

**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 INGENIERA AMBIENTAL**

**PRODUCCIÓN DE METANO CON BIOFILM A PARTIR  
DE LA DIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL DE GANADO**

**Autora: Bach. Analith Altamirano Cubas**

**Asesores: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina**

**M.Sc. Wildor Gosgot Angeles**

**Registro: ....**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2022**

**DATOS DEL ASESOR 1:**

**Ing. Gino Alfredo Vergara Medina**

DNI: 40614903

Registro ORCID: 0000-0001-6312-2468

<https://orcid.org/0000-0001-6312-2468>

**Campo de la Investigación y el Desarrollo según la Organización para la  
Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)**

1.05.00 – Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales

1.05.08 – Ciencias del Medio Ambiente

**DATOS DEL ASESOR 2:**

**M.Sc. Wildor Gosgot Angeles**

DNI N° 70156443

Registro ORCID N° 0000-0002-7301-2809

<https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>

**Campus de la Investigación y el Desarrollo OCDE**

1.05.00 -- Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales

1.05.08 -- Ciencias del medio ambiente

## **DEDICATORIA**

Al forjador de mi camino, a mi padre celestial, quién como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y brindándome la fuerza necesaria para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Magno y Marleni, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional a largo de toda mi carrera universitaria. Gracias por sus sabios consejos y enseñarme a luchar desde pequeña para alcanzar mis metas.

A mis hermanos por su cariño y apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A toda mi familia y las personas que estuvieron conmigo, brindándome cariño cada día y apoyándome en todo momento para culminar mi carrera profesional, de verdad mil gracias.

*Analith Altamirano Cubas*

## **AGRADECIMIENTO**

Expresar mi gratitud a Dios por todas sus bendiciones, a mis padres y familiares por estar siempre presentes en mi formación académica.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por ser la sede de todo el conocimiento adquirido, en especial a nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la carrera.

A mis asesores M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina y el Ing. Wildor Gosgot Angeles quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación. “Producción de metano con biofilm a partir de la digestión de estiércol de ganado”

A todas las personas que me brindaron ayuda en el proyecto de investigación.

*Analith Altamirano Cubas*

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Dr. Policarpio Chauca Valqui**

**RECTOR**

**Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón**

**VICERRECTORADO ACADÉMICO**

**Dra. Flor Teresa García Huamán**

**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**Ph. D. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

**DECANO DE LA FACULTAD**

## VISTO BUENO DEL ASESOR 1 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 (  )/Profesional externo (  ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada..... PRODUCCIÓN  
DE METANO CON BIOFILM A PARTIR DE LA DIGESTIÓN  
DE ESTIÉRCOL DE GANADO  
del egresado Anaith Altamirano Cobo  
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, 01 de agosto del 2022

Firma y nombre completo del Asesor

M.Sc. Gino A. Vergara Medina

## VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS



### 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 METANO CON BIOFILM A PARTIR DE LA DIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL DE GANADO del egresado Analyth Altamirano Cubas 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, 01 de agosto del 2022



Firma y nombre completo del Asesor  
Wilder Gosget Angeles



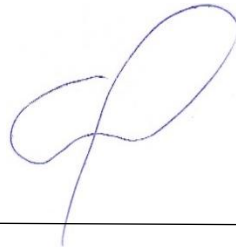
**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



---

**M.Sc. JEFFERSON FITZGERALD REYES FARJE**

**Presidente**



---

**M.S.c. JUAN ALBERTO ROMERO MONCADA**

**Secretario**



---

**ING. CRISTÓBAL TORRES GUZMÁN**

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

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

PRODUCCIÓN DE METANO CON BIOFILM A PARTIR DE LA  
DIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL DE GANADO

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) ANALITH ALZAMIRANO CUBAS

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL

con correo electrónico institucional 7735577552@untrm.edu.pe

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

- La citada Tesis tiene 22 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor ( ) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- 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, 18 de octubre del 2022

