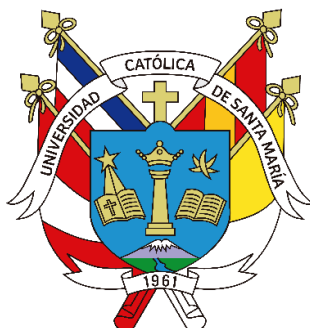


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y**  
**Biotechnológicas**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS OPTIMIZANDO UNA MEZCLA DE SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL DE CUYES (*Cavia porcellus*), GANADO VACUNO (*Bos taurus*) Y GANADO PORCINO (*Sus scrofa scrofa*), PROCEDENTES DEL FUNDO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA, MAJES, AREQUIPA, 2022.**

Tesis presentada por los Bachilleres:  
**Aguirre Gamero, Christopher Eduardo**  
**Nuñez Chambi, Alexia Daniele**  
para optar el título profesional de:  
**Ingeniero Biotechnólogo**

**Asesor:**  
Ing. MBA Barreda Del Carpio, Jaime E.

**Arequipa - Perú**  
**2022**

# DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA BIOTECNOLOGICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 23 de Abril del 2022

**Dictamen: 004236-C-EPIB-2022**

Visto el borrador del expediente 004236, presentado por:

**2014700012 - NUÑEZ CHAMBI ALEXIA DANIELE**

**2010601911 - AGUIRRE GAMERO CHRISTOPHER EDUARDO**

Titulado:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE  
BIOGÁS  
OPTIMIZANDO UNA MEZCLA DE SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL DE CUYES (CAVIA  
PORCELLUS), GANADO  
VACUNO (BOS TAURUS) Y GANADO PORCINO (SUS SCROFA SCROFA), PROCEDENTES DEL  
FUNDO DE LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA, MAJES, AREQUIPA, 2022**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1164 - BARDALES ALVAREZ ROXANA MARGARITA  
DICTAMINADOR**



**2478 - TERAN DIANDERAS ADILMI MILAGRO  
DICTAMINADOR**



**3320 - ALVARADO QUIROZ KENY DAVI  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

*A nuestros padres por el apoyo incondicional brindado.*



## AGRADECIMIENTOS

*En primera instancia un agradecimiento especial al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María por el financiamiento y gestión de este proyecto de tesis lo cual permitió la realización del mismo. Agradecerle al ingeniero Jaime Barreda del Carpio por su guía durante este proceso de titulación universitaria, al ingeniero Kevin Tejada Meza y al ingeniero Midwar Anco Mamani por su apoyo y dedicación durante la realización del proyecto. Y por último a todas las personas que nos apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.*

## RESUMEN

Los desechos orgánicos que no son procesados de una manera eficiente y adecuada son un foco de contaminación ambiental considerable. El uso de un biodigestor logra dar un aprovechamiento adecuado a los residuos generados, además de capturar las emisiones de gases evitando que estos lleguen a la atmosfera. En el presente trabajo se diseñó y construyó un prototipo de biodigestor para la obtención de Biogás en donde se optimizó una mezcla de sustratos de estiércol de origen animal de cuyes (*Cavia porcellus*), ganado vacuno (*Bos Taurus*) y ganado porcino (*Sus scrofa scrofa*), procedentes del Fundo de la Universidad Católica de Santa María, Majes. Se evaluó las muestras recolectadas por puntos al azar y se caracterizó fisicoquímicamente durante un periodo de prueba de producción. Posteriormente se realizó distintas concentraciones de sustratos de los animales previamente mencionados mediante el método de codigestion. Una vez evaluados se escogió la concentración de (50%, 25% y 25%) de estiércol de cuy, vacuno y porcino respectivamente para ser estudiado a escala de laboratorio y escalarlo para el prototipo de biodigestor, el cual fue diseñado y construido utilizando materiales caseros. El biogás fue analizado para verificar su composición en donde se obtuvo un 33.4 % para el metano obteniendo valores óptimos.

### Palabras clave:

Biodigestor, Biogás, Co-digestión.

## ABSTRACT

Organic waste that is not processed efficiently and adequately is a source of considerable environmental contamination. The use of a biodigester achieves a fair use of the waste generated, in addition to capturing gas emissions, preventing them from reaching the atmosphere. The present study carried out the design and construction of a biodigester prototype to obtain biogas from a mixture of substrates of animal manure from guinea pigs (*Cavia porcellus*), cattle (*Bos Taurus*), and pigs (*Sus scrofa scrofa*) from the Catholic University of Santa Maria, Majes. Samples collected at random points were evaluated and physicochemically characterized during a production test period. Subsequently, making different concentrations of substrates of the previously mentioned animals by the codigestion method. Once evaluated the concentration of (50% 25% and 25%) of guinea pig, cattle, and swine manure respectively was chosen to be studied at laboratory scale and scaled up for the biodigester prototype, which was built using homemade materials. The biogas was analyzed to verify its composition, where a percentage of 33.4 was obtained for methane, obtaining optimal values.

### **Keywords:**

Biodigester, Biogas, Codigestion.

## ÍNDICE GENERAL

DICTAMEN APROBATORIO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
HIPOTESIS.....	22
OBJETIVOS .....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos.....	4
1. MARCO TEÓRICO .....	5
1.1. Digestión Anaeróbica.....	5
1.1.1. Factores que influyen el proceso de digestión anaerobia.....	8
1.1.2. Ventajas y desventajas de la aplicación de la digestión anaerobia .....	10
1.2. Biomasa.....	11
1.3. Pretratamientos de biomasa.....	13
1.4. Co-digestión anaerobia.....	15

1.5.	Biogás.....	16
1.5.1.	Métodos de análisis y medición de biogás.....	18
1.6.	Biodigestor.....	19
1.6.1.	Sistemas discontinuos.....	20
1.6.2.	Sistemas continuos.....	21
CAPITULO II.....		23
2.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	24
2.1.	Lugar de ejecución.....	24
2.2.	Materiales.....	24
2.2.1.	Material Biológico.....	24
2.2.2.	Materiales de Laboratorio.....	24
2.2.3.	Equipos e instrumentación.....	24
2.2.4.	Insumos y Reactivos.....	25
2.2.5.	Otros.....	25
2.3.	Metodología.....	26
2.3.1.	Caracterización la composición física – químicas de muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy.....	26
2.3.2.	Evaluación optima de producción de biogás de sustratos.....	27
2.3.3.	Evaluación de la producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy)......	29
2.3.4.	Análisis cualitativo del biogás producido.....	32
2.3.5.	Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor.....	34
2.3.6.	Producción y análisis de biogás en prototipo de biodigestor.....	36
2.4.	Análisis de datos.....	37
CAPITULO III.....		38

3. RESULTADOS Y DISCUSION .....	39
3.1. Caracterización la composición física – químicas de muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy.....	39
3.2. Evaluación optima de producción de biogás de sustratos.....	45
3.3. Evaluación de la producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy).....	47
3.4. Análisis cualitativo del biogás producido .....	56
3.5. Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor.....	58
3.6. Producción de biogás en prototipo de biodigestor y análisis .....	59
4. CONCLUSIONES .....	61
5. SUGERENCIAS .....	63
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS.....	76

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Evaluación de producción de biogás de sustratos por separado. ....	28
<b>Tabla 2.</b> Concentración (50%:25%:25%).....	29
<b>Tabla 3.</b> Concentración (60%:20%:20%).....	30
<b>Tabla 4.</b> Concentración (80%:10%:10%).....	30
<b>Tabla 5.</b> Concentración (100%) .....	30
<b>Tabla 6.</b> Concentraciones Frasco 2 con repetición.....	33
<b>Tabla 7.</b> Concentración de muestras para prototipo de biodigestor .....	37
<b>Tabla 8.</b> Informe de Análisis Físico Químico- muestra estiércol vacuno, porcino y de cuy .....	40
<b>Tabla 9.</b> Características fisicoquímicas obtenidos en el estudio de caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles (21)....	41
<b>Tabla 10.</b> Determinación de Metales Totales - muestra estiércol vacuno, porcino y de cuy .....	43
<b>Tabla 11.</b> Evaluación de días de producción.....	45
<b>Tabla 12.</b> pH final en la evaluación de producción de biogás de sustratos.....	46
<b>Tabla 13.</b> Variación de pH .....	47
<b>Tabla 14.</b> Producción volumétrica total de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy).....	51
<b>Tabla 15.</b> Comparación de frascos para selección .....	53
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de gases presentes en el biogás obtenido mediante un analizador de gas Biogas 5000 .....	56
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de gases presentes en el biogás obtenido mediante un analizador de gas Biogás 5000 en el prototipo de biodigestor .....	59
<b>Tabla Anexa 1.</b> Producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol vacuno, porcino y de cuy.....	82

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso de digestión anaeróbica (12) .....	5
<b>Figura 2</b> Diseño experimental del sistema armado para la evaluación optima de biogás .....	28
<b>Figura 3.</b> Método de desplazamiento de agua *Elaboración propia .....	31
<b>Figura 4.</b> Sistema de probetas invertidas para evaluar capacidad volumétrica *fotografía de referencia .....	32
<b>Figura 5.</b> Analizador de gas Biogás 5000 Geotech .....	33
<b>Figura 6.</b> Diseño 3D del biodigestor*Elaboración propia.....	35
<b>Figura 7.</b> Prototipo de Biodigestor .....	36
<b>Figura Anexa 1.</b> Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno (parte 1).....	76
<b>Figura Anexa 2.</b> Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno (parte 2).....	77
<b>Figura Anexa 3.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol porcino (parte1).....	78
<b>Figura Anexa 4.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol porcino (parte 2).....	79
<b>Figura Anexa 5.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol de cuy (parte1).....	80
<b>Figura Anexa 6.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol de cuy (parte 2).....	81
<b>Figura Anexa 7.</b> Establo del ganado vacuno Fundo Majes La Católica.....	83
<b>Figura Anexa 8.</b> Criadero de cerdos Fundo Majes La Católica.....	83
<b>Figura Anexa 9.</b> Criadero de cuyes Fundo Majes La Católica.....	83
<b>Figura Anexa 10.</b> Toma de muestra estiércol vacuno .....	84
<b>Figura Anexa 11.</b> Toma de muestra estiércol porcino.....	84
<b>Figura Anexa 12.</b> Toma de muestra estiércol de cuy .....	84

<b>Figura Anexa 13.</b> Sistema armado con el sustrato de concentración deseada.....	85
<b>Figura Anexa 14.</b> Frascos con el sistema armado en el baño maría.....	85
<b>Figura Anexa 15.</b> Sistema completo armado con la probeta invertida.....	86
<b>Figura Anexa 16.</b> Probeta Invertida en agua para medición.....	86
<b>Figura Anexa 17.</b> Biogás obtenido .....	87
<b>Figura Anexa 18.</b> Equipo medidor BIOGAS 5000 Geotech .....	87
<b>Figura Anexa 19.</b> Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista lateral) .....	88
<b>Figura Anexa 20.</b> Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista superior) .....	88
<b>Figura Anexa 21.</b> Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista Frontal) .....	89
<b>Figura Anexa 22.</b> Prototipo de Biodigestor en producción .....	90
<b>Figura Anexa 23.</b> Medición del gas obtenido.....	91

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N°1.</b> Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno.....	76
<b>Anexo N°2.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol porcino.....	77
<b>Anexo N°3.</b> Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol de cuy .....	80
<b>Anexo N°4.</b> Producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cuy y cerdo).....	82
<b>Anexo N°5.</b> Caracterización la composición física – químicas de muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy.....	83
<b>Anexo N°6.</b> Evaluación optima de producción de biogás de sustratos.....	85
<b>Anexo N°7.</b> Análisis cualitativo del biogás producido .....	87
<b>Anexo N°8.</b> Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor.....	88
<b>Anexo N°9.</b> Producción en el prototipo de biodigestor .....	90
<b>Anexo N°10.</b> Análisis del gas obtenido .....	91



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

La gran generación de desechos orgánicos producto de los distintos sectores económicos hace de interés la búsqueda y adopción de alternativas sostenibles como una prioridad para su desarrollo (1). El papel de la biotecnología en el cumplimiento de necesidades como el control de la contaminación, aplicación de energías renovables y poder suministrar materiales naturales, es de gran importancia (2).

Los biodigestores sirven para el almacenamiento y tratamiento de desechos de origen orgánico, controlando los malos olores y gases contaminantes que generan, dándole un valor agregado como fertilizante o para la obtención de biogás. El biogás es una fuente limpia, renovable y confiable de energía de carga base (3). Permite satisfacer parte la demanda energética de algunas poblaciones y proporcionan un medio adecuado para manejar los residuos de humanos y animales (4). Lo cual lo hace estrategia prometedora para reducir el consumo de energía fósil y las emisiones de gases de efecto invernadero en los países en desarrollo (5).

Estudios previos demuestran la eficacia del uso de biodigestores para la generación de biogás, en los cuales se realizaron digestores como plantas piloto para el tratamiento residuos orgánicos, sobre todo en el ámbito agropecuario, con el fin de que ser utilizado como una fuente sustituta de energía (6). Además de un aprovechamiento completo de la biomasa, produciendo bioabonos para ser aplicados en la agricultura (7). Los distintos sustratos y técnicas también fueron evaluados, de esa manera poder optimizar la calidad y producción del biogás (8).

Según el informe emitido por la Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa, en el distrito de Majes, Caylloma, en el año 2020 la producción pecuaria fue de 323659, lo cual representa el 50% de la producción de la provincia de Caylloma (9). Debido a estas estadísticas, la cantidad de gases de efecto invernadero emitido por los animales pecuarios es considerable.

El presente proyecto se centra en el aprovechamiento del estiércol de los animales criados en el Fundo La Católica, Majes, Arequipa. Actualmente en este fundo se crían animales como cuyes (*Cavia porcellus*), ganado vacuno (*Bos Taurus*) y porcino (*Sus scrofa scrofa*). En la investigación se busca obtener las proporciones adecuadas de sustrato para así conseguir una optimización de producción de biogás, la cual será realizada en dos etapas, la primera etapa será el análisis experimental y la evaluación de distintas proporciones de sustrato y la segunda etapa será el análisis bibliográfico con la comparación a datos encontrados en estudios previos. Además de la construcción de un prototipo de biodigestor como una alternativa para el control adecuado de desechos de la industria agropecuaria del distrito y permitir generar un valor agregado al ser utilizado como una fuente de energía renovable.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Diseñar y construir de un prototipo de biodigestor para la obtención de Biogás optimizando una mezcla de sustratos de origen animal de cuyes (*Cavia porcellus*), ganado vacuno (*Bos Taurus*) y ganado porcino (*Sus scrofa scrofa*), procedentes del Fundo de la Universidad Católica de Santa María, Majes.

