UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO, AGUAS MIELES DE CACAO Y RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES, A NIVEL DE LABORATORIO

Autor: Bach. Willian Armando Barboza Cholan

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Registro:……

CHACHAPOYAS – PERÚ
2021

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, por brindarme la vida y la salud para cumplir todos mis objetivos.

A mi papá José y mamá Rosa, por ser las personas más significativas que siempre me han apoyado en todo lo que he emprendido y mi fuente de vida, gracias por inculcar en mí valores, virtudes y las ganas de luchar ante todo obstáculo.

A mis hermanos, Alexander y Esmeralda, por acompañarme en cada instante y entregarme su apoyo moral a lo largo de este periodo.

Y a todos mis familiares, amigos, que me brindaron sus consejos y apoyo para lograr este propósito.

Willian

AGRADECIMIENTO

A Dios**,** autor de la vida y amor, quien nos brinda sabiduría y capacidad para interpretar, analizar y desarrollar todos los conocimientos adquiridos en las aulas de nuestra Universidad.

A mis padres por ser las personas más significativas en mi vida, gracias a sus consejos, confianza, principios y valores, logro cada objetivo planteado en mí.

Al Asesor, Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por proporcionarme su apoyo y conocimientos para realizar la presente investigación.

Al Jurado Evaluador, el Lic. José Luis Quispe Osorio, el Ing. Wildor Gosgot Ángeles y el Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, por las sugerencias y orientaciones a mejorar la presente tesis.

Y a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por disponer la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a sus maestros, y a todos los que aportaron a mi formación profesional y humanística.

Willian

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
RECTOR

DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO

DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

M.SC. BLGA. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos Municipales, a nivel de laboratorio; del egresado Willian Armando Barboza Cholan de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 23 de Marzo de 2021

Firma y nombre completo del Asesor
Dr. Miguel Ángel Barrena Eurbillón

Vº Bº VICERRECTORADO ACADÉMICO

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS

Lic. José Luis Quispe Osorio

Presidente

Ing. Wildor Gosgot Ángeles

Secretario

Ing. Jefferson Fizgerald Reyes Farje

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-O

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos Municipales, a nivel de laboratorio

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Willian Armando Barboza Cholan

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,

con correo electrónico institucional wbch95@hotmail.com,

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.

b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 03 de Junio del 2021

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de Agosto del año 2021, siendo las 17:00 horas, el aspirante: Willian Armando Barboza Cholan, defiende en sesión pública presencial ( ) / a distancia (X) la Tesis titulada: Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos Municipales, a nivel de laboratorio, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Lic. José Luis Quispe Osorio
Secretario: Ing. Wildor Gosgot Ángeles
Vocal: Ing. Jefferson Fizgerald Reyes Farje.

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) Desaprobado ( )

Vº Bº VICERRECTORADO ACADÉMICO

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 18:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTO ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS iv
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS v
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS vi
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS vii
ÍNDICE GENERAL viii
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMEN xi
ABSTRACT xii
I. INTRODUCCIÓN 13
II. MATERIAL Y MÉTODOS 17
2.1. Localización 17
2.2. Diseño de investigación 17
2.3. Equipo experimental a nivel de laboratorio 18
2.4. Material Orgánico 19
2.5. Asignación de las proporciones de mezcla 20
2.6. Distribución de los valores de cada variable 21
2.7. Instalación de biodigestores y gasómetros 22
III. RESULTADOS 25
3.1. Temperatura ambiente 25
3.2. Producción del biogás 25
3.3. Optimización de la producción del biogás 26
IV. DISCUSION 29
V. CONCLUSIONES 32
VI. RECOMENDACIONES 33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 34
ANEXOS 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del estiércol de caprino. 13
Tabla 2. Composición química de la pulpa de cacao. 14
Tabla 3. Rango de valores de cada variable independiente. 20
Tabla 4. Valores de cada variable independiente evaluada. 21
Tabla 5. Distribución de los valores de cada variable según Box - Behnken. 21
Tabla 6. Distribución de las cantidades de sustratos. 22
Tabla 7. Biogás producido de las tres corridas de 15 experimentos cada una. 26
Tabla 8. Valor óptimo de cada variable independiente para maximizar la producción del biogás a 1766,01 mL. 28
Tabla 9. Volumen producido de biogás por cada corrida. 38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del laboratorio experimental. 17
Figura 2. Diseño de la investigación..... 18
Figura 3. Equipo experimental para nivel laboratorio. 19
Figura 4. Estiércol de caprino. 19
Figura 5. Aguas mieles de cacao (A) y desperdicios de comida (B)**.** 20
Figura 6. Estiércol de caprino triturado. 23
Figura 7. Llenado de los biodigestores con estiércol de caprino (A), aguas mieles de cacao (B), desperdicios de comida (C) y agua reposada (D). 23
Figura 8. Biodigestores y gasómetros instalados (A), producción de biogás (B), medición del volumen y temperatura ambiental (C). 24
Figura 9. Comportamiento de la temperatura promedio por cada hora, durante los 25 días de la evaluación. 25
Figura 10. Superficie de respuesta estimada..... 27

RESUMEN

La acumulación de residuos orgánicos en ecosistemas terrestres o acuáticos impactan negativamente al ambiente, contribuyendo al cambio climático. Una forma de minimizar la contaminación, es aprovechándolos mediante la digestión anaerobia. Por ello, la investigación ha tenido por objetivo producir biogás mediante codigestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos municipales, a nivel de laboratorio; utilizando biodigestores y gasómetros de botellas PET de 2250 y 500 mL, respectivamente; conectados con manguera de ¼'' para recolectar y medir con la técnica de desplazamiento de agua, el biogás producido en 25 días con temperatura ambiental entre 23,1 a 32,1 °C. Se aplicó el diseño Box-Benhken, con las variables relación estiércol-agua de 1:4, 1:5, 1:6; 6%, 4% y 2% de agua miel de cacao respecto al volumen del biodigestor y desperdicios de comida en proporción al volumen de estiércol: 9%, 6% y 3%. La producción máxima de biogás fue de 1645 mL, utilizando proporciones de 420 mL de estiércol de caprino (1:4), 42 mL de aguas mieles de cacao (2%) y 9 g de desperdicios de comida (3%). Con apoyo del software "Statgraphics" se determinó el valor óptimo de cada variable no dependiente (390,87 mL de estiércol caprino, 49,24 mL de aguas mieles de cacao y 9 g de desperdicios de comida) que conducen al máximo volumen de biogás de 1766,01 mL, influyendo en este bioproceso el estiércol de caprino y presentado efecto inhibitorio los valores medios y altos de los cofermentadores.

Palabras claves: Codigestión anaerobia**,** biodigestor, Box-Benhken, Statgraphics.

