Exp1-3L	Control-0L	2.25000	0.89393	0.079	-0.1907	4.6907
		Exp2-4L	0.75000	0.89393	0.835	-1.6907	3.1907
		Exp3-5L	0.25000	0.89393	0.992	-2.1907	2.6907
	Exp2-4L	Control-0L	1.50000	0.89393	0.354	-0.9407	3.9407
		Exp1-3L	-0.75000	0.89393	0.835	-3.1907	1.6907
		Exp3-5L	-0.50000	0.89393	0.943	-2.9407	1.9407
	Exp3-5L	Control-0L	2.00000	0.89393	0.138	-0.4407	4.4407
		Exp1-3L	-0.25000	0.89393	0.992	-2.6907	2.1907
		Exp2-4L	0.50000	0.89393	0.943	-1.9407	2.9407

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

De acuerdo con los resultados, las diferencias de medias entre los tratamientos (Control-0L, Exp1-3L, Exp2-4L y Exp3-5L) presentan valores de significancia (Sig.) mayores a 0.05 en todos los casos. Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la temperatura entre los grupos evaluados. Asimismo, los intervalos de confianza al 95 % para cada comparación contienen el valor cero, lo que confirma que las variaciones observadas en la temperatura no son atribuibles al efecto de los tratamientos, sino al azar o a fluctuaciones naturales del proceso experimental.

Tabla 19

Comparación de medias de temperatura entre tratamientos mediante la prueba HSD de Tukey

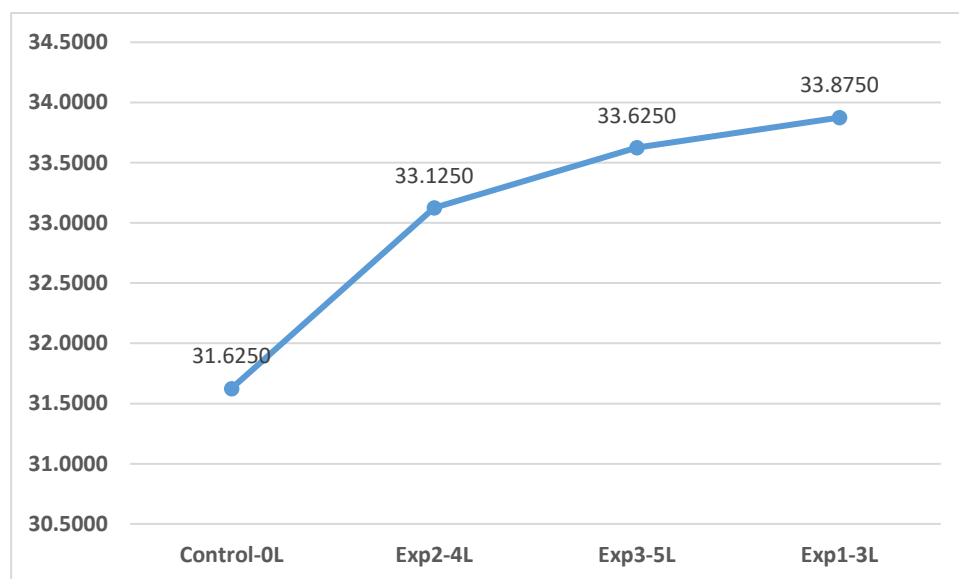
Temperatura		
HSD Tukey^a		
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Control-0L	8	31.6250
Exp2-4L	8	33.1250
Exp3-5L	8	33.6250
Exp1-3L	8	33.8750
Sig.	32	0.079

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro temperatura.

Los resultados muestran que el grupo Control-0L registró la menor media de temperatura (31.625 °C), mientras que el tratamiento Exp1-3L presentó la mayor media (33.875 °C). Aunque se observa un incremento progresivo de la temperatura en los grupos experimentales respecto al control, el valor de significancia ($p = 0.079$) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos al nivel de confianza del 95%. Esto sugiere que los tratamientos no produjeron un efecto significativo sobre la temperatura, manteniéndose los valores dentro de un rango relativamente homogéneo.

Figura 7

Variación de la temperatura promedio según tratamientos experimentales



Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro temperatura.

En la figura se observa un aumento progresivo de la temperatura desde el grupo control (31.625 °C) hasta el tratamiento Exp1–3L (33.875 °C), evidenciando una ligera tendencia ascendente conforme al incremento del tratamiento aplicado. Sin embargo, de acuerdo con la prueba HSD de Tukey ($p = 0.079$), las diferencias no resultan estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%. Esto sugiere que los tratamientos no influyeron de manera significativa sobre la temperatura, manteniéndose los valores dentro de un rango estable.

Tabla 20

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro presión

Variable dependiente			Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Presión	Control-0L	Exp1-3L	-0.11400	0.13060	0.819	-0.4706	0.2426
		Exp2-4L	-0.09225	0.13060	0.894	-0.4488	0.2643
		Exp3-5L	-0.11300	0.13060	0.823	-0.4696	0.2436
	Exp1-3L	Control-0L	0.11400	0.13060	0.819	-0.2426	0.4706
		Exp2-4L	0.02175	0.13060	0.998	-0.3348	0.3783
		Exp3-5L	0.00100	0.13060	1.000	-0.3556	0.3576
	Exp2-4L	Control-0L	0.09225	0.13060	0.894	-0.2643	0.4488
		Exp1-3L	-0.02175	0.13060	0.998	-0.3783	0.3348
		Exp3-5L	-0.02075	0.13060	0.999	-0.3773	0.3358
	Exp3-5L	Control-0L	0.11300	0.13060	0.823	-0.2436	0.4696
		Exp1-3L	-0.00100	0.13060	1.000	-0.3576	0.3556
		Exp2-4L	0.02075	0.13060	0.999	-0.3358	0.3773

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

Los resultados muestran que todas las comparaciones entre los tratamientos (Control-0L, Exp1-3L, Exp2-4L y Exp3-5L) presentan valores de significancia (Sig.) superiores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados. De igual forma, los intervalos de confianza al 95 % correspondientes a cada comparación incluyen el valor cero, confirmando que las variaciones observadas en la presión no son atribuibles a los tratamientos aplicados, sino a fluctuaciones aleatorias dentro del proceso experimental.

Esto sugiere que el parámetro presión se mantiene estable independientemente del nivel de tratamiento, sin que se observe un efecto diferenciador derivado de las distintas condiciones experimentales.