### Objetivos específicos

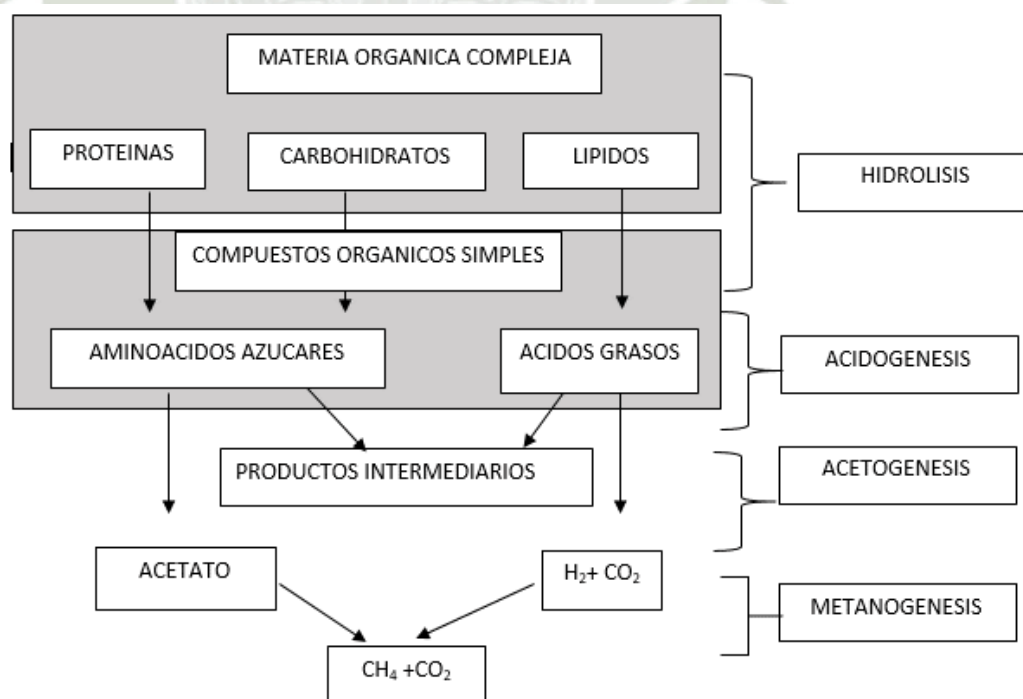
1. Caracterizar organoléptica y fisicoquímicamente el estiércol de vaca (*Bos taurus*), cerdo (*Sus scrofa scrofa*) y cuy (*Cavia porcellus*)
2. Evaluar la cinética de producción de biogás empleando de diferentes tipos y proporciones de sustrato (estiércol) de origen animal.
3. Diseñar y construir un prototipo de biodigestor para producir biogás utilizando proporciones óptimas de sustrato (estiércol).
4. Evaluar el biodigestor construido utilizando proporciones óptimas de sustrato (estiércol).
5. Cuantificar y caracterizar químicamente el biogás obtenido en la operación del biodigestor.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es el proceso de degradación de materia orgánica que se da en ausencia de oxígeno por medio de microorganismos, donde el carbono se convierte a dióxido de carbono y metano formando biogás, además de generar una suspensión de materiales sólidos degradados conocida como biomasa (10).

Se lleva a cabo mediante varios procesos bioquímicos sucesivos siendo estos la hidrolisis, la acidogénesis, la acetogénesis y metanogénesis, donde participan distintos grupos de microorganismos (11). (Figura N°1)



*Figura 1. Proceso de digestión anaeróbica (12)*

La hidrólisis se da cuando diferentes comunidades microbianas transforman materias orgánicas compuestas a moléculas solubles y degradables (2). Proteínas, polisacáridos y lípidos son solubilizados e hidrolizados a aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga (LCFAs), azúcares y alcoholes con ayuda de enzimas extracelulares (11). Las reacciones hidrolíticas comprenden de dos fases realizadas por enzimas extracelulares secretadas por bacterias anaerobias. En la primera fase se produce una colonización bacteriana donde las bacterias hidrolíticas cubren los sólidos por la superficie para liberar enzimas y producen monómeros que pueden ser utilizados por las propias bacterias hidrolíticas, así como por las otras bacterias. En la segunda fase, la superficie será degradada por las bacterias de manera constante por unidad de tiempo (13). Las principales bacterias que participan en la fase hidrolítica son *Clostridium Cellulomonas*, *Bacteroides*, *Succinivibrio*, *Prevotella*, *Ruminococcus*, *Fibrobacter*, *Firmicutes*, *Erwinia*, *Acetovibrio*, *Microbispora*, etc. (11).

En la acidogénesis los sustratos generados son fermentados por bacterias que se dividen en intermediarios (2). Las moléculas hidrolizadas son los azúcares simples, los aminoácidos y los ácidos grasos (14). Se convierten por medio de bacterias acidogénicas o fermentativas como *Peptococcus Clostridium*, *Lactobacillus*, *Geobacter*, *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Phodopseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Sarcina*; a ácidos grasos volátiles (AGV) de cadena corta y otros subproductos menores subproductos menores como amoníaco y dióxido de carbono (11). La presencia de este grupo de bacterias es de importancia debido a que posteriormente son las que se encargan de eliminar cualquier traza de oxígeno presente (2).

La transición de la materia orgánica a los ácidos orgánicos provoca que el pH del sistema descienda; condición beneficiosa para las bacterias acidogénicas y acetogénicas dado a que prefieren un entorno ligeramente ácido (13).

El aumento de la concentración de hidrógeno conduce a la acumulación de sumideros de electrones que no pueden ser consumidos directamente por metanógenos y deben ser degradados por las bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno como *Syntrophomonas wolfeii*, *Syntrophobacter wolinii*, el proceso se denomina acetogénesis. (13).

Los intermediarios de la acidogénesis son degradados a ácido acético, e Hidrogeno vía  $\beta$ -oxidación; sin embargo, las conversiones sólo son favorables bajo condiciones particulares de reacción (11). Los acetógenos hacen asociaciones sintróficas con metanógenos consumidores de hidrógeno dado que dependen de una baja presión parcial de hidrógeno para su degradación (13).

La última etapa es la metanogénesis donde las bacterias metanogénicas transforman los compuestos anteriores en metano y dióxido de carbono (2). Se genera mediante los microorganismos *Methanosarcina* y *Methanosaeta* como productores de metano (11). Basándose en el sustrato y la vía utilizada, los metanógenos se clasifican en dos grupos: los hidrogenotrofos y los metilotrofos. Los hidrogenótrofos utilizan el hidrógeno como fuente de energía, y el CO<sub>2</sub> se reduce a metano. Los metilostrofos son más versátiles y los sustratos para la metanogénesis incluyen hidrógeno, dióxido de carbono, acetato, compuestos metílicos como el metanol las metilaminas y monóxido de carbono, el grupo metilo se reduce a metano (13).

### 1.1.1. Factores que influyen el proceso de digestión anaerobia

Se necesitan diversos factores para que se realice el proceso satisfactoriamente, siendo el tipo de sustrato uno de ellos, el cual puede ser orgánico, agroindustrial o urbano; y depende de su composición que tan complejo es el rompimiento de sus macromoléculas (10). La temperatura está relacionada con todas las fases del proceso, si se da una mayor temperatura la velocidad de crecimiento de los microorganismos aumenta y acelera el proceso, hay tres rangos de temperatura en donde los microorganismos pueden trabajar: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C) (15). Las variaciones bruscas de temperatura generan una desestabilización del proceso (2).

La velocidad de carga orgánica es la cantidad de residuo cargado con respecto al volumen del biorreactor, y está relacionada con el tiempo de retención hidráulico, el cual es el promedio de permanencia del material orgánico en el biodigestor, el tiempo tiene una relación con la temperatura, dado que a mayor temperatura los tiempos de retención requeridos son menores, además de que el volumen del material también es menor (2).

El pH es fundamental debido a que determina la inhibición o toxicidad de las bacterias y el crecimiento óptimo de cada uno de sus grupos microbianos presentes en cada fase del proceso (16). Se recomienda valores cercanos a la neutralidad para tener un proceso óptimo (17).

El sustrato que sirve de alimento está compuesto principalmente por macronutrientes como carbono (C) y nitrógeno (N), los cuales son indispensables ya que son la principal fuente de alimentación (17).

El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación más adecuada en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 (2). Cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de sustratos en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptima (17). Una relación mayor genera una descomposición más lenta, una relación menor provoca la inhibición de la actividad bacteriana. No solo se requieren fuentes de carbono y nitrógeno, sino también de algunos minerales en condiciones óptimas como el azufre, fósforo, potasio y otros (2).

La materia orgánica está compuesta por dos partes, una líquida y otra sólida, la cual se conoce por sólidos totales. El porcentaje de sólidos presentes en el sustrato permite asegurar que el proceso se efectuó correctamente, una gran cantidad de sólidos presentes limita la movilidad de las bacterias y afecta la eficiencia en la producción (2).

La inhibición y toxicidad alteran al proceso de digestión anaerobia, así como la alta concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) que desestabilizan el proceso, elevadas concentraciones de nitrógeno limitan el crecimiento bacteriano, la presencia de oxígeno y metales pesados que disminuyen la velocidad de crecimiento de microorganismos (17).

### 1.1.2. Ventajas y desventajas de la aplicación de la digestión anaerobia

El uso de la digestión anaerobia como un tratamiento de la biomasa es una técnica que presenta ventajas y desventaja con respecto a otro tipo de tratamientos. Como ventajas se considera el no requerir de volúmenes de reactores muy grandes para la producción debido que la carga de lodos no es necesariamente voluminosa, proceso que requiere de menor uso energético por lo cual se convierte en una alternativa más ecológica, no es necesario utilizar aditivos para una mejora de producción, al ser de respuesta rápida a la adición de sustratos se puede tener durante periodos largos de tiempo sin la necesidad de agregar más cantidad y además produce metano que sirve como una futura fuente potencial energética (18).

Por desventajas se consideran a los largos periodos de arranque, los factores que generan cambios o perturbaciones como algunas sustancias toxicas para lo cual se puede recurrir a tratamientos previos o posteriores para alcanzar valores normales dependiendo del tipo de sustrato que se esté trabajando, las temperaturas bajas suelen generar efectos adversos retrasando el proceso, la transformación anaerobia puede generar olores no agradables y gases corrosivos (18).

## 1.2. Biomasa

El proceso de digestión anaerobia permite el aprovechamiento de la biomasa que se descompone naturalmente en los campos, y convertirla en energía renovable de bajo costo que cumple con las mismas funciones que las energías de mayor costo como el gas propano y la energía eléctrica proveniente de las centrales hidroeléctricas. Genera la reducción de los residuos orgánicos que pueden ser contaminantes dañinos para la capa de ozono (19).

La biomasa es la materia orgánica formada que incluye cultivos y desechos agrícolas, desechos animales, residuos de bosques y molinos, desechos de madera y madera, residuos de operaciones ganaderas, plantas acuáticas, árboles y plantas de rápido crecimiento y desechos municipales e industriales (19).

En los cerdos el estiércol suele ser de consistencia acuosa y la cantidad de nutrientes presentes suele depender de muchos factores como la edad del animal, la alimentación, la temperatura en la que se encuentra y el almacenamiento. Suele tener una proporción alta de amonio, pero es un sustrato pobre si se usa solo en la producción de biogás (20). Presentan entre un 17-46% de carbono y entre 1.1-2.5% de nitrógeno, una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 13:1 y aproximadamente un volumen de producción de biogás del  $0.06\text{m}^3/\text{kg}$  (2). Tiene una consistencia más húmeda con un contenido hídrico del 82% y un contenido seco del 18% (21). Presenta una disponibilidad de recolección de estiércol de 2.5 kg/día aproximadamente (2).

El estiércol de ganado bovino tiene una consistencia acuosa, es uno de los más utilizados, debido a su alta proporción de nitrógeno orgánico y de amonio (22).

El ganado bovino presenta entre 17.4-40% de carbono y un 0.3-2% de nitrógeno, una relación carbono/ nitrógeno (C/N) de 25:1 y aproximadamente  $0.04\text{m}^3/\text{kg}$  de producción de biogás (2). Posee una consistencia húmeda con un contenido hídrico del 83% y un contenido seco del 17% (21). Presenta una disponibilidad de recolección de estiércol de 10 kg/día aproximadamente (2).

El estiércol de cuy tiene una composición sólida, la cual da la característica de difícil digestión, sin embargo, se puede romper con facilidad; presenta altas cantidades de nitrógeno, lo cual genera una buena producción de biogás (22). Presenta por lo general un 39 % de carbono y 1.9% de nitrógeno, una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 20:1. Posee una consistencia más seca con un contenido sólido del 70% y un contenido hídrico del 30% (21). Presenta una disponibilidad de recolección de estiércol de 0.35 kg/día aproximadamente (2).

### 1.3. Pretratamientos de biomasa

Para mejorar las cualidades de la digestión anaeróbica se realizan pretratamientos que pueden alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas, son procedimientos que suelen aumentar los costos de producción. Pueden ser físicos, mecánicos, térmicos, químicos, biológicos y combinados (23). Su objetivo principal del pretratamiento es alterar la matriz y la pared celular, provocando que los nutrientes disponibles sean accesibles para los microorganismos, acelerando así la conversión de los sólidos orgánicos y la productividad de metano (11).

Los biológicos suelen ser utilizados cuando existen problemas como la baja degradación de sustratos, bajo rendimiento de metano, mejorando la degradación enzimática (24). Comprende enfoques tales como la hidrólisis enzimática, la pre digestión y el uso de hongos (11).

Cuando se busca mejorar la biodegradación de los sustratos y reducir los residuos al secado se aplica un pretratamiento térmico (24). Los principales beneficios del pretratamiento incluyen la destrucción de patógenos, eliminación de olores, reducción del volumen de los lodos, perfeccionando el proceso de deshidratación con la mejora de la manipulación de los lodos, así como un balance energético positivo (11).

El pretratamiento mecánico se usa para reducir las dimensiones de los sustratos o lodos, mejorando el removimiento de la demanda química de oxígeno (COD) y la producción de biogás (24). Son muy diversos, pero en general son no son tan sensibles a las especificidades del sustrato en comparación a otros métodos, no hay riesgo inherente de formación de compuestos recalcitrantes o inhibidores, sin embargo, la principal

desventaja es el elevado consumo de electricidad (25). En el ultrasonido las ondas provocan la compresión y rarefacción al propagarse por el medio (11). En la irradiación por microondas el efecto térmico que se genera a través de la rotación de los dipolos bajo campos electromagnéticos oscilantes, calienta hasta el punto de ebullición y provoca la ruptura de las paredes de las células bacterianas (11).

Los pretratamientos con químicos mejoran la biodegradabilidad de los sólidos en los sustratos (24). Emplea reactivos fuertes para deformar la pared y la membrana celular, favoreciendo la disponibilidad de materia orgánica en los lodos para los ataques enzimáticos. Los principales reactivos empleados incluyen ácidos, álcalis y oxidantes (11).

Cuando uno de los pretratamientos no cumple con el objetivo buscado se utiliza una combinación óptima que cumplan con lo propuesto. Para que se considere efectivo debe reunir lo siguiente: impedir la posible formación de inhibidores de la hidrólisis enzimática y de los microorganismos fermentativos; minimizar la demanda de energía, reducir los costos de fraccionamiento de los sustratos, reducir los costos de los materiales, producción menor de residuos y el no consumo o poco consumo de químicos costosos (26).

#### 1.4. Co-digestión anaerobia

Generar una mejora en la producción de biogás se puede dar a través de un tratamiento conjunto como la codigestion anaerobia, la cual es la digestión de una mezcla de dos o más sustratos. Presenta más ventajas que la monodigestión como una mejora en la producción de entre 25% hasta 400%, además de establecer una buena sinergia entre la digestión y ser viable económicamente (27). Permite convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles (28).

Unifica la gestión de estos residuos al compartir instalaciones de tratamiento, reduciendo los costes de inversión y explotación. Asimismo, permite tratar mayores cantidades de residuos en instalaciones centralizadas a gran escala, con plantas que no requieren grandes cambios (28). Permite regular criterios como los valores de pH, mejorar la relación carbono/nitrógeno (C/N), entre otros, de manera que el proceso de digestión anaerobia sea más eficiente y presente una producción mayor de biogás por cantidad de sustrato (29).

El uso de cosustratos generalmente mejora los rendimientos de biogás del digester anaeróbico debido a sinergias positivas establecidas entre el medio de digestión y el suministro de nutrientes faltantes por los cosustratos, sin embargo, una selección inadecuada de cosustratos, de composición o de las condiciones de funcionamiento pueden provocar inestabilidad en el proceso o una reducción significativa de la producción de metano (30).

## 1.5. Biogás

El biogás es un tipo de energía renovable con una amplia variedad de aplicaciones, es una excelente opción para reemplazar al gas natural, aplica como combustible para calefacción, cocción, refrigeración, generación de energía lumínica. Además, puede utilizarse como carburante en los motores de combustión interna y celdas de combustible para la producción de trabajo mecánico y/o electricidad (2). La valorización energética del biogás es ventajosa tanto por razones ambientales como técnico-económicas (31).

El biogás es un producto procesado biológicamente que se compone principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) en un rango de 50 a 70% y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a una concentración de 30 a 50%. El contenido relativo de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en biogás es depende principalmente de la naturaleza del sustrato y del pH del reactor (32).

Contiene cantidades en menor concentración de otros compuestos, como el nitrógeno a concentraciones de 0 a 3%, vapor de agua a concentraciones de 5 a 10%, oxígeno a concentraciones de 0 a 1%, amoniaco, hidrocarburos a concentraciones de 0–200 mg / m<sup>-3</sup> y siloxanos a concentraciones de 0–41 mg m<sup>-3</sup> (32).