ABSTRACT

The accumulation of organic waste in terrestrial or aquatic ecosystems negatively impacts the environment, contributing to climate change. One way to minimize contamination is by taking advantage of them through anaerobic digestion. For this reason, the research has aimed to produce biogas through anaerobic codigestion of goat manure, water, cocoa honey and municipal organic waste, at the laboratory level; using biodigesters and gasometers from PET bottles of 2250 and 500 mL, respectively; connected with a ¼'' hose to collect and measure with the water displacement technique, the biogas produced in 25 days with an ambient temperature between 23.1 and 32.1 ° C. The Box-Benhken design was applied, with the manure-water ratio variables of 1: 4, 1: 5, 1: 6; 6%, 4% and 2% of cocoa honey water with respect to the volume of the biodigester and food waste in proportion to the volume of manure: 9%, 6% and 3%. The maximum biogas production was 1645 mL, using proportions of 420 mL of goat manure (1: 4), 42 mL of cocoa honey water (2%) and 9 g of food waste (3%). With the support of the "Statgraphics" software, the optimal value of each non-dependent variable was determined (390.87 mL of goat manure, 49.24 mL of cocoa honey water and 9 g of food waste) that lead to the maximum volume of biogas of 1766.01 mL, the goat manure influencing this bioprocess and the medium and high values of the coffermentors showed an inhibitory effect.

Keywords: Anaerobic codigestion, biodigester, Box-Benhken, Statgraphics.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la creciente generación e inadecuada disposición de los residuos orgánicos generados a nivel pecuario, agrícola, industrial y doméstico, son causantes de la modificación o alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos, constituyendo un grave problema ambiental y social (Gamarra & Sanabria, 2020). Sin duda, la actividad pecuaria ha resultado ser una de las grandes causantes de la contaminación de la atmósfera por la emisión de gases (CH_4, CO_2, N_2O) (Alejos et al., 2018). Asimismo, afecta la estabilidad del ambiente mediante la destrucción de bosques, compactación de suelos, pérdida de hábitats naturales, desecación del agua, monocultivos de gramíneas, entre otros (Saurith, 2018). La ganadería caprina desde su inicio en el país se desarrolla por razones de las necesidades básicas que enfrenta la población rural, actualmente con una producción de 1 807 921 cabezas (MINAGRI, 2019), lamentablemente el estiércol generado no es aprovechado en su totalidad dejándose secar en los criaderos (Arroyo, 2007). El estiércol de cabra presenta una gran riqueza de nutrientes, mostrando una relación óptima de carbono y nitrógeno (Tabla 1), que según lo mencionado por Varnero (2011), la relación C/N es adecuada cuando se encuentra en un rango de 20:1 hasta 30:1, ya que estos nutrientes son los más importantes para los microorganismos metanogénicos como fuentes de alimentación.

Tabla 1. Composición química del estiércol de caprino.

Componente	Valor
pH	8.32
Materia Orgánica (%)	78.45
Carbono Orgánico (%)	45.51
Nitrógeno Total (%)	2.05
C:N	22.20
Fosfatos (mg/kg)	2560
Potasio (mg/kg)	18800
Magnesio (mg/kg)	5700
Sulfatos (mg/kg)	2940
Calcio (mg/kg)	36200
Sodio (mg/kg)	7300

Fuente: Colín et al., (2019).

Por otro lado, la actividad agrícola como la producción de cacao ha hecho que llegue a ser un cultivo de mucha importancia a nivel económico, social y ambiental (Arvelo et al., 2017). Sin embargo, la industria cacaotera genera gran cantidad de residuos (pulpas y cáscaras del cacao) debido a que únicamente se usa la almendra, siendo desechados en fincas aledañas a los cultivos de cacao, provocando graves problemas de contaminación tanto a los suelos (infertilidad, deterioro del paisaje), fuentes de agua, aire (malos olores) (Vera et al., 2020). La pulpa, también conocida como mucílago, es extraído durante el proceso de fermentación del cacao (Morocho, 2018). Este lixiviado o aguas mieles se encuentra conformado por agua, glucosa y otros componentes (Tabla 2) que en contacto con el agua genera un incremento de nutrientes, aumentando la concentración de nitrógeno, DQO, DBO, fósforo y material suspendido (Baquero & Carrera, 2019).

Según la variedad de cacao tanto Nacional y CCN-51, el mucílago presenta un pH de 3.7 y 3.87 respectivamente (Vallejo et al., 2016).

Tabla 2. Composición química de la pulpa de cacao.

Componente	Valor
Agua (%)	(79.2 – 84.2)
Glucosa (%)	(11.60 – 15.32)
Sacarosa (%)	(0.11 – 0.90)
Pectina (%)	(5.0 – 6.9)
Ácidos volátiles (%)	(0.02 – 0.04)
Ácidos no volátiles (%)	(0.77 – 1.50)
Proteína (%)	(0.42 – 0.50)
Ceniza (%)	(0.4 – 0.5)

Fuente: Solieri & Giudici (2009).

Entre las razones que originan el desperdicio del mucílago son la falta de conocimiento de los cacaoteros y el desinterés de organizaciones para optimizar este recurso (Yadira, 2013).

Los residuos de cacao permiten aumentar el potencial bioquímico de metano por codigestión anaerobia (Rodríguez et al., 2018), siendo esto una gran oportunidad para las regiones cacaoteras, ya que el manejo de los residuos orgánicos son un problema para países no desarrollados debido a los deficientes sistemas de gestión. Por ello, los

desperdicios orgánicos se han considerado como un factor de gran amenaza ambiental para el desarrollo sostenible (Thi, Kumar, & Lin, 2015).

Una alternativa de solución es la digestión anaerobia, permitiendo dar un tratamiento de los residuos orgánicos y el aprovechamiento de los productos generados (biogás y biofertilizantes) (Cárdenas et al., 2016), mediante la desintegración del material orgánico por microorganismos en ausencia de oxígeno (Contreras et al., 2017). Principalmente los gases que componen el biogás son metano (55-70 %), dióxido de carbono (27-45 %), nitrógeno (0.5-3 %), hidrógeno (1-10 %) y ácido sulfhídrico (0.1 %) (Hidalgo, Maravilla & Ramírez, 2010).

Sin embargo, no se tienen establecidos la concentración de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y desperdicios de comida para producir biogás. El interés por la codigestión anaerobia es mejorar la digestión simultánea de dos o más sustratos aumentando la producción de biogás (Noriega, Serralta, & Barat, 2018), donde los desperdicios vegetales son descompuestos adecuadamente por los microorganismos ruminales (Campos et al., 2018). El volumen de biogás producido está limitado por la cantidad de carga orgánica utilizada en el biodigestor, mientras que la velocidad de producción depende de la temperatura y del inóculo empleado (Contreras et al., 2017). Por ejemplo, Magaña et al., (2011), obtuvieron biogás por medio de codigestión anaerobia de residuos lácteos, inoculante y estiércol caprino, determinándose la concentración de CH_4 en el biogás, con el análisis de la cromatografía de gases, llegando a producir un 82% de CH_4 a partir de suero de leche (4L), 200 g de desperdicio de crema de queso, 200 g de inoculante y 1400 g de estiércol caprino, manteniendo la temperatura a 35°C.