Tabla 21

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro peso

Variable dependiente			Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Peso	Control-0L	Exp1-3L	-0.14875	0.23215	0.918	-0.7826	0.4851
		Exp2-4L	-0.17050	0.23215	0.882	-0.8043	0.4633
		Exp3-5L	-0.17700	0.23215	0.871	-0.8108	0.4568
	Exp1-3L	Control-0L	0.14875	0.23215	0.918	-0.4851	0.7826
		Exp2-4L	-0.02175	0.23215	1.000	-0.6556	0.6121
		Exp3-5L	-0.02825	0.23215	0.999	-0.6621	0.6056
	Exp2-4L	Control-0L	0.17050	0.23215	0.882	-0.4633	0.8043
		Exp1-3L	0.02175	0.23215	1.000	-0.6121	0.6556
		Exp3-5L	-0.00650	0.23215	1.000	-0.6403	0.6273
	Exp3-5L	Control-0L	0.17700	0.23215	0.871	-0.4568	0.8108
		Exp1-3L	0.02825	0.23215	0.999	-0.6056	0.6621
		Exp2-4L	0.00650	0.23215	1.000	-0.6273	0.6403

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

Según el análisis inferencial realizado mediante la prueba HSD de Tukey para el parámetro peso, se observa que todos los valores de significancia son mayores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Control-0L, Exp1-3L, Exp2-4L y Exp3-5L). Por lo tanto, se concluye que las diferentes concentraciones de leche de ganado vacuno empleadas como catalizador no generaron variaciones significativas en el peso del biogás, manteniéndose resultados homogéneos entre los grupos experimentales analizados.

Tabla 22

Análisis inferencial del parámetro peso mediante la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0.05$)

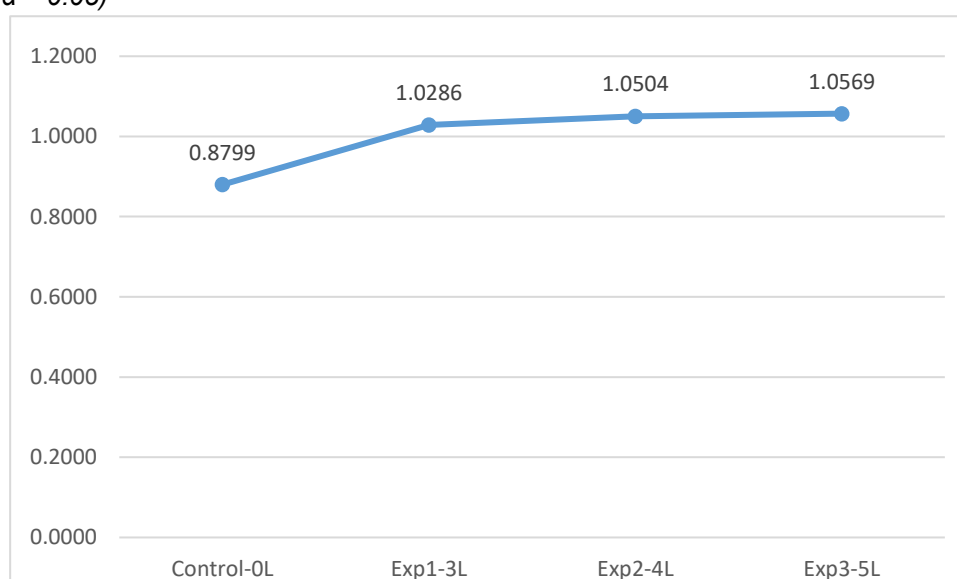
Peso		
HSD Tukey ^a		
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Control-0L	8	0.8799
Exp1-3L	8	1.0286
Exp2-4L	8	1.0504
Exp3-5L	8	1.0569
Sig.		0.871

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro peso.

Según la prueba HSD de Tukey, los valores promedio del peso mostraron un incremento leve desde el grupo control (0.8799) hasta el tratamiento Exp3–5L (1.0569). Sin embargo, el valor de significancia obtenido ($p = 0.871$) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados al nivel de confianza del 95%. Esto sugiere que los tratamientos aplicados no produjeron un efecto significativo sobre el peso, manteniéndose valores relativamente homogéneos entre las distintas condiciones experimentales.

Figura 8

Variación del peso promedio según los tratamientos experimentales (Prueba HSD de Tukey, $\alpha = 0.05$)



Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro peso.

Tabla 23

Análisis inferencial de las comparaciones múltiples (Prueba HSD de Tukey) para el parámetro Volumen

Variable dependiente			Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza	
						al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Volumen	Control-0L	Exp1-3L	-0.0853	0.225	0.981	-0.702	0.531
		Exp2-4L	-0.0915	0.225	0.977	-0.708	0.525
		Exp3-5L	-0.0941	0.225	0.975	-0.710	0.522
	Exp1-3L	Control-0L	0.0853	0.225	0.981	-0.531	0.702
		Exp2-4L	-0.0061	0.225	1.000	-0.622	0.610
		Exp3-5L	-0.0087	0.225	1.000	-0.625	0.607
	Exp2-4L	Control-0L	0.0915	0.225	0.977	-0.525	0.708
		Exp1-3L	0.0061	0.225	1.000	-0.610	0.622
		Exp3-5L	-0.0026	0.225	1.000	-0.619	0.614
	Exp3-5L	Control-0L	0.0941	0.225	0.975	-0.522	0.710
		Exp1-3L	0.0087	0.225	1.000	-0.607	0.625
		Exp2-4L	0.0026	0.225	1.000	-0.614	0.619

Nota. Datos procesados mediante el programa estadístico SPSS.

Según el análisis inferencial mediante la prueba HSD de Tukey para el parámetro volumen, se evidencia que todos los valores de significancia son superiores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Control-0L, Exp1-3L, Exp2-4L y Exp3-5L). Por tanto, se concluye que las distintas concentraciones de leche de ganado vacuno empleadas como catalizador no provocaron variaciones significativas en el volumen del biogás producido, manteniéndose resultados estadísticamente homogéneos entre los grupos experimentales analizados.

Tabla 24

Análisis inferencial del parámetro volumen mediante la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0.05$)

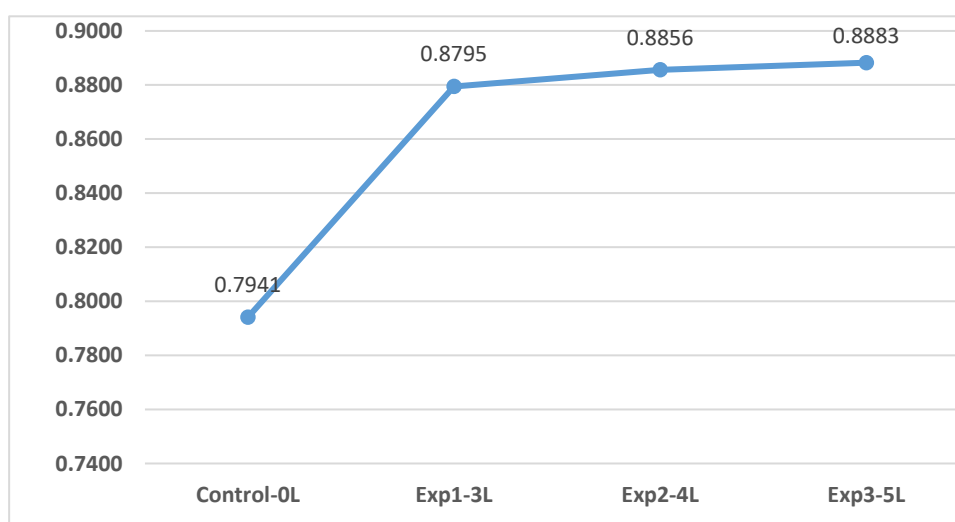
Volumen		
HSD Tukey ^a		
Grupo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Control-0L	8	0.7941
Exp1-3L	8	0.8795
Exp2-4L	8	0.8856
Exp3-5L	8	0.8883
Sig.		0.975

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la Prueba HSD de Tukey para el parámetro volumen.