El metano es el único compuesto del biogás con importancia energética, cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45%, es inflamable (31). En su combustión produce una llama azul puede utilizarse directamente para calefacción, cocina, iluminación y generación de energía (33). El gas metano es un Gas de efecto invernadero (CEI) 25 veces más fuerte que el  $\text{CO}_2$ , debido al alto contenido de metano en el biogás, es de gran importancia poseer sistemas para su captura y almacenamiento (34).

De manera que el biogás producido durante la digestión anaeróbica en biorreactores o vertederos, no debe ser liberado a la atmósfera. Si hay un exceso de biogás durante el proceso de producción, debe ser almacenado o utilizado por un sistema adicional de recuperación de energía (1).

La producción de biogás debe ser monitoreada durante todo el proceso, vigilando y controlando el proceso mediante parámetros recogidos en tiempo real. Los principales son: la temperatura del lodo de digestión, la cantidad de agua utilizada en la mezcla, el biogás producido y almacenado, la presión del biogás dentro de los biorreactores, el flujo producido en las entradas y salidas, la digestión del lodo y la composición del metano en el biogás (1). La presencia de variaciones en la composición del biogás puede generar un efecto negativo en el rendimiento de combustión debido a que las proporciones de los afectan a la inflamabilidad y al comportamiento de la combustión del combustible gaseoso (35).

El biogás puede ser purificado previo uso para retirar los compuestos tóxicos y corrosivos, de igual manera, es posible enriquecerlo en metano para aumentar su poder calorífico y mejorar sus propiedades energéticas (35). La presencia de las impurezas en el biogás puede ser causada por algún tipo de contaminación dentro material orgánico o inestabilidades en los procesos de digestión (2). Las impurezas más comunes presentes en el biogás son nitrógeno, agua, amoníaco y compuestos orgánicos como hidrocarburos largos, compuestos orgánicos volátiles, entre otros (1). Para reducir o eliminar la contaminación, métodos de perfeccionamiento son utilizados, se eligen según la composición del biogás, como por ejemplo depuradores, separadores de membrana, filtros, productos químicos y aditivos bacterianos (36).

### 1.5.1. Métodos de análisis y medición de biogás

Existen diferentes métodos para realizar la medición y el análisis del biogás obtenido, de esa forma comprobar su composición y calidad, además de determinar cuál es la producción real. En métodos de medición se encuentra al método volumétrico o de desplazamiento de un líquido, el cual consiste en que el gas obtenido burbujee en una solución alcalina, donde el dióxido de carbono es absorbido y el metano desplazado a la solución salina, este volumen pasa a una probeta graduada dando el equivalente al volumen de gas que se ha generado (37). También puede realizarse utilizando agua, en donde el sistema se conecta a una probeta sumergida en agua, y el volumen de desplazamiento en la probeta es el del gas generado. (38)

Dentro de los métodos de análisis se encuentra a la cromatografía de gases que es utilizada como referencia, debido a su tamaño solo se realiza en análisis de laboratorio. En la conductividad térmica se evalúa la eficiencia del gas para conducir calor, se usan calibraciones de metano y dióxido de carbono, sin embargo, no es muy eficaz debido a que genera error en presencia de otros gases o en variaciones de la concentración. La absorción por infrarrojos es donde las moléculas de los gases absorben la radiación infrarroja del espectro y gases como el metano y dióxido de carbono absorben esta frecuencia, presenta un porcentaje de error pequeño y con equipos de fácil transporte pudiendo ser utilizados en el campo (39).

## 1.6. Biodigestor

El biodigestor es utilizado para la producción del biogás, consta de un recipiente cerrado o tanque, que puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico y posee una entrada para el sustrato y una salida para el gas y los residuos. Son biorreactores herméticos diseñados específicamente para la digestión anaeróbica de biomasa para generar biogás (23).

El diseño y construcción se condicionan por los materiales elegidos, el nivel tecnológico y el mismo diseño, de tal forma que se deben tener en cuenta todas las variables que afectan cada proyecto (29). Los requisitos básicos del diseño son: permitir una carga orgánica continua y sostenible, un tiempo corto de retención hidráulica, y capacidad de producir el volumen máximo de metano (40). Los componentes necesarios son, un contenedor o tanque que permita la digestión anaerobia y debe ser resistente a los ácidos que son generados en la producción de biogás; la calefacción como forma de optimizar la producción, sistemas de carga de forma manual o por medio de la tecnología, sistemas de agitación para evitar la sedimentación de sustratos que puede ser externos o internos (29).

El mejor modo de poder valorar el comportamiento biológico de los diferentes digestores es empleando de tres indicadores: velocidad de adición de sustrato, velocidad de formación del producto y tiempo de retención (35). Las circunstancias diferentes donde son utilizados han dado lugar a la diversificación de los digestores empleados, en función a sus fines, escala y tipo de alimentación (41).

### 1.6.1. Sistemas discontinuos

En los sistemas discontinuos, una vez se cargan los biodigestores de sustrato, evolucionan secuencialmente a través de las distintas etapas de la degradación anaerobia. Destacando que en este sistema la acidificación se produce mayor velocidad que la metanogénesis (41). Como características se encuentran la sencillez del diseño y del control del proceso, su robustez frente a distintos tipos de sustratos a tratar y los costos menores de inversión (42).

Operan por ciclos de cuatro etapas: llenado, reacción con agitación, sedimentación y vaciado del líquido. De forma que se permite una independencia entre el tiempo de residencia de los sólidos y el tiempo de retención hidráulico, sin necesidad de emplear clarificadores dado a que actúa de decantador (43).

De manera que se pueda retener mayor de bacterias dentro del digestor. Se suele emplear en investigaciones efectuadas a la digestión de biomásas con alto contenido en sólidos (44). Se recomienda que la concentración final de sólidos totales en el digestor no supere el 15%, dado que de otro modo pueden surgir problemas de operación (35).

### 1.6.2. Sistemas continuos

El digestor en modo continuo puede tener una duración infinita, se divide en dos etapas: la primera etapa es el arranque del digestor que consiste en la adaptación de las bacterias y la carga lenta del sustrato, lo cual puede provocar tiempos de arranque muy largos, la segunda etapa es la estacionaria que comienza cuando el proceso llega a su punto de funcionamiento (35).

Los principales parámetros para su clasificación son el número de etapas y la concentración total de sólidos (% ST) en el interior, debido a que influyen sobre el coste, el comportamiento y la seguridad del proceso de digestión (35). En los de una etapa las reacciones tienen lugar simultáneamente en un solo digestor, mientras que, en los sistemas multietapas, las reacciones se dan secuencialmente en dos o más digestores (45). Suelen ir precedidos de equipos para la trituración, homogeneización o dilución del residuo de ser necesario, se va añadiendo agua hasta alcanzar la concentración de sólidos deseada (46).

## HIPOTESIS

Al diseñar y construir un prototipo de bioreactor para la obtención de Biogás, el cual emplee distintas mezclas de estiércol de cuyes (*Cavia porcellus*), ganado vacuno (*Bos Taurus*) y ganado porcino (*Sus scrofa scrofa*), es posible optimizar la producción de biogás para ser utilizado como una fuente de energía alterna.





## CAPITULO II

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 2.1. Lugar de ejecución

El estudio fue realizado en dos localidades, la primera en el Fundo Majes La Católica perteneciente a la Universidad Católica de Santa María en el distrito de Majes, Caylloma, Arequipa. Este fue el lugar de donde se proporcionaron las muestras de los sustratos de origen animal de Vacas, Cerdos y Cuyes.

La parte experimental fue realizada en las instalaciones de la Universidad Católica de Santa María en el área de laboratorios de Investigación F-405 y F-302.

### 2.2. Materiales

#### 2.2.1. Material Biológico

Estiércol vacuno, estiércol de cuy, estiércol porcino obtenidos del Fundo Majes La Católica.

#### 2.2.2. Materiales de Laboratorio

12 frascos de vidrio graduado de 1L (NORMAX), 10 m de manguera de látex de 5mm de diámetro, 12 probetas de plástico de 500ml, Bolsas de almacenaje de gas con válvula de 1600mL (Cole-Parmer Kynar).

#### 2.2.3. Equipos e instrumentación.

Baño María (Witeg WB-11 230 V), balanza digital, termómetro, potenciómetro, Analizador de gas (BIOGAS 5000-GEOTECH), Licuadora (Oster).

#### 2.2.4. Insumos y Reactivos

Agua destilada

#### 2.2.5. Otros

Llaves de tres vías, tanque de agua de 20L, manguera flexible de 1/2", tapón PVC de desagüe 2" PAVCO, codo PVC 2" 90°CR PAVCO tipo codo con rosca, bolsas de propileno, cinta teflón, silicona multiusos transparente TOPEX, silicona roja de alta temperatura ABRO 2400, 2 cajas de almacenamiento, paquetes de mascarilla, 2 cajas de guantes de nitrilo, 2 guardapolvos.

## 2.3. Metodología

### 2.3.1. Caracterización la composición física – químicas de muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy.

Las muestras fueron recolectadas en el Fundo Majes – La Católica; ubicado en la Provincia de Caylloma, distrito de Majes. En el cual se cría cuyes, ganado vacuno y porcinos, cuenta con un clima árido y una temperatura media anual de 23 °C (47). Se tomaron 3 diferentes muestras, de forma segura, con guantes y barbijo las cuales se almacenaron en bolsas de polietileno, aproximadamente fueron 2 kg recogidos por cada muestra y se colocaron en un recipiente refrigerado para su traslado al laboratorio de análisis.

Se separó una alícuota de cada muestra y se entregaron para determinar distintos parámetros a la Universidad Católica De Santa María – Laboratorio De Ensayo Y Control De Calidad.

En donde se realizaron los siguientes ensayos: Determinación de humedad (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209 264 2013, Determinación de ceniza (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209 265 2013, el cual consiste en pesar la muestra húmeda y después de ser llevada a una estufa, donde el contenido en agua de la muestra se calcula por la diferencia presente entre los dos pesos, obteniéndose de esa forma el % de humedad que se expresa en g de H<sub>2</sub>O/100 g de muestra, de igual manera se calcula el % de cenizas (48).

Determinación de materia orgánica (% CARBONO) Método gravimétrico, que consiste en calentar la muestra hasta la combustión en una corriente de oxígeno puro, el cual es convertido en dióxido de carbono y después se pasa a través de bicarbonato de asbesto para que sea absorbido por ésta en el balón aforado, cuyo incremento de masa es proporcional a la cantidad de dióxido de carbono formada (49).

Determinación de nitrógeno (%) Método Kjeldahl, realiza la suma de nitrógeno orgánico, en el análisis químico, para calcular el nitrógeno total (TN), se determinan las concentraciones de nitrato-N y nitrito-N y se añaden al nitrógeno Kjeldahl total (50).

Relación carbono nitrógeno Norma Mexicana NMX-AA-067-1985 parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica, se multiplica el porcentaje de materia orgánica por la constante de Jackson(0.58) sobre el nitrógeno total (51).

Determinación de metales totales (mg/Kg) Adapted Determination of Metals and Trace Elements in Water and Washes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7. establece el límite de detección del método (MDL) para 31 elementos diferentes, junto con las longitudes de onda preferidas y los estándares de calibración y control de calidad (52).

### **2.3.2. Evaluación óptima de producción de biogás de sustratos**

Se optó por armar 3 sistemas conformados por las muestras puras de los sustratos en frascos con una capacidad de 1000mL, los cuales contenían una dilución en agua de 1:2, 600 ml de H<sub>2</sub>O destilada, 300 ml de sustrato en cada frasco (Tabla N°1).

**Tabla 1.** Evaluación de producción de biogás de sustratos por separado.

	Vaca (gr)	Cerdo (gr)	Cuy (gr)	H <sub>2</sub> O D mL	TOTAL
<b>Frasco 1</b>	300	-	-	600	900
<b>Frasco 2</b>	-	300	-	600	900
<b>Frasco 3</b>	-	-	300	600	900

Después fueron tapados con su tapa la cual presenta una salida con una manguera conectada a una llave 3 vías, para lo cual se armó un sistema con una salida a una bolsa de almacenaje Cole Parmer Kynar (Figura N°2). Los 3 frascos se mantuvieron en un baño maría a una temperatura de 37°C, en condiciones mesófilas para optimizar el proceso de digestión anaeróbica (53). Se evaluó la producción de biogás en un periodo de 28 a 30 días además de los cambios de pH.



**Figura 2** Diseño experimental del sistema armado para la evaluación óptima de biogás

### 2.3.3. Evaluación de la producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy).

Se pusieron a prueba distintas concentraciones y mezclas de los sustratos para lo cual se armaron 12 sistemas, divididos en 4 juegos de frascos con una capacidad de 1000mL que contenían una dilución en agua de 1:2, 300 ml de H<sub>2</sub>O destilada, 150 ml de sustrato. Se realizaron diferentes concentraciones del estiércol vacuno, porcino y de cuy respectivamente, los cuales pasaron por un pretratamiento al homogenizar los sustratos más el agua destilada en una licuadora, para luego ser traspasados al frasco correspondiente.

Los 4 juegos fueron los siguientes con concentraciones de estiércol de vaca, cerdo y cuy de la siguiente forma: juego 1 Concentración (50%:25%:25%) (Tabla N°2), juego 2 Concentración (60%:20%:20%) (Tabla N.º 3), juego 3 Concentración (80%:10%:10%) (Tabla N°4) y juego 4. Concentración (100%) (Tabla N°5).

**Tabla 2.** Concentración (50%:25%:25%)

Juego 1	Concentración (50%:25%:25%)				TOTAL
	Vaca (gr)	Cerdo (gr)	Cuy (gr)	H <sub>2</sub> O D. (mL)	
<b>Frasco 1</b>	75	37.5	37.5	300	450
<b>Frasco 2</b>	37.5	75	37.5	300	450
<b>Frasco 3</b>	37.5	37.5	75	300	450

*Tabla 3. Concentración (60%:20%:20%)*

<b>Juego 2</b>		<b>Concentración (60%:20%:20%)</b>			
	<b>Vaca (gr)</b>	<b>Cerdo (gr)</b>	<b>Cuy (gr)</b>	<b>H<sub>2</sub>O D. (mL)</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Frasco 4</b>	100	25	25	300	450
<b>Frasco 5</b>	25	100	25	300	450
<b>Frasco 6</b>	25	25	100	300	450

*Tabla 4. Concentración (80%:10%:10%)*

<b>Juego 3</b>		<b>Concentración (80%:10%:10%)</b>			
	<b>Vaca (gr)</b>	<b>Cerdo (gr)</b>	<b>Cuy (gr)</b>	<b>H<sub>2</sub>O D. (mL)</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Frasco 7</b>	250	25	25	300	450
<b>Frasco 8</b>	25	250	25	300	450
<b>Frasco 9</b>	25	25	250	300	450

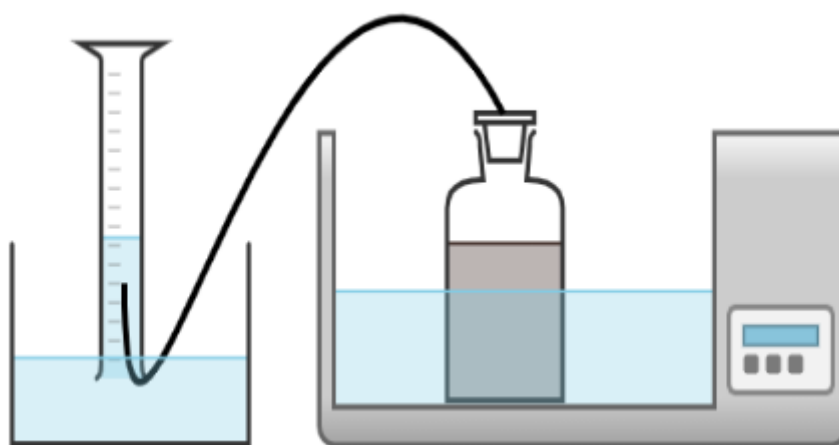
*Tabla 5. Concentración (100%)*

<b>Juego 4</b>		<b>Concentración (100%)</b>			
	<b>Vaca (gr)</b>	<b>Cerdo (gr)</b>	<b>Cuy (gr)</b>	<b>H<sub>2</sub>O D.</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Frasco 10</b>	150	-	-	300	450
<b>Frasco 11</b>	-	150	-	300	450
<b>Frasco 12</b>	-	0	150	300	450

Se realizó la medición del pH para lo cual se calibró previamente el pH metro con 3 diferentes buffers: buffer de pH 4, 7, 12 en un matraz de 100 ml; ya calibrado se tomó una alícuota de cada frasco homogenizado y se realizó la medición correspondiente.