Asimismo, Sarabia et al., (2017), evaluaron la concentración de biogás comparando una digestión anaeróbica de excrementos de borrego con codigestión del mismo más otros sustratos en un tiempo de 99 días, resultando que el primer experimento (excrementos de borrego/lodo de agua residual) llegó a generar poca cantidad de biogás (35.47 L), en comparación al segundo experimento (excrementos de borrego y rumen) con 42.14 L de biogás y el tercer experimento (excrementos de borrego) con 43.83 L de biogás, considerándose que el tratamiento T1 es el mejor por su menor concentración en H_2S y por la generación de biogás en el menor tiempo.

La codigestión de aguas mieles de café, pulpa de café y estiércol de bovino, durante 30 días y a temperatura promedio de 26°C, fue aplicado por Granda & Martinez (2020), usando el análisis de Box-Behnken con las variables aguas mieles de café:agua en proporciones de 1:0, 2:1, 1:2, pulpa de café con 300, 200, 100 g y estiércol de ganado con 200, 125, 50 g; logrando determinar un rendimiento óptimo de 327,93 mL de biogás y 3 L de biofertilizante, a partir de 2996,65 mL de agua miel, 300 g de pulpa y 198,80 g de estiércol de bovino.

Ante estos antecedentes y el impacto negativo que provocan los residuos orgánicos, se evaluó la producción de biogás mediante codigestión anaerobia de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y residuos orgánicos municipales, a nivel de laboratorio.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación fue realizada en la ciudad de Bagua, en la Av. Agropecuaria C.11, ubicada a 475 msnm, en las coordenadas 5°38’10’’S y 88°31’09’’W, del Distrito y Provincia de Bagua, Región Amazonas.

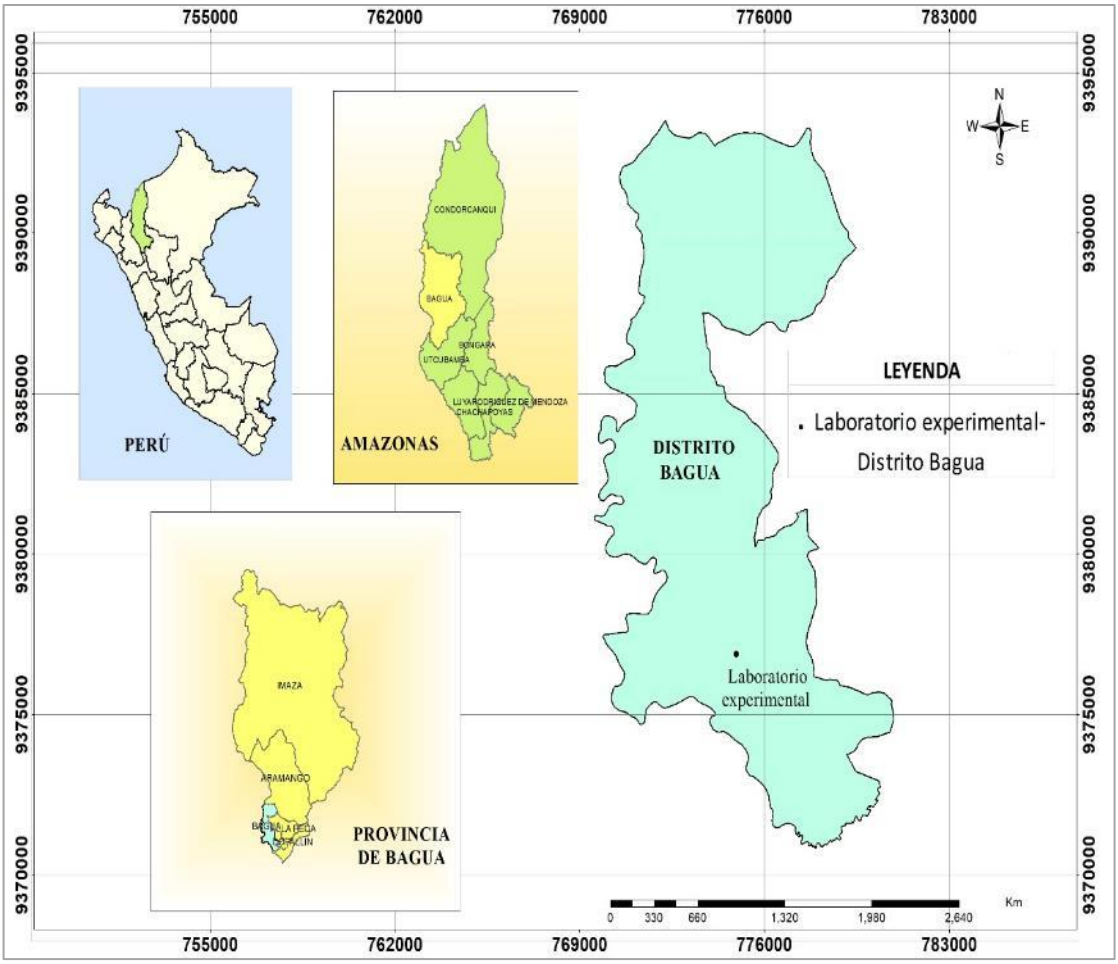

Figura 1. Ubicación del laboratorio experimental.

2.2. Diseño de investigación

La investigación fue de alcance experimental a nivel de laboratorio, donde se estableció el tiempo de retención hidráulica (TRH) para el biodigestor en base al clima (temperatura ambiental) del lugar donde fue instalado el sistema de codigestión anaerobia (ciudad de Bagua) para descomponer la carga orgánica compuesta por estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y desperdicios de comida, logrando producir biogás (Figura 2).

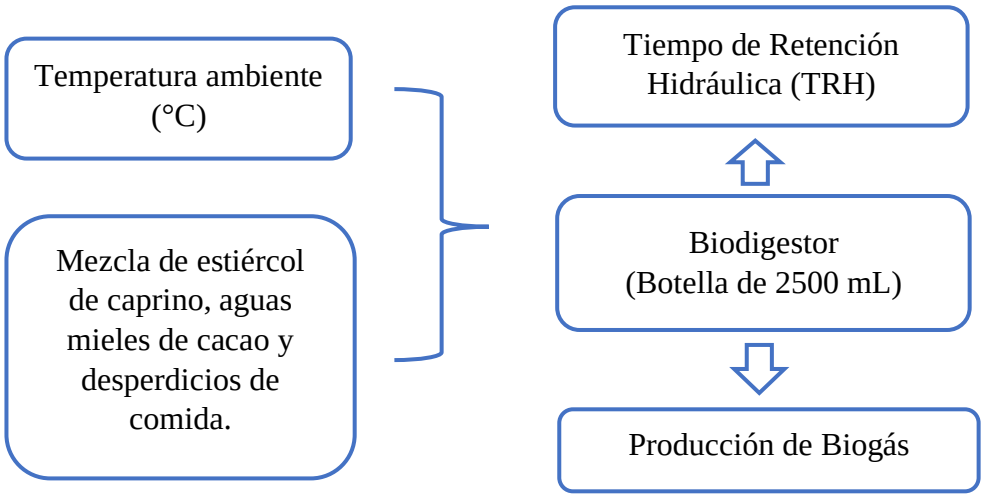

Figura 2. Diseño de la investigación.