  
\_\_\_\_\_  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



**UNTRM**

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

## ANEXO 3-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 25 de Octubre del año 2022, siendo las 11 horas, el aspirante: Analith Altamirano Cubas, asesorado por MSc. Gino Vargas Medina y MSc. Wildor Gorgot Angeles defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: "Producción de metano con biofilm a partir de la codigestión de estiércol de ganado y residuos orgánicos"

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: Ms. Jefferson Pego Farje

Secretario: MSc. Juan Romero Moncada

Vocal: Inj. Cristóbal Torres Guzmán

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 () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

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 12:37 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:

Se modificó el título de la tesis como "Producción de metano con biofilm a partir de la digestión de estiércol de ganado"

## ÍNDICE GENERAL

DATOS DEL ASESOR 1:	i
DATOS DEL ASESOR 2:	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS	4
2.1. Área de estudio	4
2.2. Sistema de producción de biogás	5
2.2.1. Biodigestor	5
2.2.2. Carga del biodigestor	6
2.2.3. Gasómetro	7
2.2.4. Tablero de purificación y control de biogás	8
2.2.5. Operación del sistema	9

2.3.	Medición de parámetros .....	11
2.3.1.	Temperatura ambiente y temperatura del biodigestor .....	11
2.3.2.	pH del sustrato de la mezcla .....	12
2.3.3.	Volumen de biogás .....	13
2.3.4.	Concentración de metano.....	14
2.3.5.	Tiempo de Retención Hidráulica.....	14
2.4.	Rendimiento energético del biogás .....	15
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
3.1.	Sistema de producción del biogás .....	16
3.2.	Condiciones de operación del sistema de producción de biogás .....	18
3.2.1.	Soporte de biofilm .....	18
3.3.	Producción de biogás .....	19
3.3.1.	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) .....	19
3.3.2.	Volumen del biogás .....	20
3.3.3.	Concentración de metano de biogás.....	20
3.4.	Pruebas de eficiencia energética de biogás .....	21
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>24</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>25</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>30</b>
	ANEXO 1. Temperatura de entrada del biodigestor .....	30
	ANEXO 2. Temperatura del centro del biodigestor .....	31
	ANEXO 3. Temperatura salida del biodigestor .....	32
	ANEXO 4. Temperatura ambiente.....	33
	ANEXO 5. Análisis del pH de la mezcla estiércol – agua .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 :</b> <i>Taxonomía de la liana (Dioscorea bulbifera Linn.)</i> .....	11
<b>Tabla 2.</b> <i>Parámetros de la producción de biogás.</i> .....	18
<b>Tabla 3.</b> <i>Tiempo de retención hidráulica estimada y real.</i> .....	19
<b>Tabla 4.</b> <i>Frecuencia de medición, volumen y presión del biogás.</i> .....	20
<b>Tabla 5.</b> <i>Composición y porcentaje de los gases antes y después de la purificación.</i> ...	20
<b>Tabla 6.</b> <i>Tiempo de cocción de alimentos a biogás.</i> .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Ubicación del sitio experimental.</i> .....	4
<b>Figura 2.</b> <i>Biodigestor tubular (A) y biodigestor tubular colocado en la poza (B).</i> .....	5
<b>Figura 3.</b> <i>Introducción de las lianas o bejucos dentro del biodigestor.</i> .....	5
<b>Figura 4.</b> <i>Recolección del estiércol del establo de la UNTRM (A) y mezcla del estiércol: agua en el cilindro de 200 L (B).</i> .....	7
<b>Figura 5.</b> <i>Instalación del gasómetro junto al biodigestor.</i> .....	7
<b>Figura 6.</b> <i>Relleno del cartucho con esponja de hierro (A), clavos de fierro de 2" (B).</i> ..	8
<b>Figura 7.</b> <i>Cartuchos para purificación del biogás (A), manómetro de manguera de PVC de ¼" y control de presión hecho de botella de plástico de 3 L (B), medidor del biogás (C) y tablero de purificación (D).</i> .....	9
<b>Figura 8.</b> <i>Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.) en forma de canasta (A) y sujetas a la cuerda cada 5 cm (B).</i> .....	10
<b>Figura 9.</b> <i>Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.)</i> .....	11
<b>Figura 10.</b> <i>Data Logger (A) y ubicación de los sensores (B)</i> .....	12
<b>Figura 11.</b> <i>Muestra de la mezcla agua: estiércol (A) y medición del pH con el Multiparámetro Portátil.</i> .....	13
<b>Figura 12.</b> <i>Medidor de Gas tipo diafragma G1.6</i> .....	13
<b>Figura 13.</b> <i>Equipo Multitec 545.</i> .....	14
<b>Figura 14.</b> <i>Cocina de dos hornillas adaptada para funcionar a biogás.</i> .....	15
<b>Figura 15:</b> <i>Sistema de producción de biogás con soporte de biofilm a base de Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.)</i> .....	17
<b>Figura 16.</b> <i>Soporte de lianas (Dioscorea bulbifera Linn.) antes (A) y después de ser introducidas al biodigestor (B).</i> .....	18
<b>Figura 17.</b> <i>Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.) después de haber producido biogás....</i>	19