Los frascos fueron cerrados con su tapa la cual posee una salida de manguera conectada a una llave de 3 vías la cual llevaba a una probeta invertida para la medición de su producción. Los 12 frascos se mantuvieron en un baño maría a una temperatura de  $39.5^{\circ}\text{C}$ , en condiciones mesófilas para optimizar el proceso de digestión anaeróbica (53).

El rendimiento de biogás se midió mediante el método de desplazamiento de agua. (Figura N°3) A medida que el biogás se genera en el biodigestor, es transportado y genera presión dentro de la manguera haciendo que el agua suba a una probeta graduada (38).



**Figura 3.** Método de desplazamiento de agua \*Elaboración propia

En cada sistema herméticamente cerrado se instaló un sistema de probetas invertidas para ver la capacidad de producción volumétrica de biogás de cada uno, el cual constaba con una manguera como conexión y una llave 3 vías para abrir y cerrar la salida del gas, en el cual cada manguera se conecta con una probeta graduada de 500mL volteada y sumergida en agua. (Figura N°4)



*Figura 4. Sistema de probetas invertidas para evaluar capacidad volumétrica \*fotografía de referencia*

#### **2.3.4. Análisis cualitativo del biogás producido**

En referencia a los resultados obtenidos, se seleccionó el Frasco 2 al presentar una mayor cantidad de biogás producido. Se realizó una prueba doble en donde se armaron 2 sistemas conformados de frascos de 1L de capacidad en una dilución 1:2, 500 mL de destilada y 250 mL de sustrato en la siguiente concentración (Tabla N°6), fueron cerrados con una tapa la cual posee una salida conectada a una llave 3 vías que conectaba a una bolsa hermética para su almacenamiento. Se colocaron en un baño María a 39.5°C para optimizar el proceso de digestión anaeróbica (53). Se evaluaron durante aproximadamente 50 días.

**Tabla 6.** Concentraciones Frasco 2 con repetición

	Vaca (gr)	Cerdo (gr)	Cuy (gr)	H <sub>2</sub> O Destilada (ml)	TOTAL
<b>Prueba 1</b>	62.5	62.5	125	500	750
<b>Prueba 2</b>	62.5	62.5	125	500	750

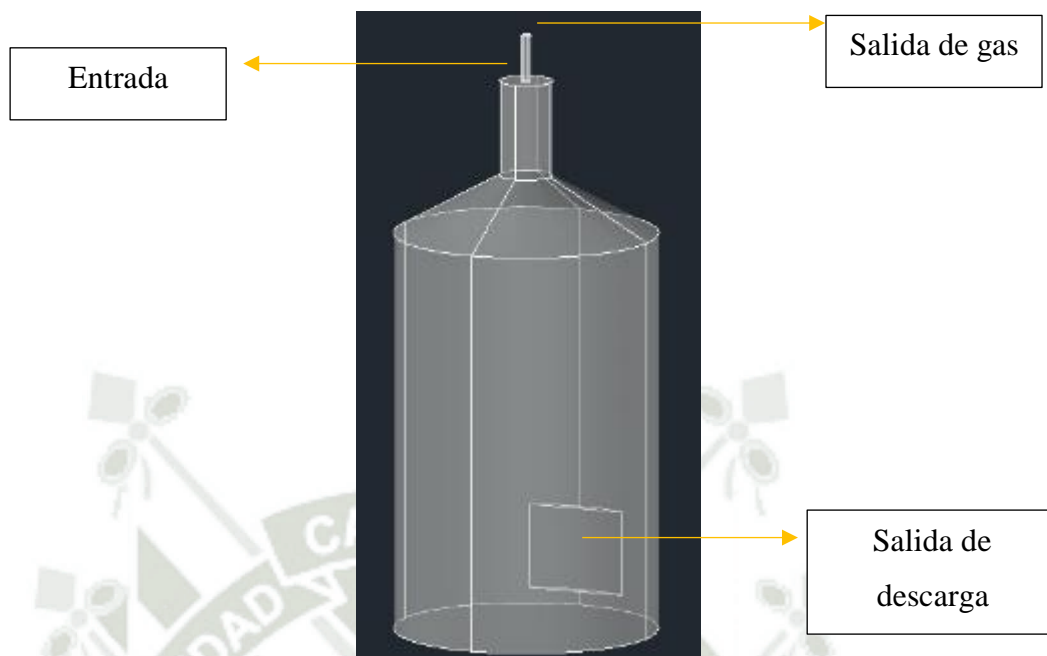
Al biogás obtenido se realizó un análisis cualitativo del biogás recolectado utilizando el analizador de gas Biogás 5000 Geotech, (Figura N° 5), es un monitor de gas portátil para el monitoreo preciso de gas dentro de las aplicaciones de biogás y permite recolectar datos consistentes para un mejor análisis y un reporte preciso, mientras ayuda a comprobar que el biodigestor esté funcionando eficientemente. Mide de forma precisa niveles de Metano, Dióxido de Carbono y Oxígeno en porcentaje del (0-100%), además de otros gases como hidrogeno, amoniaco y ácido sulfhídrico en diferentes concentraciones, posee un rango de error del 0.5% (54). Para realizar la medición se conectó el analizador por medio de la manguera de entrada del equipo a la válvula de la bolsa de almacenaje de gas (Cole-Parmer Kynar), al cabo de unos minutos se pudo apreciar en la pantalla los porcentajes en los que se encuentran los gases a estudiar.

**Figura 5.** Analizador de gas Biogás 5000 Geotech

### 2.3.5. Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor

Para el diseño del biodigestor se consideraron las dimensiones en base a tres factores, siendo la primera la carga de sustratos, el tiempo de retención y la temperatura con la que va a trabajar, la ubicación en donde se encontrara el biodigestor considerando su facilidad y cercanía, además de los costos de construcción (55). La seguridad y el mantenimiento se consideraron para evitar algún tipo de contaminación o accidente debido a la presión que puede generar el gas y en cuestión de mantenimiento para que el prototipo trabaje adecuadamente evitando fugas, obstrucciones o algún tipo de falla (29). Se diseñó el biodigestor con ayuda del software AutoCAD en el cual se hizo el diseño 2D y posteriormente en 3D, en base al estudio y producción de las 3 muestras finales, el cual tiene la característica de ser de tipo flujo discontinuo, donde la alimentación total de la materia orgánica homogenizada se da al inicio del proceso, y es descargado al finalizar el proceso, se seleccionó este tipo debido a que es el adecuado para los procesos de prueba además de ser de fácil escalamiento (56).

Posee un tanque para almacenar el sustrato de 20L, el cual posee una entrada y dos salidas. La primera siendo para poder cargar el sustrato, una vez cargado debe ser sellada para convertirse en salida, para el biogás compuesto por una manguera la cual está conectada a una zona de recepción del biogás generado, la segunda salida es para la toma de muestra del sustrato y la posterior descarga una vez terminado el proceso. (Figura N°6)



**Figura 6.** Diseño 3D del biodigestor\*Elaboración propia

Una vez diseñado se procedió a la construcción del biodigestor, al ser un prototipo se utilizó materiales accesibles y domésticos. Para el tanque se utilizó un bidón de agua vacío de 20L que correspondía con las medidas y volumen deseado.

Para el armado de la salida 1 se utilizó tubos de PVC marca PAVCO sellados con silicona y cinta de teflón para aumentar la hermeticidad y así evitar fugas. Se realizó un agujero para la entrada de una manguera la cual conducirá el biogás a dos bolsas de almacenamiento de gas con válvula (Cole-Parmer Kynar) la salida 2 para la toma de muestra también venía incluida, la cual puede ser sellada con facilidad una vez cargado el biodigestor. (Figura N°7)



*Figura 7. Prototipo de Biodigestor*

### **2.3.6. Producción y análisis de biogás en prototipo de biodigestor**

Se procedió a pesar las muestras y se realizó un pretratamiento previo al mezclar el sustrato en una licuadora marca Oster para poder ser homogenizar las distintas muestras con ayuda del agua destilada. (Tabla N°7) Se llenó con la mezcla seleccionada (Frasco 2) en una dilución 1:2 con agua destilada a un porcentaje del 75% del total de capacidad del tanque, con el fin de tener un margen una vez inicie la producción del biogás, realizado en una sola aplicación debido que el sistema es discontinuo y anaeróbico. El biodigestor fue tapado de negro para evitar luz directa y se dejó a temperatura ambiente durante 50 días.

*Tabla 7. Concentración de muestras para prototipo de biodigestor*

	Vaca (gr)	Cerdo (gr)	Cuy (gr)	H <sub>2</sub> O Destilada (L)	TOTAL(L)
<b>Biodigestor</b>	1250	1250	2500	10	15

Al biogás recolectado se le realizó un análisis cualitativo del utilizando un analizador de gas Biogás 5000 Geotech (54). Para realizar la medición se conectó el analizador por medio de la manguera de entrada del equipo a la válvula de la bolsa de almacenaje de gas (Cole-Parmer Kynar), al cabo de unos minutos se pudo apreciar en la pantalla los porcentajes en los que se encuentran los gases a estudiar. Se repitió el proceso en el total de las bolsas que recolectaron el biogás, para evaluar posteriormente sus resultados.

#### **2.4. Análisis de datos**

Los datos obtenidos fueron comparados con datos encontrados en la revisión bibliografía con estudios previos relacionados para corroborar los resultados obtenidos.



## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Caracterización la composición física – químicas de muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy

Las vacas se alimentan de manera balanceada utilizando forraje y alimento concentrado dependiendo de la necesidad de cada animal, el cual contiene altos niveles de proteína y contenido energético debido a los requerimientos para la producción lechera. Además de la presencia de minerales y vitaminas como el cloruro de sodio, calcio, fósforo, magnesio y las vitaminas A, D y E (57).

En el caso de los cerdos su alimentación está basada en raciones concentradas de compuestos de cereales y proteínas vegetales, para potenciar su crecimiento y alcanzar su requerimiento energético. Presenta minerales como el fósforo y calcio en mayor cantidad y otros minerales en valores menores dependiendo de la etapa en la que se encuentre el animal (58).

En los cuyes su alimentación es mixta presentando una mezcla de forraje con concentrado, el cual es una mezcla formulada que presenta los nutrientes esenciales para mejorar el crecimiento y el peso de los animales. Como el calcio, fósforo, magnesio, potasio y vitamina C que condicionan el desarrollo de ellos (59).

Los sustratos contienen una gran gama de materias orgánicas simples y complejas que pueden utilizarse en el proceso. La clasificación de los sustratos según su composición bioquímica puede ser útil para evaluar la inaccesibilidad, biodegradabilidad y biodisponibilidad de los sustratos (60).

Las muestras fueron analizadas en Laboratorio De Ensayo Y Control De Calidad-UCSM, para determinar **Humedad (%)**, **Ceniza (%)**, **Materia orgánica (% Carbono)**, **Nitrógeno (%)**, **Relación carbono nitrógeno**. (Tabla N.º 8) Presentan los siguientes resultados:

**Tabla 8.** Informe de Análisis Físico Químico- muestra estiércol vacuno, porcino y de cuy

ANALISIS	RESULTADO		
	VACUNO	PORCINO	CUY
<b>DETERMINACION DE HUMEDAD (%)</b> Método gravimétrico adaptado de NTP 209 264 2013	60,27	87,41	12,13
<b>DETERMINACION DE CENIZA (%)</b> Método gravimétrico adaptado de NTP 209 265 2013	6,25	1,58	15,1
<b>DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA (% CARBONO) Método gravimétrico</b>	33,48	11,09	72,77
<b>DETERMINACION DE NITROGENO (%)</b> Método Kjeldahl	0,41	2,73	0,81
<b>RELACION CARBONO NITROGENO</b> Norma Mexicana NMX-AA-067-1985	47,36	2,36	58,11

Los resultados de la caracterización de las muestras recolectadas fueron comparados con valores promedios obtenidos en un estudio previo *Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles* en animales en la misma región (21). (Tabla Nº9)

*Tabla 9. Características fisicoquímicas obtenidos en el estudio de caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles (21)*

ANALISIS	VACUNO	PORCINO	CUY
CARBONO (%)	17.98	17.4	35
NITROGENO (%)	1.51	1.1	2.6
C/N	25	16	13

En la tabla N°9 se presentan los valores obtenidos en dicho estudio datos que nos sirven para comparar con nuestros resultados en donde se puede observar que los valores obtenidos con la muestra de ganado bovino se encuentran más altos entre los valores con respecto al porcentaje presente de carbono y nitrógeno, presentando una relación carbono/nitrógeno (C/N) notablemente más alta (21), en donde se tiene como referencia que un valor de C/N de entre 25 y 30 es óptimo para un mejor desempeño en las bacterias encargadas de la digestión (61).

Valores que no se encuentran parecidos a los comparados resaltando la diferencia por el tipo de alimento que ha podido recibir el animal, la especie exacta, el tipo y ubicación de crianza como respuesta a la diferencia encontrada.

En referencia a la muestra del ganado porcino los porcentajes de carbono y nitrógeno se encuentran lejanos a los valores encontrados en el estudio a comparación (Tabla N°9) (21), presentando en el carbono un valor menor y en el nitrógeno un valor mayor por lo que genera una relación C/N muy pequeña en relación con el valor ideal que se encuentra entre 25 y 30 (61) para la formación de metano, sin embargo, no llega al nivel en donde se genera alguna inhibición bacteriana.

Teniendo como respuesta a la diferencia encontrada el tipo de alimentación del animal, la ubicación y tipo de crianza realizada como factores influyentes en la obtención de los datos encontrados.

Con relación a la muestra de estiércol de cuy los valores se encuentran más elevadas que al valor encontrado en el estudio a comparación (Tabla N°9) (21), obteniéndose en relación al carbono un valor mayor, y en el nitrógeno un valor menor, lo cual genera una relación carbono nitrógeno más elevada a la ideal que se encuentra entre 25 y 30 (61).

Teniendo como respuesta a la diferencia encontrada el tipo de alimentación del animal, la ubicación y tipo de crianza realizada como factores influyentes en la obtención de los datos encontrados. Debido a que estos valores distan de los necesarios se puede observar que siendo trabajados como monodigestión podrían presentar dificultad para lograr obtener los resultados deseados por lo que al realizar una mezcla de sustrato probando concentraciones facilitaría la obtención de biogás.

En relación al porcentaje de cenizas y humedad, en las muestras de estiércol vacuno y porcino los valores de humedad están sobre el 50%, aun así, es necesario agregar agua dado que la muestra tiende a endurecerse lo que complica el proceso de preparación de sustrato.

En el caso de la muestra de estiércol de cuy el porcentaje de humedad es menor al 50 % lo que genera que se formen el estiércol en pequeñas por lo tanto un pretratamiento que ayude a romper las capsulas es recomendado además de que también necesita de agua para la preparación del sustrato.

La determinación de metales totales (mg/Kg) se realizó usando el método Adapted Determination of Metals and Trace Elements in Water and Washes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200,7 (62), (Tabla N°10).