2.3. Equipo experimental a nivel de laboratorio

El equipo experimental fue construido para nivel de laboratorio siguiendo lo realizado por Barrena et al., (2019), conformado por 15 biodigestores y 15 gasómetros constituidos por botellas descartables de plástico PET de una capacidad de 2250 mL y 500 mL, respectivamente. Los gasómetros fueron calibrados cada 50 mL con una jarra medidora. Cada tapa de la botella del biodigestor fue perforada para pasar la manguera de PVC de ¼" que llegó a conectar al biodigestor con el gasómetro, rellenando externamente con silicona líquida para pegar la manguera a la tapa para evitar la fuga del biogás a producir. Los gasómetros se llenaron con agua, libres de burbujas de aire, se los colocó boca abajo en una bandeja con agua y se los sujetó a un sostén de fierro (Figura 3).

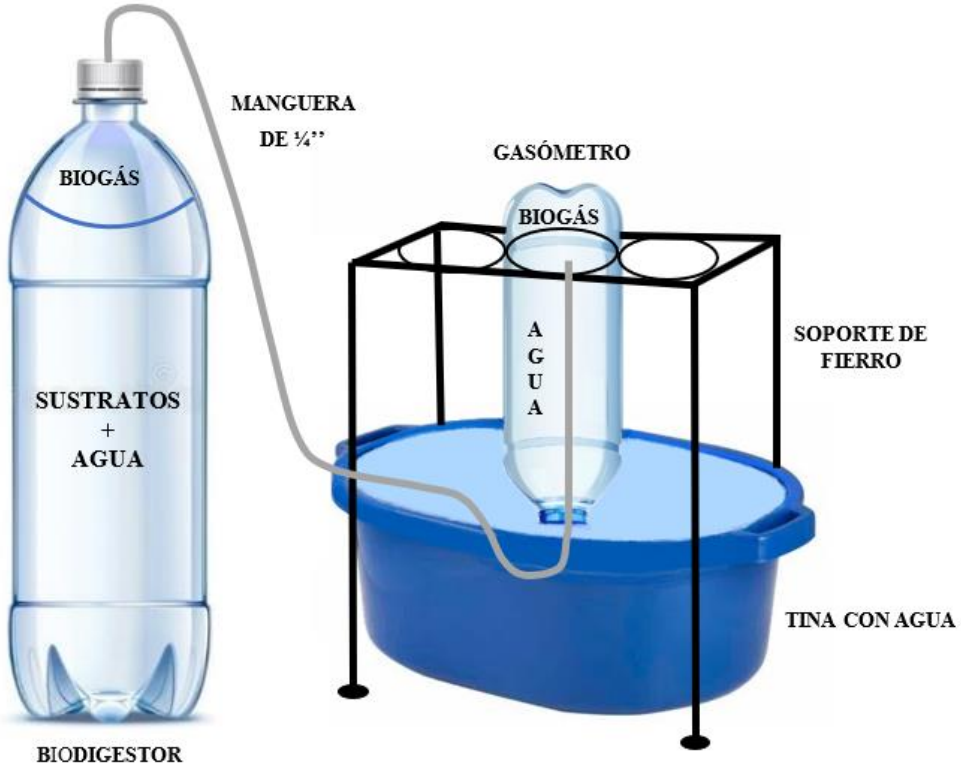

Figura 3. Equipo experimental para nivel laboratorio.

2.4. Material Orgánico

Como materia prima se utilizó estiércol de caprino (Figura 4), recolectado de un centro de crianza del caserío La Unión (El Milagro, Utcubamba, Amazonas). También se empleó las aguas mieles de cacao (CCN-51) (Figura 5A), proporcionado por cacaoteros del Distrito Copallín – Bagua y residuos orgánicos municipales (desperdicios de comida) (Figura 5B).

Figura 4. Estiércol de caprino.

Figura 5. Aguas mieles de cacao (A) y desperdicios de comida (B)**.**

2.5. Asignación de las proporciones de mezcla

Las proporciones de estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y desperdicios de comida que se evaluaron con la aplicación del diseño Box-Behnken, se consideraron de la siguiente manera: relación estiércol:agua, agua miel de cacao (% v/v de aguas mieles de cacao en proporción al volumen del biodigestor) y desperdicios de comida (% peso de desperdicios de comida en proporción al volumen de estiércol), adaptado de Barrena et al., (2019), Tabla 3.

Tabla 3. Rango de valores de cada variable independiente.

Concentración	Relación estiércol de caprino:agua	Agua miel de cacao (%)	Desperdicios de comida (%)
Alta (+)	1:4	6	9
Media (0)	1:5	4	6
Baja (-)	1:6	2	3

Fuente: Adaptado de Barrena et al., (2019).

En base a las proporciones establecidas, se determinó los valores o cantidades de cada sustrato utilizado (Tabla 4), teniendo en cuenta que el volumen de trabajo de los biodigestores fue de 2100 mL.

Tabla 4. Valores de cada variable independiente evaluada.

Concentración	Estiércol de caprino (mL)	Agua miel de cacao (mL)	Desperdicios de comida (g)
Alta (+)	420	126	37,8
Media (0)	350	84	21,0
Baja (-)	300	42	9,0

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Distribución de los valores de cada variable

Los tratamientos se realizaron de acuerdo al distribuimiento de los valores de cada variable independiente, según Box-Behnken.

Tabla 5. Distribución de los valores de cada variable según Box - Behnken.

N° Tratamiento	Estiércol de caprino (mL)	Agua miel de cacao (mL)	Desperdicios de comida (g)
1	+	+	+
2	+	+	0
3	+	0	+
4	0	+	-
5	+	+	-
6	+	-	-
7	-	+	+
8	+	0	0
9	0	0	0
10	0	-	-
11	-	-	0
12	-	0	-
13	-	0	+
14	0	-	+
15	-	-	-

Fuente**:** Barrena et al., (2019).

Los símbolos (+), (0), (-), representan el nivel alto, medio y bajo individualmente, de cada variable independiente. De esta forma, la Tabla 6, indica la distribución de cantidades del material orgánico utilizado para cada tratamiento.

Tabla 6. Distribución de las cantidades de sustratos.

N° Tratamiento	Estiércol de caprino (mL)	Agua miel de cacao (mL)	Desperdicios de comida (g)
1	420	126	37,8
2	420	126	21,0
3	420	84	37,8
4	350	126	9,0
5	420	126	9,0
6	420	42	9,0
7	300	126	37,8
8	420	84	21,0
9	350	84	21,0
10	350	42	9,0
11	300	42	21,0
12	300	84	9,0
13	300	84	37,8
14	350	42	37,8
15	300	42	9,0

Fuente: Elaboración propia.

2.7. Instalación de biodigestores y gasómetros

Para llenar e instalar los biodigestores se procedió a triturar el estiércol de caprino con el fin de hacerlo más disponible para los microorganismos que intervendrán en el proceso de descomposición, debido a que su estado es muy sólido (Figura 6).