## RESUMEN

El aprovechamiento de la biomasa es una alternativa para valorizar energéticamente los residuos agrícolas y ganaderos a través de la digestión anaerobia. Por ello, la investigación se centró en evaluar la producción de biogás a través de un biodigestor tubular de geomembrana con biofilm de volumen total de 12 m<sup>3</sup>, a partir de la digestión de estiércol de ganado, 9 m<sup>3</sup> fueron ocupados por la mezcla estiércol: agua en la proporción 1:5, los 3 m<sup>3</sup> restantes son ocupados por el biogás producido por la fermentación microbiana. El tiempo de retención hidráulica (TRH) fue de 15 días, con una temperatura ambiente promedio de 19,91°C, una temperatura del biodigestor de 16,99 °C, y un pH de 7,49 adecuado para producir 0,3 m<sup>3</sup>/día de biogás a una presión de 2,5 cm. El biogás producido estaba compuesto por 68,18 % de CH<sub>4</sub>, 17,90 % de CO<sub>2</sub>, 7,99 % de O<sub>2</sub>, 157,40 ppm de H<sub>2</sub>S y 496 ppm de CO después de pasar por el tablero de purificación; el biogás producido, por sus características es usado como combustible para la cocina. Este sistema de energías limpias beneficia considerablemente al medio ambiente, reduciendo los efectos de los gases de efecto invernadero que son desprendidos a la atmósfera por la descomposición de los residuos orgánicos (estiércol de ganado); asimismo, el soporte (biofilm) utilizado disminuye el tiempo de retención hidráulica y aumenta rendimiento de la producción del biogás.

**Palabras claves:** Liana, tiempo de retención, calidad de biogás.



## ABSTRACT

The use of biomass is an alternative to energetically value agricultural and livestock waste through anaerobic digestion. Therefore, the research focused on evaluating the production of biogas through a tubular geomembrane biodigester with biofilm with a total volume of 12 m<sup>3</sup>, from the digestion of cattle manure, 9 m<sup>3</sup> were occupied by the mixture manure: water in a 1:5 ratio, the remaining 3 m<sup>3</sup> are occupied by biogas produced by microbial fermentation. The hydraulic retention time (HRT) was 15 days, with an average ambient temperature of 19.91°C, a biodigester temperature of 16.99°C, and a pH of 7.49 suitable to produce 0.3 m<sup>3</sup> /day of biogas at a pressure of 2.5 cm. The biogas produced was composed of 68.18% CH<sub>4</sub>, 17.90% CO<sub>2</sub>, 7.99% O<sub>2</sub>, 157.40 ppm H<sub>2</sub>S and 496 ppm CO after passing through the purification board; Due to its characteristics, the biogas produced is used as fuel for cooking. This clean energy system considerably benefits the environment, reducing the effects of greenhouse gases that are released into the atmosphere by the decomposition of organic waste (cattle manure); Likewise, the support (biofilm) used decreases the hydraulic retention time and increases the yield of biogas production.