**Tabla 10.** Determinación de Metales Totales - muestra estiércol vacuno, porcino y de cuy

<b>DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (mg/Kg)</b>			
<b>Análisis</b>	<b>Resultado</b>		
	<b>Vacuno</b>	<b>Porcino</b>	<b>Cuy</b>
<b>Plata (Ag)</b>	0	0	0
<b>Aluminio (Al)</b>	285,909	181,176	63,333
<b>Arsénico (As)</b>	13,182	7,647	8,333
<b>Boro (B)</b>	10,909	7,059	6,333
<b>Bario (Ba)</b>	15,909	11,176	4,333
<b>Berilio (Be)</b>	0	0	0
<b>Calcio (Ca)</b>	3535,909	751,471	680,667
<b>Cadmio (Cd)</b>	0	0	0
<b>Cobalto (Co)</b>	0	0	0
<b>Cromo (Cr)</b>	0	0	0
<b>Cobre (Cu)</b>	155,455	11,765	11,333
<b>Hierro</b>	226,364	100,294	65
<b>Potasio (K)</b>	1308,182	588,824	708,667
<b>Litio (Li)</b>	0	0	0
<b>Magnesio (Mg)</b>	1157,273	307,941	149
<b>Manganeso (Mn)</b>	87,727	5,588	11,333
<b>Molibdeno (Mo)</b>	0	0	0
<b>Sodio (Na)</b>	0	0	0
<b>Níquel (Ni)</b>	5455	2,353	2,667
<b>Fosforo (P)</b>	3478,636	405,882	529
<b>Plomo (Pb)</b>	9,147	0	0
<b>Antimonio (Sb)</b>	0,015	0	0
<b>Selenio (Se)</b>	0	0	1,67
<b>Silicio (Si)</b>	222,273	136,176	2,667
<b>Estaño (Sn)</b>	0	0,294	0,333
<b>Estroncio (Sr)</b>	6,6814	9,706	0,64
<b>Titanio (Ti)</b>	0	0	0
<b>Talio (Ta)</b>	0	0	0
<b>Vanadio (V)</b>	0	0	0
<b>Zinc (Zn)</b>	341,364	21,471	341,364

Los metales pesados afectan a las reacciones bioquímicas que tienen lugar durante los procesos de digestión anaeróbica de materia orgánica (63). La presencia de metales ayuda a cumplir las necesidades de macronutrientes como el fósforo y de micronutrientes para la síntesis de la biomasa (64). Los metales como el fósforo, hierro, cobalto, molibdeno, selenio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, tungsteno, níquel y boro en concentraciones pequeñas mejoran la producción de metano debido a que son esenciales para los microorganismos anaeróbicos (2). Los principales elementos que se encuentran en el estiércol son N, P, K, Ca, Cl, Mg, Na y S (65) .

Muchos metales pesados son parte de enzimas esenciales que impulsan numerosas reacciones anaeróbicas, pueden ser estimulantes, inhibidores o incluso tóxicos para la digestión anaerobia y las reacciones que se presentaran y el grado de estas depende totalmente del tipo de metal, la forma en la que se encuentra en el sustrato y su concentración (63) (62).

En las muestras evaluadas se encuentra presencia de los metales mencionados, con excepción del cobalto, tungsteno y el selenio que solo se encuentra en el estiércol de cuy. Los valores obtenidos se encuentran dentro de las concentraciones recomendadas a excepción de la presencia de concentraciones altas de calcio y fósforo los cuales son los metales que se encuentran a mayor cantidad en el alimento suministrado de mayor manera en el ganado vacuno (2). Como también trazas de metales los cuales no se incluyen como suplemento en su alimentación como el antimonio y el plomo, que pueden estar presentes en parte del forraje como contaminante o en el ambiente en donde se encuentra el animal (2), siendo concentraciones bajas por lo cual no generarían ninguna reacción perjudicial al proceso de digestión anaerobia.

### 3.2. Evaluación óptima de producción de biogás de sustratos

La evaluación se realizó con el fin de saber si las muestras obtenidas podrían ser utilizadas para una futura obtención de biogás, evaluando su comportamiento en solitario en cuestión de tiempo de producción y pH.

Se evaluó el tiempo óptimo y necesario para la producción de biogás de cada uno de los sustratos, (Tabla N°11) en donde se obtuvo que se necesita un promedio de 1 mes para poder obtener una cantidad importante la cual pueda ser utilizada para estudio o en mayor escala como fuente de energía sin necesidad de agregar más cantidad de sustrato.

Siendo el tiempo de retención recomendado por estudios previos que se encuentra entre 27 a 30 días para obtener resultados óptimos (66), debido que para la oxidación del oxígeno presente en el aire en los frascos se necesita por lo menos una semana, siendo la semana dos cuando recién inicia la producción de gas metano.

**Tabla 11.** Evaluación de días de producción

	Duración de Producción (días)
<b>FRASCO 1 E. Vacuno</b>	28
<b>FRASCO 2 E. Porcino</b>	31
<b>FRASCO 3 E. de Cuy</b>	30

Se hizo una evaluación del pH final del sustrato (Tabla N° 12) después de su proceso de digestión anaerobia, lo cual permite evaluar si el ambiente es óptimo para los microorganismos que la realizan y si en un futuro se debe optimizar para lograr los resultados deseados.

*Tabla 12. pH final en la evaluación de producción de biogás de sustratos.*

	pH
<b>FRASCO 1 E. Vacuno</b>	7.1
<b>FRASCO 2 E. Porcino</b>	7.4
<b>FRASCO 3 E. de cuy</b>	6.9

Los valores que se obtuvieron en los distintos sistemas se encuentran cercanos a la neutralidad, los cuales permiten una mejor producción de metano en menor tiempo además de evitar condiciones en donde se generen inhibiciones como en ambientes con pH ácido lo cual requiere un mayor tiempo de producción y distintos pretratamientos para acondicionar el sustrato (67). El rango de pH que presenta mejores resultados para la digestión anaerobia se encuentra entre (6.8-7.2) (60).

Experimentaciones anteriores señalan que el pH del estiércol vacuno presenta un valor de entre 6.3-7.0 (68), el estiércol porcino presenta un valor de 6.3 (69) y el estiércol de cuy presenta un valor de 8,8 (70).

Los valores obtenidos fueron en una dilución con agua destilada, presentando un pH más óptimo para la digestión anaerobia que los señalados en literatura, los cuales permiten ser utilizados tanto en monodigestión como en codigestion.

### 3.3. Evaluación de la producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy).

Se evaluaron los 12 frascos para su producción volumétrica, en donde se midió los valores de pH inicial y final. El valor del pH indica un entorno saludable para los microorganismos del digestor, el cambio del valor del pH de las materias primas mezcladas en la codigestión es más estable y más fácil de mantener en el rango óptimo de pH durante el proceso de digestión en comparación con la digestión de un solo sustrato (60). En relación a la evaluación del pH inicial con el pH al finalizar el experimento se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N° 13).

**Tabla 13.** *Variación de pH*

	pH Inicial	pH Final
<b>Frasco 1</b>	7.1	7.3
<b>Frasco 2</b>	7	7
<b>Frasco 3</b>	7.3	7.2
<b>Frasco 4</b>	7.1	7.2
<b>Frasco 5</b>	7	7.2
<b>Frasco 6</b>	7.5	7
<b>Frasco 7</b>	7.1	7.1
<b>Frasco 8</b>	7.3	7.3
<b>Frasco 9</b>	7.2	7.1
<b>Frasco 10</b>	7	7.2
<b>Frasco 11</b>	7.3	7
<b>Frasco 12</b>	7	7.1

Se puede observar que los valores no tuvieron una variación significativa y se mantuvieron cercanos a la neutralidad, lo que indica que es un buen ambiente para los microorganismos encargados de la digestión anaerobia sin necesidad de agregar ningún componente para estabilizar sus niveles de pH.

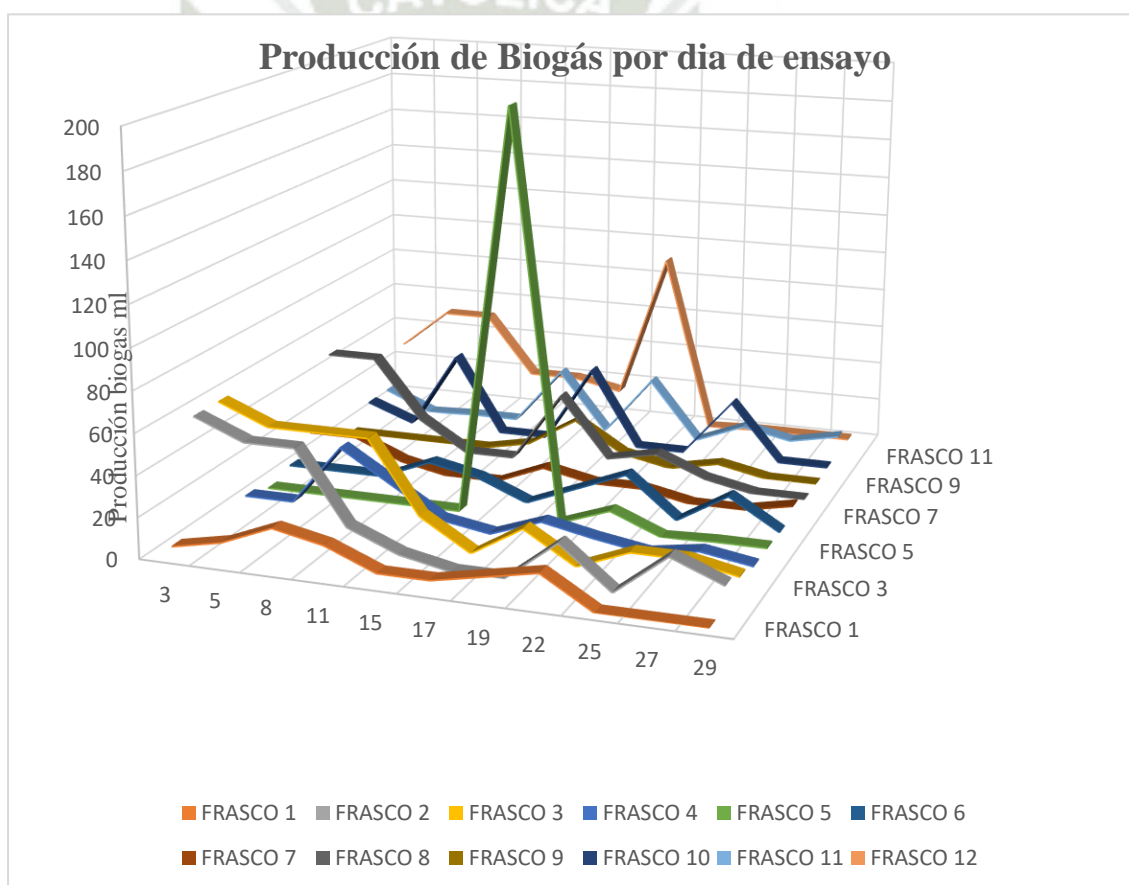
Los valores de pH obtenido experimentalmente se encuentran en un rango de entre (7-7.5) pH inicial y entre (7-7.3) de pH final. Estudios previos determinan que el rango de pH que presenta mejores resultados para la digestión anaerobia se encuentra entre (6.8-7.2) (60).

Los valores de pH bajos generan una reducción en la actividad de los microorganismos encargados de la metanogénesis lo que provoca una acumulación de ácidos que provocaran un gas pobre en metano, por otra parte, niveles altos de pH provoca la formación de amoníaco el cual a concentraciones muy altas inhibe el crecimiento de los microorganismos (29).

Durante el proceso de digestión anaerobia el valor de pH suele fluctuar durante las etapas que se realizan, teniendo como el pH en la última etapa alrededor de un valor de 7, debido a que la conversión de ácidos volátiles a metano y dióxido de carbono se da en estas condiciones (66).

Por lo tanto, los valores obtenidos de pH finales determinan que el total de frascos evaluados se encuentran en las condiciones de pH adecuadas para la obtención óptima de biogás, sin embargo, no se descartan otro tipo de alteraciones en los resultados por parte de otro factor.

Para la obtención total de producción de Biogás se realizó una medición inter diaria de la cantidad de gas producido por cada uno de los frascos evaluados por un lapso de 29 días aproximadamente a intervalos de temperatura ambiente y de 37°C. En donde se obtuvieron los siguientes datos (Anexo N°4). Con los datos obtenidos se realizó una comparación gráfica de la producción total de biogás por día de ensayo, (Figura N°8). En la figura 8 se presenta la producción diaria de biogás resultante de las diferentes mezclas de sustratos evaluados.



*Figura 8. Producción total por día de ensayo*

Durante la primera semana de evaluación los frascos número (2,3, 8 y 12) muestran una curva de crecimiento exponencial durante esos días con, los frascos (4 y 10) mostraron un pico de crecimiento de 50 ml aproximadamente en el día 7 solamente, mientras que los demás frascos mostraron un crecimiento gradual durante esos días.

En la segunda semana de evaluación se presentaron picos de producción donde se presenta un aumento significativo entre los días 15 y 17 en los frascos (5 y 9) con una producción de 200 ml y 90 ml respectivamente, pico de producción que se ve en menor medida en los frascos (6,8,10 y 11) con 50 ml aproximadamente, mientras que en los demás frascos se presentó un crecimiento mucho menor con valores menores a los 10 ml de producción y presentando días sin cambio de producción.

Durante la tercera y última semana de evaluación los valores presentados fueron en disminución hasta ser casi nulas en el día 29, con excepción del frasco 2 y 6 los cuales seguían manteniendo una producción pequeña.

Estudios previos demuestran que durante la primera semana se produce una tendencia decreciente debido a que inicialmente el gas producido se genera por medio de la respiración de los sustratos por la existencia de aire dentro del digestor, el oxígeno presente en el aire se convierte por oxidación en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El oxígeno del aire ha provocado, por lo tanto, la cantidad de oxígeno disminuye e inicia el proceso anaeróbico el cual suele comenzar en la segunda semana (66). De manera a que los frascos a seleccionar como mejores productores de Biogas son los que presentan un crecimiento en su curva en la segunda semana.

Se calculó la producción inter diaria de cada uno de los frascos en donde se obtuvo un valor total de producción acumulada de biogás. Obteniéndose los siguientes resultados con relación al volumen total producido. (Tabla N°14). Se realizo una comparación grafica de la producción total de biogás por frasco utilizado en el ensayo. (Figura N°9).

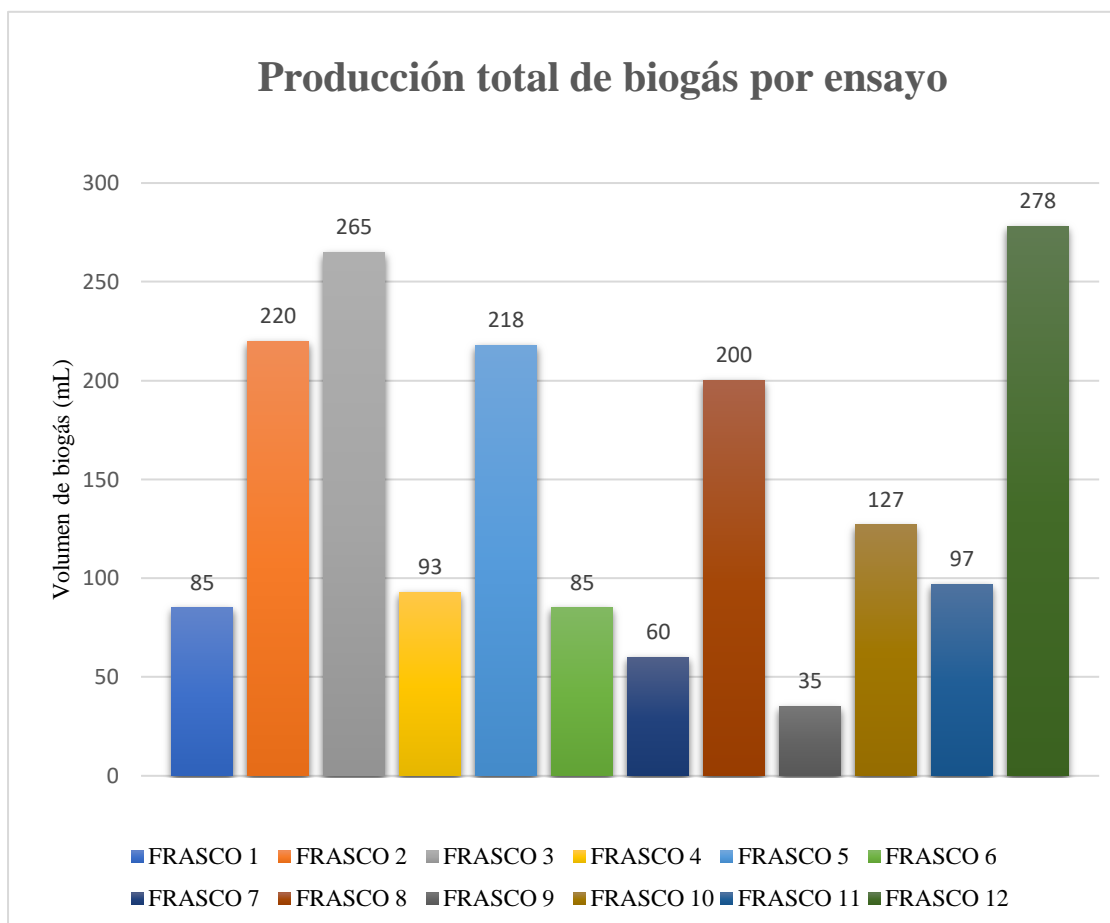
**Tabla 14.** Producción volumétrica total de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cerdo y cuy).