Figura 6. Estiércol de caprino triturado.

Se dispuso de 15 biodigestores, cada uno fue cargado de acuerdo a la distribución de las cantidades de los sustratos utilizados (Tabla 6), completando su volumen a 2100 mL, con agua potable reposada de un día para otro. Luego fueron conectados a cada gasómetro por una manguera de PVC de 1/4’’; para la respectiva medición del biogás de cada biodigestor con la técnica de desplazamiento de agua, tomando lectura cada cinco días partiendo de la hora de inicio de la instalación del experimento.

Figura 7. Llenado de los biodigestores con estiércol de caprino (A), aguas mieles de cacao (B), desperdicios de comida (C) y agua reposada (D).

Los gasómetros se colocaron de forma invertida, llenos de agua e introducidos en una tina con agua como se muestra en la Figura 8B, sujetados a un soporte de fierro. Se realizó en simultáneo tres corridas con 15 tratamientos en 25 días cada una (Figura 8A), obteniendo la cantidad de biogás como variable dependiente.

Figura 8. Biodigestores y gasómetros instalados (A), producción de biogás (B), medición del volumen y temperatura ambiental (C).

III. RESULTADOS

3.1. Temperatura ambiente

La temperatura ambiental registrada durante la realización del experimento fue medida en intervalos de cada hora comenzando a las 6:00 am y terminando a las 6:00 pm, con un Termo-hidrómetro Jumbo. La Figura 9, expone el comportamiento de la temperatura promedio en cada hora de los 25 días del proceso anaeróbico para la obtención de biogás, en las 3 corridas experimentales, estableciendo una temperatura mínima promedio de 23,1 °C a las 6:00 am y una máxima promedio de 32,1°C a las 2:00 pm.

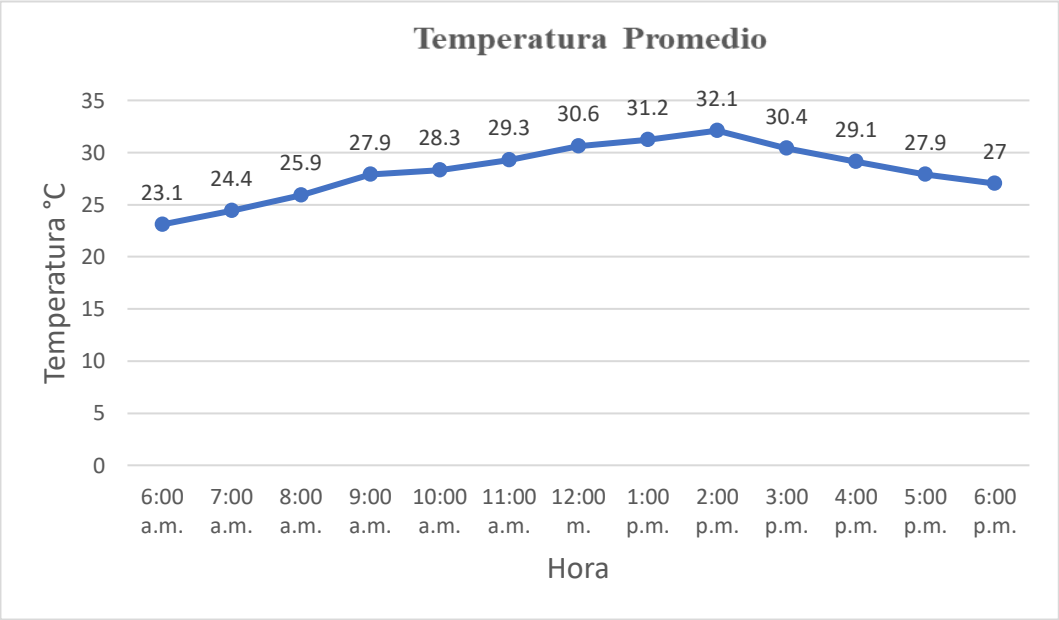

Figura 9. Comportamiento de la temperatura promedio por cada hora, durante los 25 días de la evaluación.

3.2. Producción del biogás

La producción del biogás fue evaluada en tres corridas experimentales de 15 tratamientos durante 25 días cada una, registrando cada cinco días el volumen producido de biogás. La máxima producción del biogás fue 1645 mL y se obtuvo con el tratamiento 6, utilizando 420 mL de estiércol caprino (relación 1:4), 42 mL del agua miel de cacao y 9 g de desperdicios de comida. El menor volumen de biogás producido fue en el tratamiento 3, con 305 mL de biogás, utilizando 420 mL de estiércol caprino (relación 1:4), 84 mL del agua miel de cacao y 37,8 g de

desperdicios de comida. Además, el experimento 1 no mostró producción de biogás (Tabla 7).

Tabla 7. Biogás producido de las tres corridas de 15 experimentos cada una.

N° Trata-miento	Variables Independientes			Biogás producido (mL)				
	Estiércol de caprino (mL)	Agua miel de cacao (mL)	Desperdicios de comida (g)	05 Días	10 Días	15 Días	20 Días	25 Días
1	420	126	37,8	0	0	0	0	0
2	420	126	21,0	125	375	645	700	700
3	420	84	37,8	0	0	305	305	305
4	350	126	9,0	340	525	615	615	615
5	420	126	9,0	295	580	710	1005	1100
6	**420**	**42**	**9,0**	**305**	**620**	**835**	**1080**	**1645**
7	300	126	37,8	0	150	150	385	485
8	420	84	21,0	230	500	500	565	895
9	350	84	21,0	90	335	595	965	1250
10	350	42	9,0	135	265	555	990	1510
11	300	42	21,0	105	105	105	575	575
12	300	84	9,0	160	380	505	545	635
13	300	84	37,8	0	220	275	580	580
14	350	42	37,8	0	0	500	690	690
15	300	42	9,0	300	475	475	885	1200

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Optimización de la producción del biogás

Los resultados experimentales (Tabla 7) fueron procesados en el software Statgraphics para optimizar los valores de cada variable y maximizar la producción del biogás a través del análisis del gráfico de superficie de respuesta (Figura 10). Se procesó al 95% de nivel de confianza, obteniendo tres efectos (aguas mieles de cacao 0,0378, desperdicios de comida 0,0032 y estiércol de caprino/desperdicios de comida 0,0151) con un valor - P menor de 0,05 siendo considerablemente diferentes de cero. La ecuación de regresión obtenida por los coeficientes de regresión para la producción del biogás, es:

$Y= -13340,8 + 77,7902*A - 7,26863*B + 74,2451*C - 0,097638*A^2 + 0,0417996*A*B - 0,391354*A*C - 0,125385*B^2 + 0,364534*B*C + 0,276951*C^2$

Donde:

Y: Volumen de biogás.

A: Estiércol de caprino.

B: Aguas mieles de cacao.

C: Desperdicios de comida.