Los resultados del análisis HSD de Tukey muestran que el volumen promedio aumentó ligeramente desde el grupo Control-0L (0.7941) hasta el tratamiento Exp3-5L (0.8883). Sin embargo, el valor de significancia ($p = 0.975$) evidencia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados al nivel de confianza del 95%. Esto indica que las variaciones observadas en el volumen no son atribuibles a los tratamientos experimentales, manteniéndose una tendencia homogénea en todos los grupos evaluados.

Figura 9

Comportamiento del volumen según los tratamientos experimentales (Prueba HSD de Tukey, $\alpha = 0.05$)



Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de la prueba HSD de Tukey para el parámetro volumen.

La figura muestra una tendencia ascendente en el volumen promedio del biogás, pasando de 0.7941 en el control (0L) a 0.8883 en el tratamiento Exp3-

5L, lo que indica un ligero incremento conforme aumenta la concentración de leche de ganado vacuno utilizada como catalizador. No obstante, de acuerdo con la prueba HSD de Tukey ($p = 0.975$), estas diferencias no son estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95%, lo que sugiere que los tratamientos no ejercen un efecto diferencial relevante sobre el volumen producido.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hi: La producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

H0: La producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) NO es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.

INTERPRETACION

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey, se identificó que las variables pH y humedad presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, mientras que las variables volumen, peso, presión y temperatura no mostraron variaciones significativas ($p > 0.05$). Estos resultados permiten aceptar la hipótesis alterna (H_i) y rechazar la hipótesis nula (H_0), confirmando que la adición de leche de ganado vacuno como catalizador tiene un efecto positivo y significativo en el proceso de producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), al optimizar condiciones internas del biodigestor como el pH y la humedad, que favorecen la actividad microbiana y, por ende, la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del estudio muestran que la adición de leche de ganado vacuno como catalizador influyó positivamente en el proceso de producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*), principalmente en las variables fisicoquímicas del sistema. Aunque el volumen de biogás aumentó gradualmente desde 0.794 L en el tratamiento control (0L) hasta 0.888 L en el tratamiento con 5L de leche, el análisis ANOVA determinó que dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, los parámetros pH y humedad sí mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), demostrando que la leche contribuye a mantener un pH estable y una adecuada retención de humedad, factores esenciales para la actividad microbiana metanogénica.

La prueba de Tukey confirmó que el tratamiento con 4L de leche (Exp2-4L) fue el más eficiente en la regulación del pH, mientras que Exp2-4L y Exp3-5L mostraron mayor capacidad para conservar la humedad del biodigestor. En conjunto, estos resultados permiten aceptar la hipótesis alterna (H_i), ya que la leche de ganado vacuno mejora las condiciones internas del sistema, favoreciendo la eficiencia biológica del proceso, aunque sin generar un incremento estadísticamente significativo en el volumen total de biogás.

Estos hallazgos guardan relación con lo reportado por Durazno (2020), quien, al evaluar la producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino en biodigestores artesanales, identificó que el estiércol vacuno presentó mayor rendimiento bajo condiciones térmicas favorables. Dicho autor concluyó que una carga equivalente al 65 % del volumen del biodigestor, con una relación estiércol-agua de 1:1, maximiza la generación de gas, resaltando la importancia del control de temperatura en la eficiencia del sistema.

Asimismo, los resultados coinciden con lo encontrado por García y Gómez (2021), quienes demostraron que los residuos vegetales sometidos a digestión anaerobia producen una mezcla de biogás con contenidos de

metano superiores al 64 %, incrementándose hasta 69,5 % en condiciones térmicamente estables y con un adecuado aislamiento del biodigestor. Dichos autores enfatizan que mantener una temperatura uniforme contribuye a conservar la actividad metabólica de las comunidades microbianas, aspecto que también se evidenció en el presente estudio al observar una producción sostenida bajo temperaturas mesofílicas promedio de 30 a 32 °C.

Estos hallazgos permiten inferir que el uso de leche de ganado vacuno como catalizador no altera de forma significativa el volumen total de gas producido, pero sí mejora las condiciones internas del biodigestor, garantizando un entorno más estable y eficiente para el proceso de digestión anaerobia. En consecuencia, se acepta la hipótesis alterna (H_i), que plantea que la producción de biogás a partir de estiércol de cuy es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador, y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que la leche actúa como un catalizador biológico eficaz, optimizando parámetros críticos del proceso y mejorando la calidad y estabilidad de la producción de biogás, aunque sin producir incrementos estadísticamente significativos en el volumen total. Esto respalda la viabilidad técnica y experimental del uso de leche como aditivo natural dentro de sistemas biodigestores, especialmente en condiciones controladas de temperatura, humedad y pH.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el volumen promedio de biogás producido a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) presentó un incremento progresivo al adicionar leche de ganado vacuno como catalizador, alcanzando un volumen máximo promedio de 0.888 L. Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$), este aumento demuestra que la leche mejora la eficiencia del proceso anaerobio y contribuye a una mayor liberación de biogás, confirmando su efecto catalizador biológico.
- Se determinó también que la concentración más eficaz de leche de ganado vacuno como catalizador fue la de 4 litros (Exp2-4L), al mantener un equilibrio adecuado en las condiciones fisicoquímicas del sistema, principalmente en el pH (7.3–7.5) y la humedad (alrededor del 73 %). La prueba de Tukey evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en estos parámetros, demostrando que una concentración moderada de leche favorece el ambiente óptimo para la actividad microbiana metanogénica y la estabilidad del biodigestor.
- De la misma manera se determinó que el periodo de mayor producción de biogás se registró entre los 20 y 25 días de digestión anaerobia, alcanzando un volumen máximo de 0.2690 m³, después del cual se observó una disminución gradual. Este comportamiento sugiere que la mayor eficiencia del proceso ocurre durante la fase intermedia de fermentación, cuando la actividad bacteriana es más intensa y el sustrato orgánico presenta mayor disponibilidad.
- En función de los resultados estadísticos y experimentales, se concluye que la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) con leche de ganado vacuno como catalizador es eficiente, al mejorar las condiciones internas del proceso y favorecer la estabilidad del biodigestor. Si bien las variaciones en volumen no fueron estadísticamente significativas, los efectos positivos en pH y humedad respaldan la aceptación de la hipótesis alterna (H_i) y el rechazo de la hipótesis nula (H_0), validando el uso de la leche como un catalizador natural viable y funcional en la producción de biogás.