FRASCO	TOTAL (mL)
1 (50%:25%:25%) <sup>a</sup>	85
2 (25%:50%:25%) <sup>b</sup>	220
3 (25%:25%:50%) <sup>c</sup>	265
4 (60%:20%:20%) <sup>a</sup>	93
5 (20%:60%:20%) <sup>b</sup>	218
6 (20%:20%:60%) <sup>c</sup>	85
7 (80%:10%:10%) <sup>a</sup>	60
8 (10%:80%:10%) <sup>b</sup>	200
9 (10%:10%:80%) <sup>c</sup>	35
10 (100%:0%:0%) <sup>a</sup>	127
11 (0%:100%:0%) <sup>b</sup>	97
12 (0%:0%:100%) <sup>c</sup>	278

\*(a) mayor concentración de estiércol de vaca

(b) mayor concentración de estiércol de cerdo

(c) mayor concentración de estiércol de cuy



*Figura 9. Producción total de biogás por ensayo*

Los valores obtenidos presentan como el valor mayor de producción total al frasco 12 con 278 ml totales de biogás (Concentración 100% de estiércol de cuy) y en el frasco 2 con 220 ml totales de biogás (Concentración 50%:25%:25% de estiércol de cuy, vacuno y porcino respectivamente) y con menor producción en el frasco 9 con 35 ml totales de biogás (Concentración 80%:10%:10% de estiércol de cuy, vacuno y porcino respectivamente), y al frasco 7 con 60 ml totales de biogás (Concentración 80%:10%:10% de estiércol de vaca, cerdo y cuy respectivamente).

A partir de los datos obtenidos se separaron los frascos que presentan mayor producción siendo los frascos 2,3,5,8,12 (Tabla N°15) los cuales fueron comparados para poder realizar la selección de la concentración a trabajar.

**Tabla 15.** Comparación de frascos para selección

FRASCO	PRODUCCION TOTAL (ML)
<b>2(25%:50%:25%)<sup>B</sup></b>	220
<b>3(25%:25%:50%)<sup>C</sup></b>	265
<b>5(20%:60%:20%)<sup>B</sup></b>	218
<b>8 (10%:80%:10%)<sup>B</sup></b>	200
<b>12 (0%:0%:100%)<sup>C</sup></b>	278

\*<sup>(b)</sup> mayor porcentaje de estiércol de cerdo, <sup>(c)</sup> mayor porcentaje de estiércol de cuy

Se seleccionaron los frascos que presentaban mayor volumen de biogás, que son el de estiércol de cerdo en los frascos 2 (25%:50%:25%), 5 (20%:60%:20%) y 8 (10%:80%:10%), destacando que son los tres frascos en trabajo de codigestión que producen mayor cantidad de biogás a diferencia del frasco 11 el cual contenía un 100% de estiércol de cerdo, siendo este tipo de estiércol el más adecuado para trabajar y ayudar a potenciar un proceso de codigestion a diferentes concentraciones; sin embargo sus valores obtenidos no son los que se encuentran más cercanos al máximo valor.

El frasco 3 (25%:25%:50%) y el frasco 12 (0%:0%:100%) presentan los dos valores máximos a trabajar teniendo como concentración mayor al estiércol de cuy destacando tanto en términos de codigestion como en una digestión individual, no obstante, sus otras dos concentraciones mostraron valores intermedios como se puede observar, que pueden mejorar en la concentración adecuada.

Por último, los frascos que trabajaron con estiércol de vaca en sus concentraciones de codigestion como en monodigestión presentaron valores que se encuentran más cercanos al extremo mínimo sin ningún dato a destacar.

Se compararon los datos obtenidos con los datos de producción del estudio “Emisiones de metano a partir de estiércol de vacuno, cuy y porcino en la granja de la universidad nacional agraria de la selva” de López Nieve (71), el cual realiza la comparación de producción de metano del estiércol vacuno, estiércol porcino y estiércol de cuy en una mezcla con agua destilada trabajando en monodigestión.

Donde el estiércol de cuy genera 6.763 ml/g de metano, el estiércol porcino genera 3.332 ml/g de metano y el estiércol vacuno genera 3.345 ml/g, donde se puede observar las variaciones en cada tipo de estiércol en función a los días necesarios que necesitan para la generación de metano al trabajar en una dilución de estiércol en agua (71). Estos valores demuestran una producción mayor de metano de casi el doble por parte del estiércol de cuy, seguido por el estiércol de ganado vacuno y al último el estiércol de ganado porcino, siendo el estiércol de cuy el que presento una mejor eficiencia en su relación sustrato y la dilución de agua. Los datos de López Nieve (71) corroboran los resultados de este estudio de forma experimental en donde los frascos que contenían un mayor porcentaje de estiércol de cuy, tienen superior producción que los frascos que contienen un mayor porcentaje de estiércol porcino y estiércol vacuno.

Siendo el caso del estudio “Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude” de Grafi et al, (72) con el objetivo de mejorar la digestión anaeróbica de estiércol de vaca y de cuy en digestores tubulares no calefactados comparando las diferentes condiciones de operación y co-digestando ambos estiércoles.

En donde el trabajo en codigestión del estiércol vacuno y de cuy obtuvo resultados mejores que la monodigestión del estiércol de cuy lo cual se ve relacionado por la falta de pretratamiento mecánico del estiércol antes de la mezcla que permita separar el sustrato previa dilución, se ve reflejado en los resultados obtenidos que el estiércol vacuno presentó mejores resultados también de mano de su propia composición siendo más fácil para la dilución, siendo este un paso necesario al trabajar con tipos de estiércoles compactos bajos en humedad debido a que afectan los resultados

Por medio de los resultados obtenidos comparados con el trabajo de López Nieve (51) y de Grafi (72) se hizo la selección del frasco para ser utilizada en el prototipo de biodigestor, se eligió el frasco 3 con la concentración (25%25%50%) de estiércol de vaca, cerdo y cuy respectivamente. El cual demostró ser el frasco con mejor producción en términos de codigestión, a pesar de que el frasco 12 con concentración (0%0%100%) de estiércol de vaca, cerdo y cuy respectivamente presentó el valor más alto de producción, fue descartado debido a que trabaja en una concentración pura de estiércol de cuy y en este trabajo se desea trabajar en codigestión.

Siendo el estiércol de cuy recomendado para un trabajo en codigestión con otros tipos de estiércol para mejorar los valores de la carga orgánica y por ende la producción de biogás, debido que por su composición puede generar complicaciones en una monodigestión por gran carga orgánica que necesitaría un pretratamiento (73).

### 3.4. Análisis cualitativo del biogás producido

El Biogás generado en los frascos seleccionados se midió mediante un analizador de gas biogás 5000 Geotech, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N°16).

**Tabla 16.** Porcentaje de gases presentes en el biogás obtenido mediante un analizador de gas Biogas 5000

	FRASCO 1	FRASCO 2
<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	33.3	33.2
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	9.9	9.9
<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>	60	71

Los valores obtenidos de metano se encuentran muy similares a un 33.3% para el frasco 1 y 33.2% para el frasco 2, siendo una repetición de la misma muestra, y para dióxido de carbono se encuentran en 9.9% en ambos frascos.

Los datos comparados a un valor porcentual teórico en donde se estima un nivel de metano ente los 40-75% y un valor de dióxido de carbono entre los 25-40% (74). La relación entre el dióxido de carbono dióxido de carbono y el metano en el biogás depende del estado de oxidación medio del carbono en la materia prima (75).

Los resultados se encuentran en un rango menor, no obstante, se sabe cada tipo sustrato posee una composición diferente de biogás, encontrándose en la literatura que los porcentajes de metano y de dióxido de carbono suelen fluctuar con el pasar de los días alcanzando un pico en un día determinado, por lo que evaluaciones constantes de la

composición del biogás suele ser recomendable (76). La composición del biogás de estiércol de animales suele ser cambiante dependiendo de la naturaleza del sustrato a evaluar y el ambiente que se encuentra, el porcentaje de metano en la digestión anaerobia de estiércol vacuno suele ir desde 40% hasta 70% (77), en el caso del estiércol porcino suele ir desde 20% hasta 70% (77), en el caso del estiércol de cuy variando desde 28% a 50% (78) ; siendo resultados obtenidos en distintos estudios evaluados en diferentes concentraciones y componentes.

Los valores obtenidos pueden ser relacionados a la presencia de compuestos no degradables que causan grandes desviaciones del estado de oxidación teórico en muchas materias primas de biomasa a los rangos de temperatura en los que se encontraban, debido a que los valores evaluados en la caracterización de las muestras y en el pH encontraban en las condiciones óptimas para biogás de mejor calidad.

El valor de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) entre 60-71 ppm y la presencia de otros gases en el porcentaje restante, los valores de ácido sulfhídrico empiezan la inhibición entre concentraciones de rango de 40 a 400 mg  $H_2S/l$ , sin embargo se presentan estudios que señalan que después de un periodo de adaptación el biogás puede resistir concentraciones de hasta 200 mg  $H_2S/l$ , la práctica ha demostrado que el  $H_2S$  puede generar complicaciones en concentraciones mucho más bajas, especialmente cuando se combina con otros componentes inhibidores como el amoníaco o una baja concentración de hierro (75). La presencia ácido sulfhídrico a concentraciones mayores de 500 ppm y mortal a mayor de 1000 ppm (79), por lo que suele ser un componente no deseado en el biogás, además de que se genera a mayores cantidades a temperaturas ambientales bajas. (80)

Según últimos estudios el biogás suele ser evaluado post procesos de purificación, en especial procesos para retirar el ácido sulfhídrico presente, siendo la eliminación biológica a través de biofiltros la alternativa más utilizada, sin embargo, suelen ser métodos costosos. (81).

Dichos procesos de purificación permiten mejorar su rendimiento para poder ser utilizado como fuente alterna de combustible o de energía (82), por medio de la información revisada, los valores obtenidos de composición del biogás obtenidos sin purificar podrían presentar una mejoría en sus concentraciones de metano y dióxido de carbono una vez realizada.

### **3.5. Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor**

El diseño realizado con el software AutoCAD fue construido a una escala mayor que los sistemas anteriormente trabajados utilizando un bidón de agua el cual cumplía con los requisitos tanto de entrada como salidas necesarias, se realizó el diseño del tipo discontinuo, permitiéndonos más hermeticidad de manera que se eviten las fugas de gas en algún lugar del sistema. La entrada utilizada fue sellada una vez se colocó el volumen necesario en el sistema y sirvió como salida para el gas generado, además de una pequeña salida en la parte inferior de los lodos la cual servía para la toma de muestras.

Con aproximadamente 20 L de volumen neto, siendo utilizados solo el 75% del volumen total a aproximadamente 15 L de la fase líquida para poder dejar espacio para la formación de la fase gaseosa (55), debido a que al ser generado el gas se produce un desplazamiento en el sustrato por medio de burbujas, aumentando el volumen del sustrato.

Al ser de un tamaño mediano el prototipo de biodigestor pudo ser manipulado con facilidad para poder realizar una agitación manual, debido a que el volumen de sólidos presentes tiende a sedimentarse por lo que genera la formación de espacios sin actividad biológica afectando el volumen efectivo y la producción de biogás para ser recolectado (83).

El prototipo posee un diseño sencillo de fácil replica para poder ser posteriormente en escalado para un volumen mayor, debido que para poder utilizar el biogás como fuente alterna de energía o combustible se necesitan cantidades mayores a las obtenidas dentro del laboratorio. Además de que en el proceso de escalado se pueden agregar componentes extras como un agitador, manómetro, separador de sedimentos, medidores de biogás, válvulas térmicas, sistema de calentamiento entre otros (2).

### 3.6. Producción de biogás en prototipo de biodigestor y análisis

Con un analizador de gas biogás 5000 Geotech fue evaluado el biogás que se obtuvo de los frascos seleccionados, de los cuales se obtuvo el siguiente resultado (Tabla N° 17)

*Tabla 17. Porcentaje de gases presentes en el biogás obtenido mediante un analizador de gas Biogás 5000 en el prototipo de biodigestor*

Gases	%
CH <sub>4</sub>	33.4
CO <sub>2</sub>	9.9
H <sub>2</sub> S	106

El valor que se obtuvo del análisis realizado fue para la concentración de metano un 33.4% y un 9.9% para la concentración del dióxido de carbono. Como en el análisis de los frascos anteriores presentaron los valores de metano y dióxido de carbono para la concentración seleccionada de (25% estiércol vacuno, 25% estiércol porcino y 50% de estiércol de cuy).

Se realizó una comparación en donde se presenta una variación en las concentraciones obtenidas mínima, donde se presenta una variación de 0.1 en referencia al porcentaje de metano presente y el mismo valor para el porcentaje de dióxido de carbono. Por lo que los datos obtenidos de la caracterización de biogás son los valores normales para esta concentración evaluada.

Al ser una muestra de biogás sin purificar se presenta un valor de 106 ppm de ácido sulfhídrico y presencia de otros gases en un porcentaje considerable, encontrándose presente en el rango inhibitorio de 40 a 400 mg H<sub>2</sub>S/l (75). En comparación a los datos previamente obtenidos se muestra un aumento considerable en la concentración de ácido sulfhídrico, lo cual puede indicar que los valores de inhibición van aumentando sin llegar a un estadio de periodo de adaptación el biogás que pueda resistir concentraciones mayores, los valores de H<sub>2</sub>S puede ser el responsable de que la muestra presente valores menores en sus porcentajes de metano y dióxido de carbono, señalando de la presencia de algún agente o agentes que están generando inhibición en el proceso (29). Para poder mejorar los resultados obtenidos sería necesario el uso de un proceso de purificación de ácido sulfhídrico y así obtener valores más óptimos de metano y dióxido de carbono que puedan ser utilizados como fuente alterna de energía (82).

## 4. CONCLUSIONES

PRIMERA: La caracterización organoléptica y fisicoquímicamente del estiércol de vaca, cerdo y cuy permitió confirmar que las características que presenta cada tipo de estiércol se encuentran aptas para ser utilizadas para la generación de biogás tanto en un trabajo de monodigestión como en modo de Co-digestión.

SEGUNDA: La evaluación de la cinética de producción de biogás empleando de diferentes tipos y proporciones de estiércol, siendo el Frasco N. °3 con un mayor porcentaje de estiércol de cuy debido al ser el cual presenta los mejores datos a nivel de codigestion; al ser trabajado en las concentraciones correctas, demostrando su efectividad tanto en el análisis experimental como en los análisis bibliográficos destacando en producción contra los otros tipos de estiércol por lo tanto, esta evaluación nos demuestra que el uso de la codigestion a concentraciones adecuadas puede resultar beneficioso en la búsqueda de una optimización del biogás producido sobre todo en granjas en donde se realiza la crianza de más de una especie de animales.

TERCERA: El prototipo de biodigestor fue diseñado para trabajar al volumen deseado y fue construido utilizando productos accesibles lo que lo vuelve viable para poder ser utilizado en una escala pequeña y/o ser utilizado en una escala mayor; además de permitir un proceso correcto de digestión anaerobia evitando agentes extraños o posibles fugas en el sistema.

CUARTA: El biogás obtenido fue cuantificado y caracterizado donde en la cuantificación se obtuvieron valores de producción que oscilan entre 35mL en la combinación de (10% 10% 80%) del de estiércol de vacuno, porcino y de cuy respectivamente como valor

mínimo, en comparación con 265mL en la combinación (25%25%50%) de estiércol de vacuno, porcino y de cuy respectivamente como valor máximo en términos de codigestion; respecto a la caracterización se obtuvieron porcentaje de metano de 33.4% y un porcentaje de dióxido de carbono de 9.9%.