La Figura 10, representa el gráfico de superficie de respuesta calculado por el programa Statgraphics en base a la ecuación del modelo ajustado, manteniendo constante la variable de desperdicios de comida en 9 g.

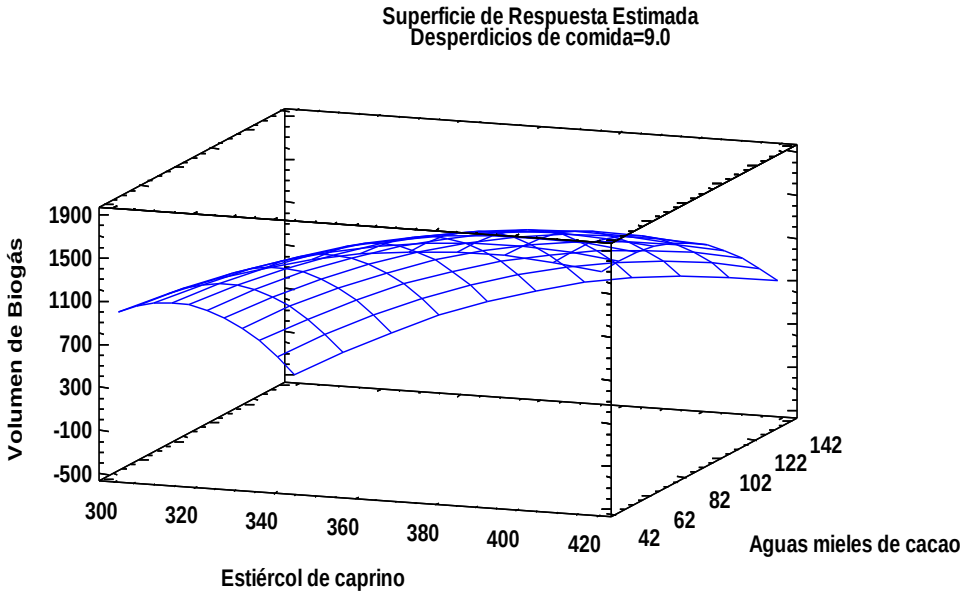

Figura 10. Superficie de respuesta estimada.

La Tabla 8, muestra el valor óptimo de cada variable para maximizar la producción del biogás, es decir, se conseguirá 1766,01 mL de biogás, si se utiliza 390,867 mL de estiércol caprino, 49,2425 mL de aguas mieles de cacao y 9,0 g de desperdicios de comida.

Tabla 8. Valor óptimo de cada variable independiente para maximizar la producción del biogás a 1766,01 mL.

Variable	Valor bajo	Valor alto	Valor óptimo
Estiércol de caprino (mL)	300	420,0	390,87
Aguas mieles de cacao (mL)	42	126,0	49,24
Desperdicios de comida (g)	9	37,8	9,00

Fuente: Software Statgraphics

IV. DISCUSION

El proceso anaerobio a obtener biogás es influenciado directamente por la temperatura ambiente, de manera que, si el clima es cálido, es menor el tiempo de producción de biogás, pero si en el lugar es de baja temperatura, mayor será el tiempo de descomposición (Barrena et al., 2017). La temperatura es un parámetro muy influyente en la digestión anaerobia, afectando directamente a la velocidad de degradación de los sustratos y al rendimiento del proceso (Gajardo, 2013). En ese sentido, la investigación fue ejecutada en Bagua, Amazonas, a una temperatura ambiente promedio en el día mínima de 23,1 °C a las 6:00 am y una máxima promedio de 32,1°C a las 2:00 pm, siendo un lugar caluroso que favorece la desintegración anaeróbica del material orgánico.

Hilbert (2003), manifiesta la existencia de tres rangos de temperaturas de acuerdo a los microorganismos que predominan en cada una de ellas, pudiendo crecer en condiciones psicrófilas (<20°C), mesófilas (20-40°C) y termófilas (>40°C), logrando obtener mejor conversión de los sustratos en biogás cuando se encuentran en condiciones mesofílicas y termofílicas. Por ejemplo, Granda & Martinez (2020) operaron su proceso anaeróbico a temperatura ambiental promedio de 26°C; en cambio Olano (2018), trabajó entre un rango de temperaturas de 17 a 36 °C, indicando que mayormente tuvo un clima con temperatura baja, por lo que decidió calentar las muestras a tratar. Asimismo, Magaña et al. (2011), mantuvieron constante la temperatura a 35°C para producir biogás a partir de residuos lácteos y estiércol de caprino. Por lo tanto, en la presente investigación el rango de temperatura ambiente promedio (23,1 a 32,1 °C) fue adecuada para producir biogás, favoreciendo el clima del lugar donde fue instalado el sistema de codigestión anaerobia.

El experimento 6 tuvo el máximo volumen de biogás (1645 mL), con el valor más alto de estiércol de caprino (relación estiércol:agua de 1:4, correspondiente a 420 mL) y los valores más bajos de agua miel de cacao (2 % del volumen del biodigestor; 42 mL) y de desperdicios de comida (3 % del menor valor de estiércol; 9 g). El resultado de los experimentos 10 y 15, confirma que el estiércol es el principal componente de la mezcla en proceso para producir biogás, si se disminuye el estiércol, manteniendo constante las cantidades de los demás componentes, disminuye el volumen de biogás.

Según los resultados del Exp. 9 comparados con el Exp. 6, si se disminuye la cantidad de estiércol de caprino al valor medio (1:5, 350 mL de estiércol), pero se incrementa la cantidad de agua miel de cacao y de desperdicios de comida a los valores medios (4 %, 84 mL y 6 %, 21 g, respectivamente), se puede mantener relativamente alta la obtención de biogás (76 % del valor máximo). Esto demuestra que los cofermentadores agua miel de cacao y desperdicios de comida aportan a la producción del biogás; sin embargo, si se emplea los valores altos de estos cofermentadores con cualquiera de los valores de estiércol, se aprecia un efecto inhibitorio reduciendo el volumen de biogás hasta hacerla nula como se muestra en el Exp. 1.

Según los resultados de los Exps. 1, 2 y 5, con valores altos de estiércol y agua miel de cacao, pero se va reduciendo la cantidad de desperdicios de comida de su valor alto al medio y luego al bajo, la obtención de biogás se incrementa, lo que demuestra que los valores medio y alto de desperdicios de comida inhiben a los microorganismos involucrados en la producción del biogás. Esto se confirma al comparar los resultados de los Exps. 3 y 8 y Exps. 14 y 10. Los experimentos con 37,8 g de desperdicios de comida no tuvieron producción hasta el décimo día (Exps. 1, 3 y 14), excepto los experimentos 7 y 13 que producen biogás a partir de los 5 días. Es decir, no ha resultado muy favorable emplear un alto valor de desperdicios de comida ya que ha interferido con el proceso, posiblemente por exceso de aceites, ya que estos interfieren químicamente con la digestión anaerobia (Hassan & Nelson, 2012).