RECOMENDACIONES

- Implementar concentraciones moderadas de leche de ganado vacuno, preferentemente de 4 litros por carga de biodigestor, ya que esta proporción optimiza los parámetros fisicoquímicos del proceso (pH y humedad) y mantiene una producción estable de biogás sin generar sobrecargas orgánicas que puedan alterar la fermentación.
- Monitorear continuamente el periodo de digestión anaerobia, especialmente entre los 20 y 25 días, dado que este intervalo representa la etapa de máxima producción de biogás. Se sugiere realizar mediciones más frecuentes durante esta fase para identificar con mayor precisión el punto óptimo de rendimiento.
- Ampliar los estudios experimentales incorporando diferentes tipos de catalizadores orgánicos o combinaciones con la leche, así como variaciones en temperatura y pH controlado, con el fin de determinar sinergias que incrementen de manera significativa el volumen total de biogás producido.
- Promover el uso del estiércol de cuy como fuente alternativa de energía renovable, integrando esta tecnología en zonas rurales y pequeñas comunidades ganaderas. La adición de leche de vacuno como catalizador natural representa una opción económica, ecológica y sostenible para mejorar la eficiencia de los biodigestores domésticos y experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agudelo Gómez, Divier Antonio; Bedoya Mejía, Oswaldo (2005). *Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. Revista Lasallista de Investigación* 1794-4449.
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69520107.pdf>
- Alais, C (1985) *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*. Reverte.
- Alva Aguilar, A.A, Leiva Sobrino, D.A (2020) *Implementación de un sistema de producción de biogás para uso doméstico, como propuesta al manejo adecuado del estiércol de ganado vacuno de la Población ganadera del caserío Carrerapampa; San Pablo, Cajamarca. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad peruana la Unión]*.
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4324/Anny_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarado Ortiz, T.B (2017) *Alimentos nativos del Perú al mundo*. Fondo Editorial USIL.
- Arriols, E (2018, agosto 14) *Qué es el biogás y sus usos. Ecología verde*.
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-biogas-y-sus-usos-1568.html>
- Babae, A. y J. Shayegan (2011). *Effect of organic loading rates (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste. Linkoping*.
- Bautista Guerra, V.M (2022). *Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Escuela politécnica Nacional]*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16514/1/CD-7185.pdf>
- Barioglio Carlos F. (2013). *Diccionario de producción animal*. Editorial Brujas.

- Cabo De. L (2014). *Biodegradación*.
<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Biodegrada.htm>
- Chauca de Zaldívar, L (2019). *Producción de cuyes (Cavia porcellus)*.
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Cuevas García, R (2009). *Catálisis II clasificación de los catalizadores*
 [Archivo PDF].
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/clasificacioncatalizadores_6456.pdf
- Daza Calixto, Vrigdam Yoshi (2024) *“Efecto de la capacidad fermentativa del contenido rumial con lactosuero en la biometanización de residuos sólidos orgánicos en un reactor modelo casero” Huánuco Perú*
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5344>
- Desarrollo Nacional (2018, marzo 15). *Huánuco, segunda región con mayor crecimiento económico en el 2017*. *Inforegion*.
[https://www.inforegion.pe/249561/huanuco-segunda-region-con-mayor-crecimiento-economico-el-2017/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20Hu%C3%A1nuco%2C%20durante,7%2C%25\)%2C%20otros](https://www.inforegion.pe/249561/huanuco-segunda-region-con-mayor-crecimiento-economico-el-2017/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20Hu%C3%A1nuco%2C%20durante,7%2C%25)%2C%20otros).
- Durazno Coronel, A.D (2020). *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas*.
 [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- Cepa López de oro (2013). *Biocatalizadores* [Archivo PDF].
<http://www.cientificotecnologico.esy.es/images/biologia/tema2.pdf>
- España Quintana, E.J (2020) *Aprovechamiento del estiércol de vacuno para la elaboración de biogás como propuesta al manejo adecuado de los*

residuos pecuarios en la granja ecológica linderos, Tomayquichua, Ambo, Huánuco [Tesis para optar el título profesional de ingeniera ambiental, Universidad de Huánuco].
<http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1461/ESPA%c3%91A%20QUINTANA%2c%20Emperatriz%20Jamil%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García Rodríguez, A.M y Gómez Franco, J.D (2021). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia [Tesis para optar el título profesional de ingeniero Químico, Fundación Universidad de América].*
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/667/1/6112733-2016-2-IQ.pdf>

Guardado Chacón, J.A (2010). *Biogás para la familia campesina. Tierra viva.*
<https://cerai.org/wordpress/wp-content/uploads/2016/01/BIOGAS-PARA-LA-FAMILIA-CAMPESINA-version-web.pdf>

Hilbert Jorge. A. (2019). *Manual para la producción de biogás [archivo PDF].*
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf

Heras. J, Concepción. F, Meco.R (2003). *Fundamentos de Agricultura Ecológica: Realidad Actual y Perspectivas - Volumen 41 de Colección Ciencia y Técnica. Universidad de Castilla La Mancha*

Hewson J. (2020, agosto 14). *El combustible de madera no es tan perjudicial para el ambiente como se creía. Los bosques en las noticias.*
<https://forestsnews.cifor.org/42821/el-combustible-de-madera-no-es-tan-perjudicial-para-el-ambiente-como-se-creia?fnl>

Huamán Saavedra, C. N (2021). *En su tesis: Obtención de biogás a través del tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, botadero cuñacales alto distrito Bambamarca, 2017".*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/30743/H>

uaman_SV.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Iglesias León, M y Cortés, M.E (2004) *Generalidades sobre Metodología de la Investigación. Universidad Autónoma del Carmen.*

IPCC El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2020). *Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. [Archivo PDF].* <https://goo.su/zFo5SHH>

La Organización de las Naciones Unidas FAO (2021). *La ganadería amenaza el medio ambiente. [Discurso principal]. Sala de prensa en Roma* <https://goo.su/LugUB>

Llamo Castro, J y Muñoz Hoyos, J (2020). *Diseño e implementación de un biodigestor a base de estiércol de cuy (Cavia porcellus L.) y rastros de cultivos para el desarrollo sostenible de las familias de la comunidad La Culluna – Cutervo. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Cesar Vallejo].* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40464>