QUINTA: Con esta investigación se logró evaluar proporciones de cada tipo de sustrato (estiércol vacuno, estiércol porcino y estiércol de cuy) para generar una biomasa mediante la codigestion que permitió alcanzar una buena producción de biogás, asimismo mediante el diseño y construcción de un prototipo de biodigestor se creó una base el cual para el escalamiento del biodigestor que permita un mayor control de los desechos pecuarios de la zona y poder generar un valor agregado como una fuente de energía alternativa.

## 5. SUGERENCIAS

El uso de distintas concentraciones de las muestras de estiércol vacuno, porcino y de cuy sigue siendo un ámbito en donde indagar para encontrar cual es la que genere una optimización de importancia con respecto a las ya evaluada, además de realizar las evaluaciones de las concentraciones en repetición que permitan un mejor análisis a posterior.

Al trabajar con biorreactores discontinuos es necesario no sobrecargarlos debido a que la presencia de gas genera un desplazamiento y al no tener el espacio necesario la presión acumulada puede generar algún tipo de accidente.

La composición del biogás obtenido fue sin ningún tipo de purificación en donde si se desea obtener valores más altos de metano se pueden utilizar distintas técnicas de purificación sobre todo métodos para desulfurar el biogás.

Una vez terminado el proceso de digestión anaerobia los lodos generados como residuo pueden ser utilizado como biofertilizantes, de esa manera aprovechar al máximo el total de los componentes presentes en el biodigestor, evitando de que sean contaminantes al ambiente en el caso de ser desechados.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sherman. A Study of Biogas Quality at Stormossen Oy. [Online].: Vaasa; 2016. Acceso 30 de 05 de 2021. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/38137132.pdf>.
2. Varnero Moreno T. Manual de Biogas. [Online].; 2011. Acceso 07 de 07 de 2021. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.
3. Tanigawa. Fact Sheet | Biogas: Converting Waste to Energy. [Online].; 2017. Acceso 03 de Junio de 2021. Disponible en: [https://www.eesi.org/files/FactSheet\\_Biogas\\_2017.09.pdf](https://www.eesi.org/files/FactSheet_Biogas_2017.09.pdf).
4. Fundacion Aquae, Biodigestor. [Online] Acceso 03 de Juniode 2021. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/biodigestor/>.
5. León Torres CA, Nomberto Rodríguez , Mendoza Avalos GA, Bardales Vásquez CB, Cabos Sánchez , Barrena Gurbillón MA. Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. Arnaldoa. 2019; 26(3).
6. Nuñez Bosch. Diseño y construcción de un digestor para la generación de biogás y fertilizante orgánico. Centro Azucar. 2016; 43(2): p. pp.35-42.
7. Mendoza Yenque J. Diseño e implementacion de una planta piloto de biogas para producir biogas y bioabonos a partir de estiércol de (Cavias Porcellus) en un bioreactor tubular de policloruro de vinilo. Trujillo, Peru: Universidad Nacional de Trujillo, Unidad de posgrado en Ingenieria Quimica.

8. J. Martí-Herrero , R. Alvarez , R. Cespedes , M.R. Rojas , V. Conde , L. Aliaga , et al. Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude. *Bioresource Technology*. 2015; 181(238-246).
9. Gerencia regional de agricultura A. Produccion Pecuaria 2020. [Online]; 2020. Acceso 03 de Juniode 2021. Disponible en: <https://www.agroarequipa.gob.pe/index.php/produccion?showall=&start=1>.
10. Parra Huertas RA. Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Revista P+L*. 2015; 10(2).
11. Guangyin Zhen , Xueqin Lu , Hiroyuki Kato , Youcai Zhao , Yu-You Li. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 69: p. 559-577.
12. S. G. Pavlostathis , E. Giraldo-Gomez. Kinetics of Anaerobic Treatment. *Water, Science & Technology*. 1991; 24(8): p. 35-59.
13. P. Merlin Christy , L.R. Gopinath , D. Divya. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 34: p. 167-173.

14. Kasinath A, Fudala-Ksiazek S, Szopinska M, Bylinski H, Artichowicz W, Remiszewska-Skwarek , et al. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021; 150(111509).
15. Pérez Pérez Sariñana , Cometta Conde. Biogas: Alternativa ambiental en el manejo de residuos orgánicos para su uso como energético sustentable. 9783659071904th ed. Guerrero Fajardo A, editor.: Editorial Académica Española; 2015.
16. García Rodríguez , Gómez Franco. Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia (Trabajo de grado). [Online].: Fundación Universidad de América; 2016. Acceso 02 de 06 de 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/667>.
17. Bernal Patiño E, Suárez Ramírez LS. Diseño conceptual de un biodigestor a partir de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca El Guarumal, para la obtención de biogás. [Online].: Fundación Universidad de América; 2018. Acceso 15 de 06 de 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6844>.
18. Márquez Vázquez , Martínez González SA. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Aragon: Centro Tecnológico Aragon, Laboratorio de Ingeniería Ambiental.
19. Perez Medel JA. Repositorio academico de la Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas. [Online].; 2010. Acceso 2021 de Marzo de 15. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103926>.

20. Gaworski , Jabłoński , Pawlaczyk-Graja , Ziewiecki , Rutkowski , Wiczyńska , et al. Enhancing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion. *Biotechnology for Biofuels* volume. 2017; 10(259).
21. Stronguiló Leturia ML, Chacón Febres LM. Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. *Enfoque UTE*. 2015; 6(4): p. 42-54.
22. Garfí , Ferrer-Martí L, Perez I, Flotats X, Ferrer I. Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Ecological Engineering*. 2011; 37(112): p. (2066-2070).
23. MR BTT. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy Sustain Dev*. 2011; 15: p. 347-345.
24. Martínez Hernández CM, García López. Utilización de pre-tratamientos básicos y específicos para la producción de biogás. Revisión y análisis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2016; 25(3).
25. Carrere H, Antonopoulou G, Affes , Passos F, Battimelli A, Lyberatos , et al. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*. 2016; 199: p. 386-397.
26. Taherzadeh MJ, Karimi. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *Int J Mol Sci*. 2008; 9(9): p. 1621-1651.

27. Hagos K, Zong J, Li D, Liu C, Lu X. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 76(Pg 1485-1496).
28. Alatraste-Mondragón , K Ahring , Samar , H J Cox , Iranpour R. Anaerobic Codigestion of Municipal, Farm, and Industrial Organic Wastes: A Survey of Recent Literature. *Water Environment Research*. 2006; 78(6): p. 607-636.
29. FAO. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. 2019;; p. 106.
30. Gunaseelan VN. Anaerobic Digestion of Biomass for Methane Production: A Review. *Biomass and Bioenergy*. 1997; 13: p. 83-144.
31. Schön M. Numerical modelling of anaerobic digestion processes in agricultural. Universität Innsbruck. Fakultät für Bauingenieurwissenschaften. 2009.
32. Muñoz , Meier L, Diaz , Jeison. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* volume. 2015; 14: p. 727-759.
33. Singh , Sooch. Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India. *Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India*. 2004; 45(9): p. 1329-1341.
34. Barlaz MZHaMA. LCA in Waste Management: Introduction to Principle and Method. *Solid Waste Technology & Management*. 2010; 2(1): p. 119-121.

35. Arhoun B. Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora. [Online].: Universidad de Malaga; 2017. Acceso 12 de 06 de 2021. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=214357>.
36. N. Cui. Biomethane as Transport Fuel, A Study on Upgrading Technologies and Biomethane Potential in Finland. [Online].; 2015. Acceso 16 de 06 de 2021. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/38126809.pdf>.
37. de-Hoyos-Vazquez FF, Carreño deLeón MdC, Hernández Berriel MdC, Colin-Cruz , Serrano Núñez. Medidor Digital de Volumen de Gases para Biorreactores. Conciencia Tecnologica. 2019;(57).
38. Sawyer , Trois C, Workneh T. Optimization of Biogas Yield through co-digestion of Cassava Biomass and Vegetable & Fruits waste at Mesophilic Temperatures. International Journal of Renewable Energy Research-IJRER. 2019; 9(2).
39. FONOTEST. Analizador BIOGAS5000 y Analizador GA 5000. [Online] Acceso 14 de 09de 2021. Disponible en: <https://www.fonotest.com/analizador-biogas5000-analizador-ga-5000.html>.
40. Ward A, Hobbs P, Holliman P, Jones D. optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresour Technol. 2008; 99: p. 7928-7940.
41. L.D. B. Anaerobic digestion of solid waste:state of the art. Water Sci. Technol. 2000; 41: p. 283-290.
42. Lahoz CG,MJMR,HFG,ACV. Producción de biogás a partir de residuos vegetales (II): Biorreactores anaeróbicos. Ing. Quimica. 2006;; p. 124-128.

43. C. Ruiz MTPSLMRM. The anaerobic SBR process: basic principles for design and automation..
44. Sharma A, Unni BG, Singh HD. A novel fed-batch digestion system for biomethanation of plant biomasses. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 199; 87(5): p. 678-682.
45. H. M. Poggi-Varaldo RRVGFVFEG. Inhibition of mesophilic solid-substrate anaerobic digestion by ammonia nitrogen. *Applied Microbiology and Biotechnology* volume. 1997; 47: p. 284-291.
46. Mata-Alvarez J, Cecchi F, Llabrés P, Pavan P. Anaerobic digestion of the Barcelona central food market organic wastes. Plant design and feasibility study. *Bioresource Technology*. 1992; 42(1): p. 33-42.
47. The Weather Company. The weather channel. [Online]; 2021. Acceso 04 de Setiembre de 2021. Disponible en: <https://weather.com/weather/monthly/1/581371e86194d7c7cbcfed0adef69fc1afe93bc7d376bec97c30374975bba4c6>.
48. García Martínez E, Fernández Segovia I. Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación. [Online]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16339/Determinación%20de%20humedad.pdf>.

49. INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización. DETERMINACIÓN CONTENIDO TOTAL DE. [Online].; 2013.. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/120-1.pdf>.
50. VELD Científica Srl. El método Kjeldahl. [Online]; 2020. Disponible en: <https://www.velp.com/es-sa/el-metodo-kjeldahl-1.aspx>.
51. Centro de Calidad Ambiental. NMX-AA-067-1985. [Online].; 1992.. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa067.pdf>.
52. ThermoFisher Scientific. Analyzing Trace Elements With EPA Method 200.7. [Online]; 2020. Disponible en: <https://www.thermofisher.com/pe/en/home/industrial/environmental/environmental-learning-center/environmental-resource-library/us-epa-methods/analyzing-trace-elements-epa-method-200-7.html>.
53. AKSAY MV, OZKAYMAK , CALHAN. Co-digestion of Cattle Manure and Tea Waste for Biogas Production. International Journal of Renewable Energy Research- IJRER. 2018; 8(3).
54. Ltd QES. QED. [Online]; 2011. Acceso 08 de 12de 2021. Disponible en: <https://www.qedenv.com/products/biogas-5000/>.
55. Chungandro Nacaza KR, Manitio Cahuatijo GJ. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. [Online].; 2010.. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1650>.

56. Gonzabay Valdiviezo AW, Suarez Monroy PM. Diseño y construcción de un biodigestor anaerobico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cascadas de naranja y mango. [Online].; 2016.. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13392/1/UPS-GT001762.pdf>.
57. InfoCarne. Alimentos para vacas lecheras. [Online]. Disponible en: [https://www.infocarne.com/bovino/vacas\\_lecheras2.asp](https://www.infocarne.com/bovino/vacas_lecheras2.asp).
58. Kresisch TV. Porcicultura. [Online]; 2019. Disponible en: <https://www.porcicultura.com/destacado/Mezclado-de-alimento-para-cerdos>.
59. FAO. ALIMENTACIÓN DE CUYES Y CONEJOS. [Online]; 2000. Disponible en: [https://www.fao.org/3/v5290s/v5290s45.htm#:~:text=Además%20de%20los%20des echos%20de,huesos%20\(harina\)%2C%20y%20conchilla](https://www.fao.org/3/v5290s/v5290s45.htm#:~:text=Además%20de%20los%20des echos%20de,huesos%20(harina)%2C%20y%20conchilla).
60. Kiros Hagos JZDLCL. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;(1364-0321).
61. Escalante Hernández H, Orduz Prada , Zapata Lesmes HJ, Cardona Ruiz MC, Duarte Ortega M. Muestreo y caracterización de la biomasa residual en Colombia. En UPME , editor. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bogota: Ideam, Colciencias, UIS; 2010. p. 130-142.
62. U.S.EPA. Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Cincinnati, OH.; Revision 4.4.

63. A. Mudhoo SK. Effects of heavy metals as stress factors on anaerobic digestion. International Journal of Environmental Science and Technol. 2013; 10: p. 1383–1398.
64. Qian Guo SMRXKZAKAKFYHCMPLXL. Heavy metals interact with the microbial community and affect biogas production in anaerobic digestion: A review. J Environ Manage. 2019;(240): p. 266-272.
65. Hamed M. El-Mashad RZ. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. Bioresource Technology. 2010; 101: p. 4021–4028.
66. Adedeji A. Adelodun TMOaOMO. Biogas Generation from Co-Digestion Waste Systems: The Role of Water Hyacinth. Sustainable Rural Development. 2022.
67. Parra-Orobio BA, Torres-Lozada , Marmolejo-Rebellón LF, Cárdenas-Cleves LM, Vásquez-Franco , Torres-López WA, et al. INFLUENCIA DEL pH SOBRE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE BIORRESIDUOS DE ORIGEN MUNICIPAL. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 2014; 17(2): p. 553-562.
68. Méndez JFS. El pH urinario, el pH en el estiércol y la temperatura rectal como indicadores de hipocalcemia, acidosis ruminal o infecciones uterinas en vacas en transición. [Online].; 2005.. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/items/8a313e61-6a7a-4637-9133-e2a96c0d8b73>.
69. M. B. Menna GJMBCDBG. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBIA DE ESTIERCOL DE CERDO. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2011; 15: p. 113-118.

70. Jordán-Bouchon Y. 1Vol. 3 / N.o 2Producción de biogás a partir de suero salado de queserías y estiércol de cuy en Santa Rosa de Quive. *South Sustainability*. 2022; 3(2).
71. LOPEZ NIEVE GF. EMISIONES DE METANO A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE VACUNO, CUY Y PORCINO EN LA GRANJA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. [Online].; 2019..
72. Marianna Garfí LFM,IP,XFIF. Codigestion of cow and guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Ecological Engineering*. 2011; 37: p. 2066–2070.
73. Marianna Garfí LFMVF. Psychrophilic anaerobic digestion of guinea pig manure in low-cost tubular. *Bioresource Technology*. 2011; 102(10): p. 6356-6359.
74. Nethengwe NS, Uhunamure SE, Tinarwo D. Potentials of biogas as a source of renewable energy: A case study of South Africa. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2018; 8(2): p. 1112-1123.
75. BERNHARD DROSG RBGUNB. Analysis and characterisation of biogas. University of Natural Resources and Life Sciences, Austria and T E O D O R I T A A L S A E D I , B I O S A N T E C H , Denmark. 2013; 3: p. 52-84.
76. W.E. Abd Allah MATAASSGKAMHES. Methane production enhancement of a family-scale biogas digester using cattle manure and corn stover under cold climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021; 45.
77. Yao Yao GHCAACPZXXJSJA. Anaerobic digestion of livestock manure in cold regions: Technological advancements and global impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 119.

78. ARROYO F, MONTA LG, REMACHE AP, TIPAN JG. Study of biogas generation from guinea pig excretions in discontinuous and Taiwanese biodigesters at elevations above 2,500 masl. *Espacios*. 2020; 41(23).
79. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. SULFURO DE HIDRÓGENO. [Online].; 2011.. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/288901/DLEP+69+Sulfuro+de+hidrógeno.pdf/7dced78c-e273-464f-a193-9c2ebc7a88?version=1.0&t=1528396116054>.
80. Solís RIM. MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL. [Online].; 2018.. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1929>.
81. Marc Fortuny XGMADJLCCDG. Operational aspects of the desulfurization process of energy gases mimics in biotrickling filters. *Water Research*. 2011; 45: p. 5665-5674.
82. Lianys Ortega Viera SRMEFSLBP. Principales métodos para la desulfuración del biogás. *Ingeniería Hidraulica y Ambiental*. 2015; 36(1).
83. Bayona Paez CD, Cortés Luengas BS. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIERCOL PORCINO A ESCALA PILOTO: CASO DE ESTUDIO BIORREACTOR CONTINUO TUBULAR PLÁSTICO (BCTP) FINCA TOSOLY. [Online].; 2015.. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160327.pdf>.