**Key words:** Liana, retention time, biogas quality.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el crecimiento de las industrias agrícolas y ganaderas generan grandes cantidades de desechos orgánicos que son una fuente de contaminación que requieren atención (Irfan, 2020). Los residuos orgánicos más abundantes que amenazan al medio ambiente es el estiércol de ganado porque produce gases de efecto invernadero (GEI), malos olores y destruye los recursos hídricos y agrícola. Esta problemática ha motivado a buscar recursos energéticos alternativos como la conversión de residuos en energía reduciendo el uso de combustibles fósiles y logrando los objetivos del desarrollo sostenible (Tallou et al., 2020). La energía renovable se obtiene de fuentes naturales que son inagotables por ser capaces de regenerarse por medios naturales. Existen varios tipos de energías renovables: eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica y de la biomasa (Spiegelner & Cifuentes, 2016).

La energía de la biomasa empleada en la investigación es llamada también bioenergía, es la energía derivada de la conversión de la biomasa, que es la materia orgánica (residuos de plantas y animales). Y puede ser usada directa e indirectamente como combustible, o transformada en acarreadores de energía sólida, líquida y gaseosa (Chacón et al., 2018).

La digestión anaerobia juega un papel importante en este tipo de energía ya que es utilizada para el tratamiento de los desechos agrícolas y ganaderos. Además es un proceso biológico natural donde los microorganismos en ausencia de oxígeno metabolizan y degradan la materia orgánica generando biogás, biol y biosol (Nghiem et al., 2017). La digestión anaerobia ocurre a través de cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; en la primera etapa la materia orgánica es transformada en moléculas solubles y degradables; en la segunda etapa las bacterias acidogénicas transforman los compuestos solubles provenientes de la hidrólisis en ácidos de cadena corta; en la tercera etapa las bacterias acetogénicas transforman los productos provenientes de segunda etapa en ácido acético,  $H_2$  y  $CO_2$ . En la cuarta etapa las bacterias metanogénicas transforman las bacterias acetogénicas en  $CH_4$  y  $CO_2$  (Palau & Virginia, 2016).

Este proceso se realiza dentro de un recipiente llamado biodigestor, en su interior se produce la transformación de la materia orgánica en biogás y/o biofertilizantes. El biogás es una mezcla de diferentes gases, constituida principalmente por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), entre otros. El biogás contiene entre 40 a 70% de CH<sub>4</sub> que se utiliza como combustible para cocinas, lámparas o motores (Barrena et al., 2019).

Generalmente los digestores anaerobios para la producción de biogás operan en completa oscuridad. Por lo tanto, se sabe poco sobre el efecto de la luz en los microorganismos. Es por ello, que Abendroth et al., (2020), realizaron un estudio de la estructura taxonómica y funcional de la comunidad microbiana que forma el biofilm en la pared de biodigestores anaeróbicos. En la investigación utilizaron la secuencia Nanopre del aplicón del gen del ARNr y la secuencia metanogénica de escopeta. Como resultados obtuvieron que después de tres semanas apareció el biofilm, esta comunidad bacteriana estuvo dominada por *Rhodopseudomonas faecalis*.