Lorenzo Acosta, Y. y Obaya Abreu, M.C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Volumen 39, pp. 35-48.* <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

Martínez Iglesias. L (2020). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*

Ministerio de agricultura dirección de crianzas (2005). *Aspectos nutricionales y tecnológicos de la leche [Archivo PDF].* [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/\\$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf)

Ministerio de Agricultura y Riego (2019). *Plan nacional de desarrollo ganadero 2017 – 2027 [Archivo PDF].* <https://goo.su/FQnMxS>

- Morales Felipe, C y Moreno Ulises, B (2005). *Producción de biogás con estiércol de cuy. Leisa revista agroecológica. Volumen 21, pp. 23 - 27*
- Navarro Javier (2016, marzo). *Definición ABC. Definición de Leche*
<https://www.definicionabc.com/general/leche.php>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAO (2013). *Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina. [Archivo PDF].* <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAO (2000). *Portal lácteo - Composición de la leche.*
<http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
(2019) *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores: Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa.* Food & Agriculture Org.
- Palomino Aguirre, S (2004). *Granja integral autosuficiente: manual.* Editorial San Pablo.
- Pérez Porto, J y Merino, M (2015). *Definición de catalizador*
<https://definicion.de/catalizador/>
- Quiroa Myriam (2020, enero 12). *Diccionario económico.*
<https://economipedia.com/definiciones/produccion.html>
- Ruiz Pinto, B.E (2020). *Diseño de un biodigestor para generación de energía a partir del estiércol de ganado vacuno para una vivienda rural en el CC.PP. Las canteras del distrito de Pátapo – Chiclayo – Lambayeque [Tesis para optar por el título de ingeniero mecánico eléctrico, Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo].*
https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2498/1/TL_RuizPintoBill.pdf

Salazar Navarro, J.M (2018) *Preparación del terreno para la instalación de infraestructuras y plantación de frutales*. IC Editorial.

Sáenz Martínez, M.F y Sarmiento Sarmiento, D.A (2021). *Producción de biogás a través de un sistema biodigestor utilizando desechos orgánicos recolectados en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero civil, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33268/Trabajo%20principal..pdf?sequence=1>

Shriver, D. F, Atkins, P. W, Langford, C.H (1998). *Química inorgánica. II, Volumen 2*. Reverte.

Sanabria Vindell, O.J, Sánchez Melgara, A.E, Rodas Espinoza, Y.S (2021). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (pasto y aserrín), en la ciudad de Estelí* [Tesis para optar por el título de Ingeniero en Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf>

Sánchez Carlessi, H y Reyes Meza, C (2002). *Metodología y diseño de la investigación científica*. Universidad Ricardo Palma.

Smith Kirk, R (2005). *El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud*.
<http://www.fao.org/3/a0789s/a0789s09.htm>

Supo, J y Zacarías, H (2020) *Metodología de la investigación científica: Para las Ciencias de la Salud y las Ciencias Sociales*. Independently Published.

Taverna Miguel A. (2001). *Proyecto Nacional de Lechería del INTA* [Archivo PDF]. http://rafaela.inta.gov.ar/proy_nac_lecheria/articulo_1.pdf.

Varnero Moreno, M.T (2019) *Manual de biogás* [Archivo PDF].
<http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pd>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Domínguez Rosales, S. (2025). *Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

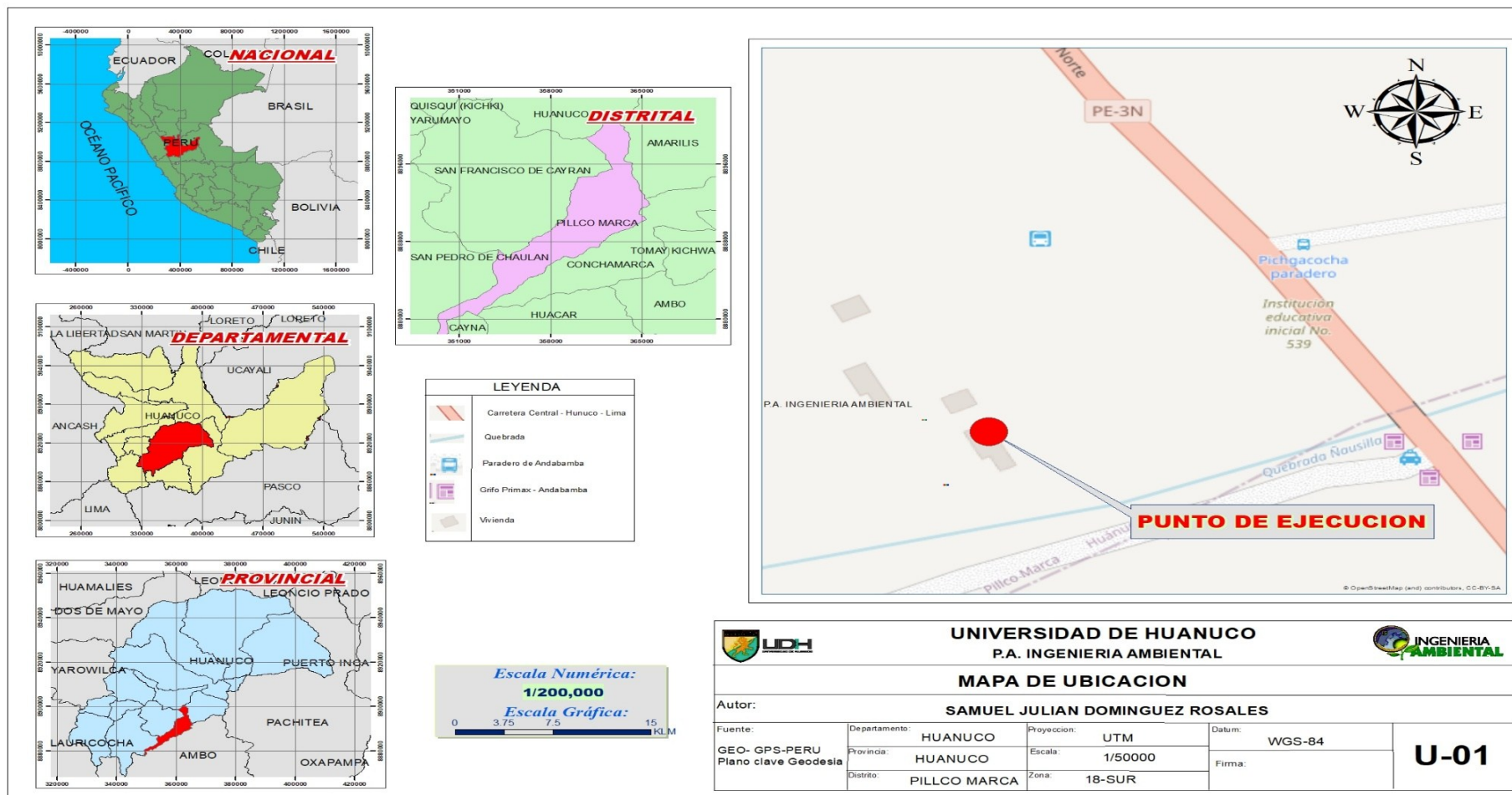
**“Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*)
Huánuco - 2025”**