El efecto inhibitorio del agua miel de cacao sobre la obtención de biogás se demuestra con los resultados de los Exps. 5 y 6, 4 y 10, así como de los Exps. 7 y 13. En consecuencia, se debe emplear los valores bajos de agua miel y de desperdicios de comida junto con los valores bajo, medio o alto de estiércol, que son las combinaciones de valores de estas variables que producen los mayores volúmenes de biogás, siendo el más recomendado la combinación (+, -, -) de estas variables que han producido el mayor volumen de biogás y confirman que el estiércol es el principal aportante a la obtención de biogás. Por lo tanto, la técnica de codigestión anaerobia permite mejorar el proceso de digestión debido al aporte sinérgico de los cosustratos empleados, aumentando y mejorando el rendimiento de biogás (Rodríguez et al., 2018). A su vez, la codigestión es una alternativa para tratar los efluentes del proceso de poscosecha del cacao para reducir su impacto ambiental.

Los resultados obtenidos son mayores en cuanto al volumen de biogás y menores en el tiempo de retención hidráulica, comparado con Granda & Martinez (2020), que lograron producir 307 mL de biogás por codigestión de aguas mieles de café (3000 mL), pulpa de café (200 mL) y estiércol de ganado vacuno (200 g), en un biodigestor de botella plástica durante 30 días.

Asimismo, el volumen máximo predicho por el software Statgraphics con los resultados experimentales de la presente investigación, fue de 1766,01 mL de biogás, al ser utilizados los valores óptimos (390,87 mL de estiércol caprino, 49,24 mL de aguas mieles de cacao y 9,00 g de desperdicios de comida), 6,85 % mayor a lo obtenido experimentalmente; este análisis realizado por el software Statgraphics ratifica el efecto inhibitorio de los desperdicios de comida sobre la obtención de biogás y que el estiércol es el principal aportante para producir biogás. Este volumen óptimo de biogás es mayor a lo mencionado por Granda & Martinez (2020), que predijeron 327,93 mL de biogás. También resultó mayor que el resultado informado por Barrena et al. (2019), cuyo volumen óptimo de biogás fue 1745,74 mL, si se emplea 2,5 L de estiércol de vacuno asociado con 261,763 mL de suero de leche y 225 g de chips de totora (*Scirpus californicus*). La ventaja es que la presente investigación se realizó a temperatura mesofílica, que es más favorable para el proceso anaeróbico de la materia orgánica.

V. CONCLUSIONES

Se construyó un sistema experimental de producción de biogás de bajo costo conformado por 15 biodigestores y 15 gasómetros de botellas de plástico PET, cuyo funcionamiento fue satisfactorio a la temperatura ambiente en un rango de 23,1 a 32,1°C, alcanzando las condiciones mesofílicas donde los microorganismos metanogénicos realizan la conversión de los sustratos orgánicos a biogás.

La codigestión anaerobia del estiércol de caprino, aguas mieles de cacao y desperdicios de comida es factible para producir biogás llegando a obtener un máximo volumen de 1645 mL, a partir de 420 mL de estiércol, 42 mL de aguas mieles y 9 g de desperdicios de comida. No se deben emplear valores medios ni altos de los cofermentadores porque inhiben la generación de biogás.

La optimización de la producción del biogás con el software Statgraphics permitió determinar la ecuación $Y= -13340,8 + 77,7902*A – 7,26863*B + 74,2451*C – 0,097638*A^2 + 0,0417996*A*B – 0,391354*A*C – 0,125385*B^2 + 0,364534*B*C + 0,276951*C^2$ con la que se calculó el volumen óptimo de 1766,01 mL de biogás que se puede obtener cuando se emplee 390,87 mL de estiércol de caprino, 49,24 mL de aguas mieles de cacao y 9,00 g de desperdicios de comida. Estos valores de las variables son muy cercanos a los empleados del sexto experimento que llegó a producir la máxima cantidad de biogás, influyendo en este bioproceso el estiércol de caprino y presentando efecto inhibitorio las aguas mieles del cacao y los desperdicios de cocina.

La codigestión anaerobia es una alternativa de aporte sinérgico de los cosustratos orgánicos para producir biogás como una fuente de energía renovable y biofertilizantes de aplicación inmediata a los cultivos.

VI. RECOMENDACIONES

Analizar los sustratos orgánicos para determinar el pH, relación C:N y fósforo, para la codigestión anaerobia.

Determinar la calidad del biogás producido, mediante un análisis de concentración de CH_4, CO_2, N_2 y H_2S.

Realizar una evaluación a escala piloto, con los valores de las variables que produjeron el mayor volumen de biogás y con los valores óptimos reportados por el software Statgraphics, para evaluar la producción de biogás.

Difundir la tecnología del biogás con cofermentadores, como adecuada para el tratamiento de los residuos orgánicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejos de la Fuente, J. I., Almaraz Buendía, I., Peralta Ortíz, J. J., Sánchez Santillán, P., Soriano Robles, R., & Torres Cardona, M. G. (Febrero de 2018). Consideraciones de bienestar animal en las estrategias para la disminución de la producción de metano entérico por rumiantes. *Agroproductividad, 11*(2), 57 - 63. Obtenido de http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/120

Arroyo, O. (2007). Situación actual y proyecciones de la crianza de caprinos en el Perú. *Arch Latinoam Prod Anim, 15*(1), 290-293. Obtenido de http://www.bioline.org.br/pdf?la07066

Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas.* Obtenido de IICA Representación Costa Rica: file:///C:/Users/DELL/Downloads/BVE17089191e%20(2).pdf

Baquero Vigil, C. J., & Carrera Zuta, C. R. (2019). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos de aguas mieles de cacao en humedales artificiales con especies macrófitas, Tarapoto, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejos].* Repositorio Institucional, Tarapoto, Perú. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/41536

Barrena G, M., Olivares M, V., Taramona R, L., & Chauca R, N. (2017). Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogas. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, 4*(1), 15-25. Obtenido de https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n1.002

Barrena Gurbillón, M. Á., Maicelo Quintana, J. L., Gamarra Torres, O. A., Oliva Cruz, S. M., Leiva Espinoza, S. T., Taramona Ruíz, L. A., . . . Ordinola Ramírez, C. M. (2019). *Biogás: producción y aplicaciones.* Chachapoyas, Perú. Obtenido de http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1841

Campos Montiel, R. G., Del Razo Rodríguez, Ó. E., Almaraz Buendía, I., Ramírez Bribiesca, E., Soriano Robles, R., Salinas Martínez, J. A., . . . González Muñoz, S. S. (2018). Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás a partir de

microorganismos ruminales. *Revista internacional de contaminación ambiental, 34*(1), 149-155. Obtenido de https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.13

Cárdenas Cleves, L. M., Parra Orobio, B. A., Torres Lozada, P., & Vásquez Franco, C. (2016). Perspectivas del ensayo de potencial bioquímico de metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *Revista Ion, 29*(1), 95-108. Obtenido de https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008

Colín Navarro, V., Domínguez Vara, I. A., Olivares Pérez, J., Castelán Ortega, O. A., García Martínez, A., & Avilés Nova, F. (2019). Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje. *Agrociencia, 53*(2).