## ANEXOS

### Anexo N°1 Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE ENSAYO  
N° DE INFORME: ANA28A18.003167A

Nombre del Cliente : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA  
Dirección del Cliente : SAMUEL VELARDE 320 UMACOLLO  
RUC : 20141637941  
Condición del Muestreo : POR EL CLIENTE  
Descripción : Guano vacuno  
Tamaño de muestra : 500 g  
Fecha de Recepción : 28/01/2018  
Fecha de Inicio del Ensayo : 28/01/2018  
Fecha de Emisión de Informe : 07/02/2018  
Página : 1 de 2

I.  
II. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209.264.2013	60.27
DETERMINACIÓN DE CENIZA (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209.265.2013	6.25
DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (% CARBONO) Método gravimétrico	33.48
DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO (%) Método Kjeldahl	0.41
RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO Norma Mexicana NMX-AA-067-1985	47.36

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (mg/Kg)  
Adapted de Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7

ANÁLISIS	RESULTADO
Plata (Ag)	0.000
Aluminio (Al)	288.909
Arsénico (As)	13.182
Boro (B)	10.909
Bario (Ba)	15.909
Berilio (Be)	0.000
Calcio (Ca)	3535.909
Cadmio (Cd)	0.000
Cobalto (Co)	0.000
Cromo (Cr)	0.000

Figura Anexa 1. Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno (parte 1)

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Lima, Perú, Junio 1999 (Versión 01) CAMPUS LAMPEDUSANO (PERU) - TEL: 011 51 020226 4000011 1100  
E-mail: laboratorio@ucsm.edu.pe - 18 000 0000 0000 0000 - 18 000 0000 0000 0000 - 18 000 0000 0000 0000

**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA28A18.003167A**

<b>Nombre del Cliente</b>	: UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA
<b>Dirección del Cliente</b>	: SAMUEL VELARDE 370 UMACOLLO
<b>RUC</b>	: 20141637941
<b>Condición del Muestreo</b>	: POR EL CLIENTE
<b>Descripción</b>	: Guano vacuno
<b>Tamaño de muestra</b>	: 500 g
<b>Fecha de Recepción</b>	: 28/01/2018
<b>Fecha de Inicio del Ensayo</b>	: 28/01/2018
<b>Fecha de Emisión de Informe</b>	: 07/02/2018
<b>Página</b>	: 2 de 2

Potasio (K)	1308,192
Litio (Li)	0,000
Magnesio (Mg)	1157,273
Manganeso (Mn)	87,727
Molibdeno (Mo)	0,000
Sodio (Na)	0,000
Niquel (Ni)	5,455
Fosforo (P)	3478,536
Plomo (Pb)	9,147
Antimonio (Sb)	0,015
Selenio (Se)	0,000
Silicio (Si)	202,273
Estaño (Sn)	0,000
Estroncio (Sr)	6,814
Titanio (Ti)	0,000
Talio (Tl)	0,000
Vanadio (V)	0,000
Zinc (Zn)	341,364

**OBSERVACIONES:**

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL -DA
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

**Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez**  
 COFIDA 00024  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC

*Figura Anexa 2. Informe de ensayo de propiedades fisicoquímicas - muestra de estiércol vacuno (parte 2)*



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**


**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA28A18.003167B**


<b>Nombre del Cliente</b>	: UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTA MARÍA
<b>Dirección del Cliente</b>	: SAMUEL VELARDE 320 UMACOLLO
<b>RUC</b>	: 20141637941
<b>Condición del Muestreado</b>	: POR EL CLIENTE
<b>Descripción</b>	: Guano porcino
<b>Tamaño de muestra</b>	: 500 g
<b>Fecha de Recepción</b>	: 28/01/2018
<b>Fecha de Inicio del Ensayo</b>	: 28/01/2018
<b>Fecha de Emisión de Informe</b>	: 07/02/2018
<b>Página</b>	: 2 de 2

Litio (Li)	0.000
Magnesio (Mg)	307.941
Manganeso (Mn)	5.588
Molibdeno (Mo)	0.000
Sodio (Na)	0.000
Níquel (Ni)	2.353
Fósforo (P)	405.882
Plomo (Pb)	0.000
Antimonio (Sb)	0.000
Selenio (Se)	0.000
Silicio (Si)	136.176
Estaño (Sn)	0.294
Estroncio (Sr)	9.706
Titanio (Ti)	0.000
Talio (Tl)	0.000
Vanadio (V)	0.000
Zinc (Zn)	21.471

**OBSERVACIONES:**

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
**Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez**  
 COPDA 00124  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



*Figura Anexa 4. Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol porcino (parte 2)*

Anexo N°3. Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol  
de cuy

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

**INFORME DE ENSAYO**  
N° DE INFORME: ANA20A18.003167C

Nombre del Cliente : UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
 Dirección del Cliente : SAMUEL VELARDE 320 UMACOLLO  
 RUC : 20141637941  
 Condición del Muestreo : POR EL CLIENTE  
 Descripción : Guano de cuy  
 Tamaño de muestra : 500 g  
 Fecha de Recepción : 28/01/2018  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 28/01/2018  
 Fecha de Emisión de Informe : 07/02/2018  
 Página : 1 de 2

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209.264.2013	12.13
DETERMINACIÓN DE CENIZA (%) Método gravimétrico adaptado de NTP 209.265.2013	15.10
DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (% CARBONO) Método gravimétrico	72.77
DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO (%) Método Kjeldahl	0.91
RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO Norma Mexicana NMX-AA-067-1905	56.11

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (mg/Kg)  
Adapted de Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7

ANALISIS	RESULTADO
Plata (Ag)	0.000
Aluminio (Al)	63.333
Arsénico (As)	6.333
Boro (B)	6.333
Bario (Ba)	4.333
Berilio (Be)	0.000
Calcio (Ca)	580.667
Cadmio (Cd)	0.000
Cobalto (Co)	0.000
Cromo (Cr)	0.000
Cobre (Cu)	11.333
Hierro (Fe)	65.000
Potasio (K)	708.667

Figura Anexa 5. Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol de cuy (parte I)

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

INFORME DE ENSAYO  
 N° DE INFORME: ANA28A18.003157C

---

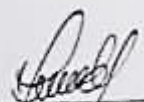
**Nombre del Cliente** : UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA  
**Dirección del Cliente** : SAMUEL VELARDE 320 UMACOLLO  
**RUC** : 20141637941  
**Condición del Muestreo** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : Guano de cuy  
**Tamaño de muestra** : 500 g  
**Fecha de Recepción** : 28/01/2018  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 28/01/2018  
**Fecha de Emisión de Informe** : 07/02/2018  
**Página** : 2 de 2


---

Litio (Li)	0.000
Magnesio (Mg)	149.000
Manganeso (Mn)	11.333
Molibdeno (Mo)	0.000
Sodio (Na)	0.000
Niquel (Ni)	2.667
Fósforo (P)	529.000
Plomo (Pb)	0.000
Antimonio (Sb)	0.000
Selenio (Se)	1.670
Silicio (Si)	2.667
Estaño (Sn)	0.333
Estroncio (Sr)	0.640
Titanio (Ti)	0.000
Talio (Tl)	0.000
Vanadio (V)	0.000
Zinc (Zn)	25.333

**OBSERVACIONES**

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad.

  
**R.A. Ricardo A. Abril Ramírez**  
 COPDA 00024  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



**Figura Anexa 6.** Informe de ensayo de propiedades físico químicas – muestra estiércol de cuy (parte 2)

**Anexo N°4. Producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cuy y cerdo).**

*Tabla Anexa 1. Producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol vacuno, porcino y de cuy*

Día	JUEGO 1			JUEGO 2			JUEGO 3			JUEGO 4		
	FRASCO 1	FRASCO 2	FRASCO 3	FRASCO 4	FRASCO 5	FRASCO 6	FRASCO 7	FRASCO 8	FRASCO 9	FRASCO 10	FRASCO 11	FRASCO 12
21/10/19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/10/19	5	60	60	5	1	5	15	50	0	10	10	30
25/10/19	10	50	50	5	1	5	15	50	0	1	0	50
28/10/19	20	50	50	35	1	5	5	20	0	40	1	50
31/10/19	15	15	50	20	1	15	0	5	0	1	1	20
04/11/19	5	5	15	5	1	10	0	5	5	1	30	20
06/11/19	5	0	0	1	200	0	10	40	20	40	0	15
08/11/19	10	0	15	10	1	10	5	10	5	1	30	90
11/11/19	15	20	0	5	10	20	5	15	0	1	0	0
13/11/19	0	0	10	1	0	0	0	5	5	30	10	1
15/11/19	0	20	10	5	1	15	0	0	0	1	5	1
18/11/19	0	10	5	1	1	0	5	0	0	1	10	1
<b>TOTAL</b>	85	220	265	93	218	85	60	200	35	127	97	278

**Anexo N°5. Caracterización la composición física – químicas de muestras de  
estiércol vacuno, porcino y de cuy**



*Figura Anexa 7. Establo del ganado vacuno Fundo Majes La Católica*



*Figura Anexa 8. Criadero de cerdos Fundo Majes La Católica*



*Figura Anexa 9. Criadero de cuyes Fundo Majes La Católica*



*Figura Anexa 10. Toma de muestra estiércol vacuno*



*Figura Anexa 11. Toma de muestra estiércol porcino*



*Figura Anexa 12. Toma de muestra estiércol de cuy*

Anexo N°6 Evaluación óptima de producción de biogás de sustratos



*Figura Anexa 13. Sistema armado con el sustrato de concentración deseada*



*Figura Anexa 14. Frascos con el sistema armado en el baño maría*

**Anexo N°8 Evaluación de la producción volumétrica de biogás con diferentes proporciones de sustrato de estiércol (vaca, cuy y cerdo).**



*Figura Anexa 15. Sistema completo armado con la probeta invertida*



*Figura Anexa 16. Probeta Invertida en agua para medición*

### Anexo N°7. Análisis cualitativo del biogás producido

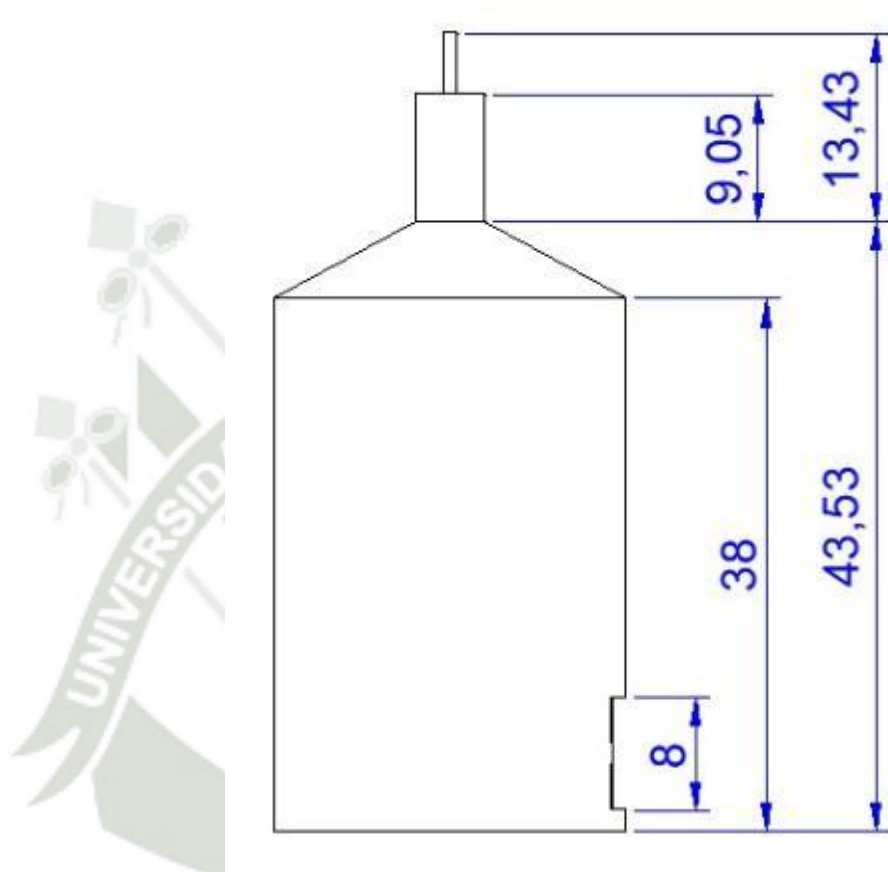


*Figura Anexa 17. Biogás obtenido*

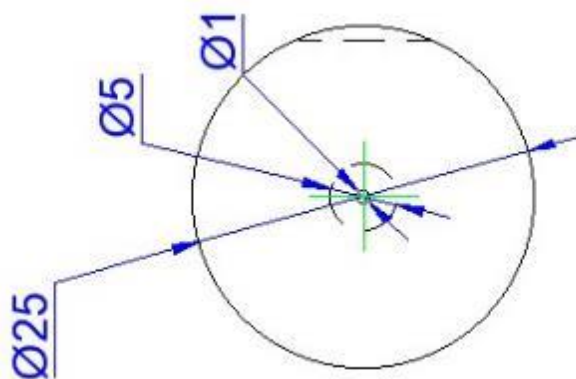


*Figura Anexa 18. Equipo medidor BIOGAS 5000 Geotech*

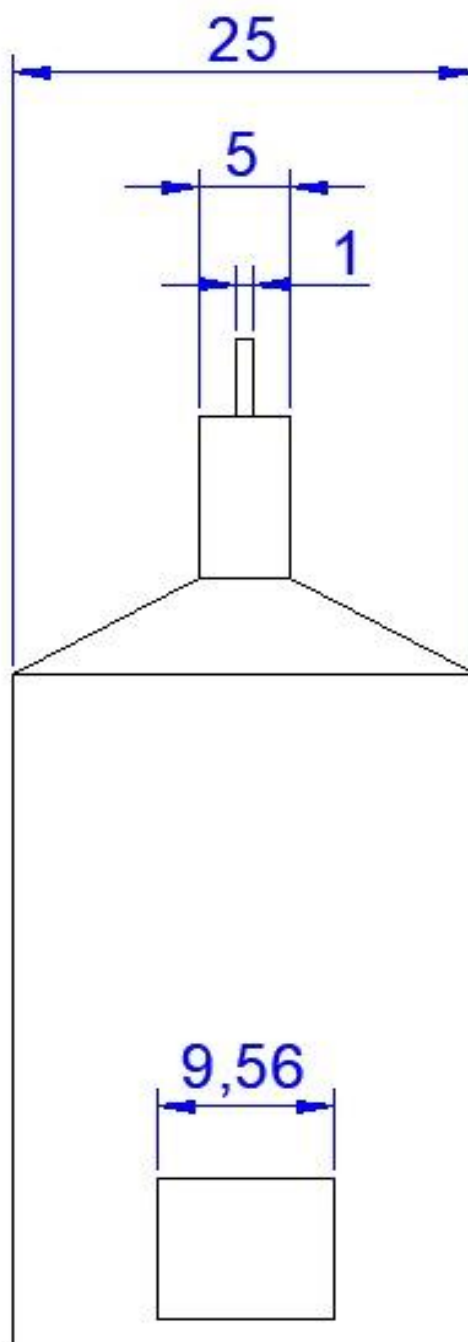
Anexo N°8. Diseño y construcción de un prototipo de biodigestor



*Figura Anexa 19. Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista lateral)*



*Figura Anexa 20. Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista superior)*



*Figura Anexa 21. Diseño en 2d con medidas del prototipo de biodigestor (Vista Frontal)*

**Anexo N°9. Producción en el prototipo de biodigestor**



*Figura Anexa 22. Prototipo de Biodigestor en producción*

### Anexo N°10 Análisis del gas obtenido



*Figura Anexa 23. Medición del gas obtenido*