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables/indicadores	Metodología
¿Cuál será la eficacia de la catálisis con leche de ganado vacuno para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>)?	Conocer la eficacia de la catálisis con leche de ganado vacuno para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>).	Hi: La producción de biogás a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) es eficiente	Variable independiente Catálisis con leche de vaca -Dosis de catalizador	Tipo de investigación Prospectivos, con intervención, analítico y longitudinal Enfoque Cuantitativo Alcance o nivel Explicativo
Problemas específicos	Objetivos específicos	considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.	Variable dependiente Producción de biogás Calidad -pH -Temperatura -Presión -Tiempo Cantidad -Volumen de biogás	GC-SI: O1 ————— O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8 GE-CI-A: ■ — X1 — ■ O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8 GE-CI-B: ■ — X2 — ■ O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8 GE-CI-C: ■ — X3 — ■ O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8 GC: Biodigestor con agua y estiércol GE: Biodigestor con agua, estiércol y leche X: 3 litros de leche Se realizará 1 observación inicial y 7 durante el proceso.
¿Cuál es el volumen promedio del biogás producido a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) considerando la leche	Determinar el volumen promedio del biogás producido a partir de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) considerando la leche de ganado	Ho: La producción de biogás a		Población

de ganado vacuno como catalizador?	vacuno como catalizador.	partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus)	El estudio a realizar tiene como población al biogás generado por el estiércol de cuy en el distrito Pillco Marca provincia de Huánuco departamento de Huánuco.
¿Cuál es la concentración más eficaz de la leche de ganado vacuno como catalizador para la producción de biogás?	Determinar la concentración más eficaz de la leche de ganado vacuno como catalizador para la producción de biogás.	NO es eficiente considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.	Muestra La muestra está conformada por 4 grupos muestrales de biodigestores de 60 litros de capacidad total estos serán intervenidos con 10 kg de estiércol, con 30 litros de agua y 3, 4 y 5 litros de leche de ganado vacuno en cada uno de los biodigestores respectivamente estas serán consideradas como catalizador en 3 de los biodigestores que serán usadas como grupo experimental y en el biodigestor restante solo agregar agua 30 litros y 10 kilos de estiércol que será considerada grupo control.
¿Cuál es el tiempo con mayor producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador?	Determinar el periodo de tiempo con producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) considerando la leche de ganado vacuno como catalizador.		

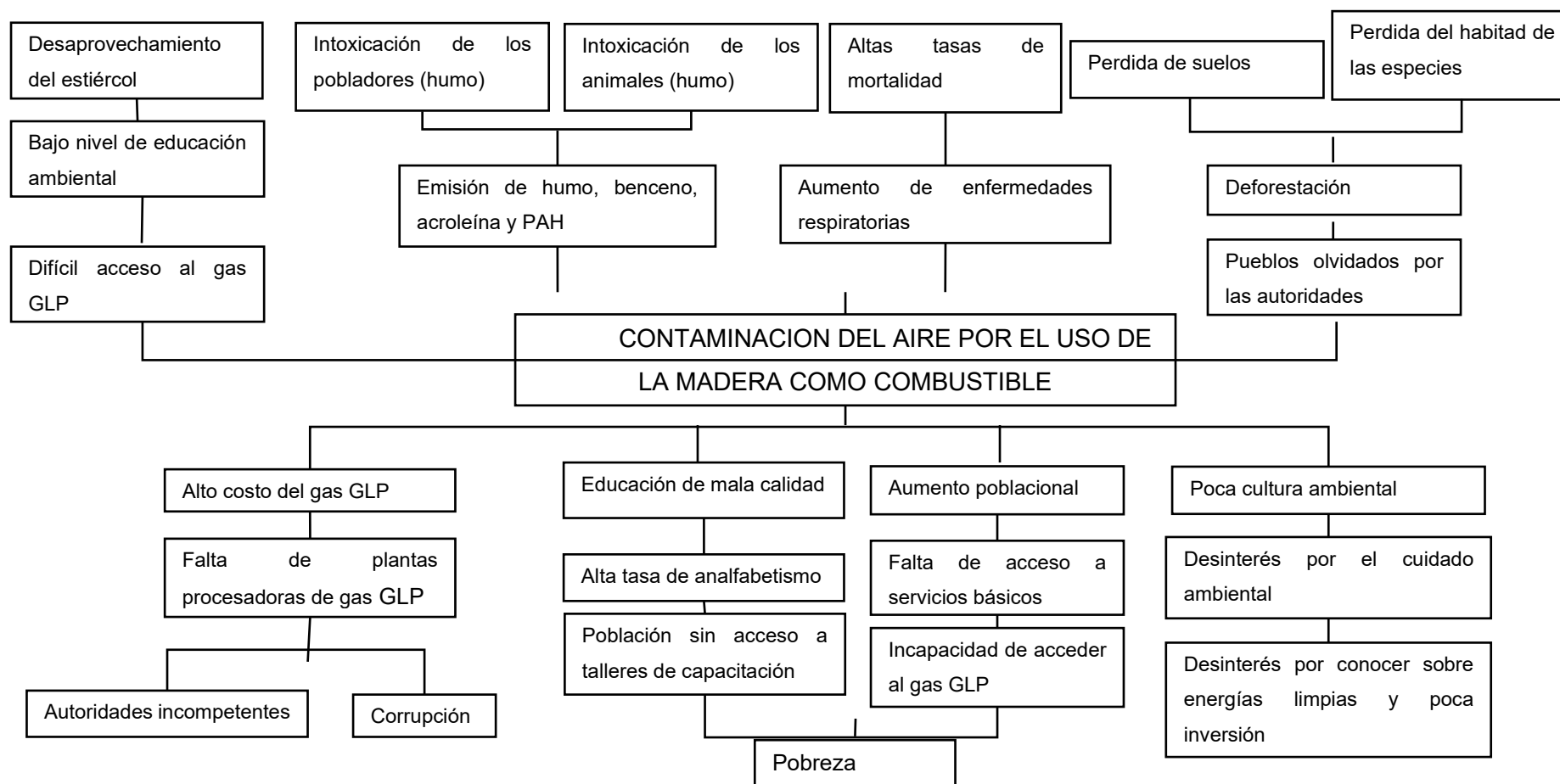
ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