Contreras Hernández, E., Seal Mery, C., Flores Collao, V., & Lastra Rodríguez, L. (2017). Comparación entre generación de biogás por medio de digestión anaerobia seca y húmeda, de residuos orgánicos provenientes de ferias libres. Obtenido de http://www.amica.com.mx/issn/Tabasco/AMI-121.pdf

Gajardo Alarcón, N. L. (2013). *Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura en un biodigestor tipo chino [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].* Repositorio académico. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114944

Gamarra Parra, D. J., & Sanabria Gamboa, J. L. (2020). *Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la producción de energía renovable en Colombia.* Obtenido de http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4488

Granda Granadino, D. C., & Martinez Torres, J. F. (2020). *Determinación de parámetros óptimos de anaerobiosis del agua miel de café en la finca cafetalera El Limón del Distrito de Chirinos - Cajamarca, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].* Repositorio Institucional. Obtenido de http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/301

Hassan, A. N., & Nelson, B. K. (Noviembre de 2012). Anaerobic fermentation of dairy food wastewater. *Journal Dairy Science, 95*(11), 6188-6203. Obtenido de https://doi.org/10.3168/jds.2012-5732

Hidalgo Bonilla, J., Maravilla Carranza, V., & Ramírez Castro, W. (2010). *Aprovechamiento energético del biogás en el Salvador.* Universidad Centroamerica "José Simeón Cañas", El Salvador. Obtenido de https://es.scribd.com/document/265398552/Aprovechamiento-Energetico-Del-Biogas-en-El-Salvador-1

Hilbert, J. A. (2003). *Manual para la producción de biogás.* Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Argentina. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccin_de_biogs_del_iir.pdf

Magaña Ramírez, J. L., Rubio Núñez, R., Jiménez Islas, H., & Martínez García, M. T. (Abril de 2011). Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra. *Ingeniería e investigación, 31*(1), 93-98. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/643/64321170011.pdf

MINAGRI. (2019). *Dirección de estadística agraria.* Obtenido de Educación en línea: http://sitiodea.com/siscipa/e_f2184.php

Morocho Espinoza, K. M. (2018). *Hidrólisis enzimática del mucílago de cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.) para incrementar la concentración de azúcares fermentables [Tesis pregrado, Universidad técnica de Machala].* Repositorio institucional.

Noriega Hevia, G., Serralta Sevilla, J., & Barat Baviera, R. (11 - 13 de Julio de 2018). Modelación de procesos de co-digestión anaerobia. Obtenido de http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/1633

Olano Requelme, E. (2018). *Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café (Coffea arabica) en el Distrito de Copallín, Bagua – Amazonas, 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza].* Repositorio Institucional.

Rodríguez, A., Muñoz Boada, A., Tique Sierra, L. C., Ladino Bravo, J. A., Santis Navarro, A. M., Cabeza, I., & Acevedo Pavón, P. A. (2018). Influence of the Use of Co-Substrates on the anaerobic CoDigestion of Municipal Solid Waste, Cocoa industry waste and bottled beverage industry waste. *Chemical Engineering Transactions, 65*, 541-546. Obtenido de https://doi.org/10.3303/CET1865091

Sarabia Méndez, M. A., Laines Canepa, J. R., Sosa Olivier, J. A., & Escalante Espinosa, E. (Febrero de 2017). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista internacional de contaminación ambiental, 33*(1), 109 - 116. Obtenido de https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.10

Saurith Contreras, L. S. (5 de Julio de 2018). *Estrategias sostenibles para minimizar el impacto ambiental generado por la ganadería extensiva en la región Andina Colombiana [tesis pregrado, Universidad Militar Nueva Granada].* Repositorio institucional. Obtenido de http://hdl.handle.net/10654/17775

Solieri, L., & Giudici, P. (2009). *Vinegars of the world* (Ilustrada ed.). (S. S. Media, Ed.) Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=XuPWgEMx_eIC&pg=PA262&#v=onepage&q&f=false

Thi, N. B., Kumar, G., & Lin, C. Y. (Julio1 de 2015). An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. *Journal of Environmental Management, 157*, 220 - 229. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.022

Vallejo Torres, C. A., Díaz Ocampo, R., Morales Rodríguez, W., Soria Velasco, R., Vera Chang, J., & Baren Cedeño, C. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103, 7*(1), 51-58. Obtenido de http://190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/116/99

Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de biogas.* Chile. Obtenido de http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf

Vera Loor, J. E., Cedeño Palacios, N. B., & Mera Vélez, S. A. (Julio-Diciembre de 2020). Elaboración de vinagre de vino a partir del mucílago y exudado de cacao criollo (Theobroma cacao L.). *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación., 3*(6). Obtenido de https://doi.org/10.46296/ig.v3i6.0014

Yadira Arteaga, E. (2013). Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el Cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *ECA Sinergia, 4*(1), 49-59. Obtenido de https://186.46.160.238/index.php/ECASinergia/article/view/149

ANEXOS

Tabla 9. Volumen producido de biogás por cada corrida.

N° Trata-mientos	VARIABLES			BIOGÁS PRODUCIDO																				
	Estiércol de caprino	Aguas mieles de cacao	Desperdicios de comida	Corrida 1					Corrida 2					Corrida 3					Producción Promedio de Biogás				
				5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días
1	420	126	37.8	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	420	126	21	50	375	585	650	650	175	490	725	800	800	150	260	625	650	650	125	375	645	700	700
3	420	84	37.8	0	0	250	250	250	0	0	375	375	375	0	0	290	290	290	0	0	305	305	305
4	350	126	9	410	590	645	645	645	275	500	550	550	550	335	485	650	650	650	340	525	615	615	615
5	420	126	9	175	500	725	960	960	325	775	830	1075	1205	385	465	575	980	1135	295	580	710	1005	1100
6	420	42	9	260	625	650	1000	1575	255	530	975	1145	1740	400	705	880	1095	1620	305	620	835	1080	1645
7	300	126	37.8	0	290	290	425	550	0	0	0	420	500	0	160	160	310	405	0	150	150	385	485
8	420	84	21	80	375	375	460	845	400	585	585	695	910	210	540	540	540	930	230	500	500	565	895
9	350	84	21	125	415	660	1020	1020	50	265	525	940	1375	95	325	600	935	1355	90	335	595	965	1250
10	350	42	9	105	180	530	940	1495	150	325	610	1030	1560	150	290	525	1000	1475	135	265	555	990	1510
11	300	42	21	0	0	0	375	375	90	90	90	500	500	225	225	225	850	850	105	105	105	575	575
12	300	84	9	200	450	575	650	650	100	230	315	315	500	180	460	625	670	755	160	380	505	545	635
13	300	84	37.8	0	175	220	490	490	0	255	375	700	700	0	230	230	550	550	0	220	275	580	580
14	350	42	37.8	0	0	500	705	705	0	0	690	740	740	0	0	310	625	625	0	0	500	690	690
15	300	42	9	325	350	350	775	1325	275	400	400	925	1000	300	675	675	955	1275	300	475	475	885	1200