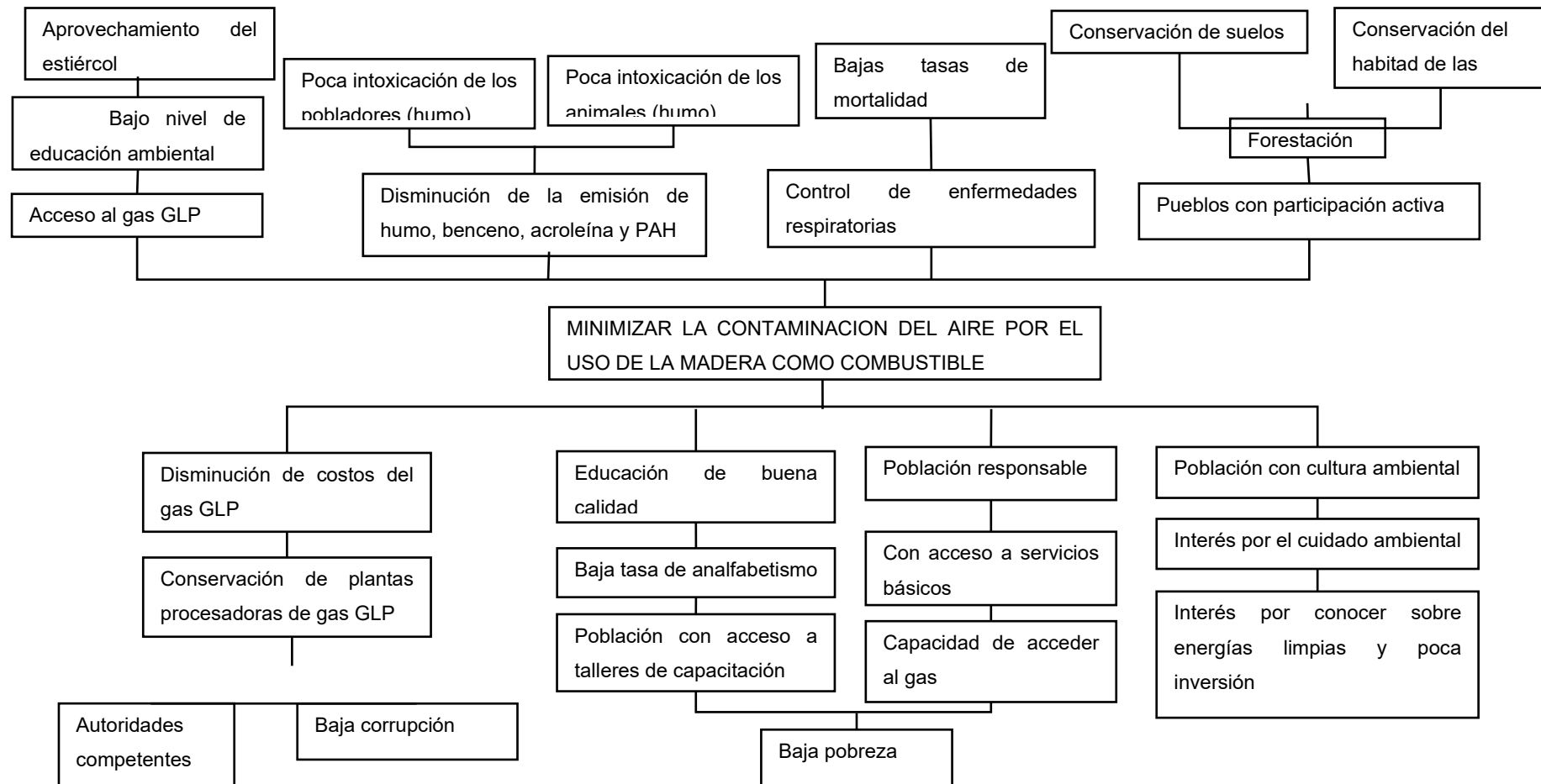
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSA/EFEECTO



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha:					Dia:
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L						
Exp1-3L						
Exp2-4L						
Exp3-5L						
Observaciones						

ANEXO 6

CADENA DE CUSTODIA

Ubicación del terreno:													
No. De biodigestor	Estiércol (kg)	Catalizador (litros)	Fecha Inicio	Tiempo de fermentación	Fecha final	Estado del estiércol	Olor (descripción)	Parámetro a ser medido					Observaciones
								VB	T°	pH	P	Ti	

Responsable del proyecto		
Nombre y apellidos	institución	Firma

VB: Volumen del biogás

pH

Ti: Tiempo

T°: Temperatura

P: presión

ANEXO 7
DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 31 Mayo 2025					Día: 01
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	30	6.8	—	—	85 %	—
Exp1-3L	30	7.3	—	—	87 %	—
Exp2-4L	30	7.4	—	—	86 %	—
Exp3-5L	31	7.4	—	—	87 %	—
Observaciones	—					

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 05 Junio 2025					Día: 05
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	32	7.5	0,430	0,356	89 %	0,100
Exp1-3L	35	7.5	0,682	0,410	93 %	0,190
Exp2-4L	33	7.7	0,692	0,411	95 %	0,193
Exp3-5L	35	7.6	0,642	0,842	93 %	0,191
Observaciones						

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 10 de Junio 2025					Día: 10
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	35	7.3	0,631	0,542	85 %	0,159
Exp1-3L	34	7.4	0,750	0,600	96 %	0,235
Exp2-4L	33	7.7	0,850	0,625	95 %	0,245
Exp3-5L	35	7.5	0,861	0,642	94 %	0,239
Observaciones	—					

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 15 de Junio del 2025					Día: 15
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	30	7.4	0,710	0,685	86	0,195
Exp1-3L	32	7.2	0,820	0,785	85	0,420
Exp2-4L	30	7.5	0,823	0,735	91	0,423
Exp3-5L	35	7.5	0,821	0,745	90	0,222
Observaciones						

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 20 de Junio 2025					Día: 20
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	31	7.5	0,350	0,900	84	0,350
Exp1-3L	35	7.2	0,451	1,000	94	0,451
Exp2-4L	37	7.7	0,452	1,010	96	0,451
Exp3-5L	32	7.3	0,423	1,015	93	0,423
Observaciones						

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 25 de Junio 2025					Día: 25
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	32	7.0	1,225	1,120	84 %	0,462
Exp1-3L	34	7,1	1,550	1,300	92 %	0,650
Exp2-4L	34	7.2	1,560	1,325	91 %	0,670
Exp3-5L	32	7,3	1,534	1,256	92 %	0,652
Observaciones						

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 30 de Junio del 2025					Dia: 30
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	32	7.1	1.265	1.420	90	0,682
Exp1-3L	35	7.2	1.458	1.525	91	0,752
Exp2-4L	34	7.4	1.461	1.522	93	0,752
Exp3-5L	36	7.3	1.471	1.523	95	0,752
Observaciones						

Ficha de seguimiento de la unidad de Análisis						
CODIGO	Fecha: 05 Julio del 2025					Dia: 35
INDICADORES	T°	Ph	Peso (kg)	Volumen (m3)	Humedad (%)	Presion
Control-0L	31	7.1	1.300	1.498	94	0,679
Exp1-3L	34	7.5	1.328	1.599	95	0,791
Exp2-4L	34	7.5	1.326	1.594	97	0,806
Exp3-5L	33	7.7	1.320	1.590	97	0,794
Observaciones						

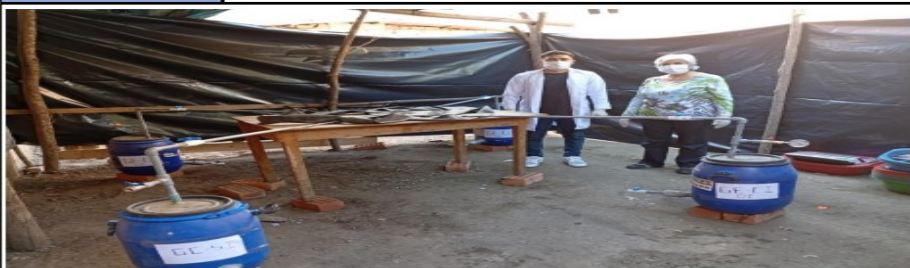
ANEXO 8

PANEL FOTOGRÁFICO

		PROYECTO :	"Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025"		
		ENTIDAD	UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO		
		FACULTAD	INGENIERIA AMBIENTAL		
		AUTOR:	SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA :	01-Ago-25
					
FOTO N° 1 :	ARMADO DE LOS BIODIGESTORES				
					
FOTO N° 3 :	SELLADO DE LAS TAPAS DEL BIODIGESTOR PARA LA SALIDA DE LA TUBERIA DE GAS				
					
FOTO N° 5 :	MEDIDAS Y CORTES DE LA TUBERIA DE GAS				
		FOTO N° 6 :	INSTALACIONES DE LAS TUBERIAS DE GAS		

		PROYECTO : "Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025" ENTIDAD UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL AUTOR: SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA : 01-Ago-25
			
FOTO N° 7 :		FOTO N° 8 :	
INSTALACION DEL NANOMETRO A LOS TANQUES DE BIODIGESTOR		SELLADO DE LA SALIDA DEL MATERIAL SOLIDO	
			
FOTO N° 9 :		FOTO N° 10 :	
CONEXIÓN DE LA TUBERIA A LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO		ARMADO DE LA MESA DE	
			
FOTO N° 11 :		FOTO N° 12 :	
ARMADO Y RESANADO DEL CERCO PERIMETRICO DEL PROYECTO		ARMADO Y RESANADO DEL CERCO PERIMETRICO DEL PROYECTO	

		PROYECTO : "Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025" ENTIDAD : UNIVERSIDAD DE HUANUCO FACULTAD : INGENIERIA AMBIENTAL AUTOR: SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA : 01-Ago-25
			
FOTO N° 13 : SELECCIÓN DE MATERIAL ESTIELCOL PARA LA INCORPORACION A LOS BIODIGESTORES		FOTO N° 14 : PESADO DE ESTRIELCOL PARA AÑADIR AL BIODIGESTOR	
			
FOTO N° 15 : AÑADIENDO ESTRIELCOL AL BIODIGESTOR, ACOMPAÑADO DE MI ASISORA DE PROYECTO.		FOTO N° 16 : AÑADIENDO AGUA AL BIODIGESTOR POSTERIOR A LA INCORPORACION DEL ESTRIELCOL	
			
FOTO N° 17 : MIDiendo LA LECHE FRESCA PARA AÑADIR AL BIODIGESTOR CON LA AYUDA DE LA ASESORA		FOTO N° 18 : HOMOGENIZANDO LOS INSUMOS AÑADIDOS AL BIODIGESTOR	

		PROYECTO : "Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025" ENTIDAD : UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD : INGENIERIA AMBIENTAL AUTOR: SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA : 01-Ago-25
			
FOTO N° 19 : SELLADO DEL BIODIGESTOR POSTERIOR A LA INCORPORACION DE LOS INSUMOS		FOTO N° 20 : SE REPITIO EL PROCEDIMIENTO EN TODOS LOS BIODIGESTORES	
			
FOTO N° 21 : SE LLENARON Y SELLARON LOS BIODIGESTORES A TOTAL PRESION		FOTO N° 22 : UNA VEZ LLENADAS Y SELLADAS LOS BIODIGESTORES SE SE ROTULÓ CONFORME AL CROQUIS EXPERIMENTAL DEL PROYECTO	
			
FOTO N° 23: DEJAR EN REPOSO HASTA LA PRIMERA TOMA DE PARAMETROS		FOTO N° 24: SEMANA 1- MEDIDA DE PRESION CON EL NANOMETRO	



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

PROYECTO :	"Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025"		
ENTIDAD	UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO		
FACULTAD	INGENIERIA AMBIENTAL		
AUTOR:	SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA :	01-Ago-25



FOTO N° 25:

SEMANA 1- MEDIDA DE LA CIRCUNFERENCIA DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO



FOTO N° 26:

MEDIDA DE LA PRESION ANTES DE LA SALIDA A LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO.



FOTO N° 27:

CALCULANDO EL PESO DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO



FOTO N° 28:

CAPTURA PANORAMICA POSTERIOR A LA SEMANA 2



FOTO N° 29:

ANALIZANDO PARAMETROS DE MEDICION DE LA SEMANA 3



FOTO N° 30:

MEDIDA DE LA PRESION EN LA SEMANA 3

		PROYECTO : "Eficacia de la catálisis con leche vacuna para la producción de biogás a partir de estiércol de cuy (Cavia porcellus) Huánuco - 2025" ENTIDAD UNIVERSIDAD DE HUANUCO FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL AUTOR: SAMUEL JULIAN DOMINGUEZ ROSALES	FECHA : 01-Ago-25
			
FOTO N° 31: CALCULANDO EL PESO DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO DE LA SEMANA 4		FOTO N° 32: RESULTADOS VISUALES DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO DE LA SEMANA 6	
			
FOTO N° 33: MIDIENDO EL PESO DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO DE LA SEMANA 7		FOTO N° 34: MIDIENDO EL PESO DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO DE LA SEMANA 7 DE DIFERENTE BIODIGESTOR	
			
FOTO N° 35: RESULTADOS DE LA SEMANA 8		FOTO N° 36: PRODUCTO FINAL DE LA SEMANA 8	