De acuerdo a lo anterior Liu et al., (2017), investigaron sobre el desempeño de los sistemas de digestión anaerobia utilizando cuatro tipos de portadores de biofilms fibrosas, un polipropileno, un poliéster, una poliamida y un material de fibra de poliuretano; para los parámetros operacionales del sistema se determinaron durante corridas experimentales y para identificar el consocio microbiano emplearon microscopía electrónica de barrido. Como resultados obtuvieron que el sistema de fibra polipropileno tuvo mayor producción de biogás y metano con 49,84%

Por su parte Aliaga et al., (2014), evaluaron el aumento de producción de biogás con digestores tubulares de bajo costo en climas fríos. Utilizaron dos digestores similares con la diferencia que uno se llenó con anillos PET como portador de biofilm. Logrando aumentar la producción de biogás en un 44 % por Kg en comparación al digestor tubular normal, ambos fueron operados en las mismas condiciones climáticas de frío; aunado a esto un digestor tubular de bajo costo puede elevar la temperatura hasta 16,6 °C sin usar ningún sistema de calefacción activo.

Por lo mencionado, la investigación tuvo por objetivo producir biogás con biofilm a partir de la digestión del estiércol de ganado, por ello se implementó un sistema de producción de biogás con soporte a base de lianas (*Dioscorea bulbifera Linn.*) para la ploriferación del biofilm. Por lo que, se determinó los parámetros de operación en el sistema como la proporción estiércol: agua, temperatura ambiente y del biodigestor y el pH. Además, se midió el porcentaje de los componentes del biogás.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

En la figura 1, se muestra la ubicación del sitio experimental realizado en el campus central de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM). Chachapoyas presenta un clima variado, con una temperatura máxima de 26°C y temperatura mínima de 11°C. En el mes de noviembre presenta la temperatura más alta de 21°C; en el mes de agosto presenta la temperatura más baja de 7.5°C; y en el mes de marzo llueve con mayor intensidad con una precipitación máxima de 136.7 mm/mes (SENAMHI, 2020).

**Figura 1**

*Ubicación del sitio experimental*



## 2.2.Sistema de producción de biogás

El sistema de producción de biogás está construido según los criterios establecidos por (Barrena Gurbillón et al., 2019a). Consta de un biodigestor, un gasómetro y un tablero de purificación y control de biogás.

### 2.2.1. Biodigestor

En la investigación se instaló un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 1,0 mm de espesor, con las siguientes medidas: 1,27 m de diámetro x 10,0 m de largo, con un volumen total de 12 m<sup>3</sup>. Del volumen total, 9 m<sup>3</sup> está ocupado por la mezcla estiércol - agua en la proporción 1:5 y los 3 m<sup>3</sup> restantes por el biogás producido por la fermentación microbiana. En el centro, el biodigestor tiene dos mangas de 4" de diámetro en cada extremo uno que lo conecta a la posa de carga y el otro para la salida del biol y al ras del fondo tiene otra manga con una reducción de 4" a 2" para la salida del biosol. Además, tiene un niple de 1" para la salida del biogás en el lomo del biodigestor con una llave de paso de 1".

**Figura 2**

*Biodigestor tubular (A) y biodigestor tubular colocado en la poza (B)*



### Figura 3

*Introducción de las lianas o bejucos dentro del biodigestor*



*Nota:* Las lianas o bejucos fueron introducidos antes de colocar el biodigestor en la poza, se sujetó la cuerda con los bejucos en un tubo de PVC de ½” para luego introducirlo en el biodigestor.

#### **2.2.2. Carga del biodigestor**

En la investigación se utilizó como sustrato estiércol de ganado recolectados del establo de la UNTRM. Se cargó 9 m<sup>3</sup> con la mezcla estiércol: agua en la proporción 1:5. La mezcla se realizó en un cilindro de 200 L, para el volumen total de carga se requirieron 9000 L / 200 L = 45 cilindros. La cantidad de estiércol para cada cilindro fue  $200/6 = 33,3$  kg, equivalente a 1 balde de 20 L más  $\frac{3}{4}$ . La carga del biodigestor fue todos los días, logrando preparar 4 cilindros diarios, completándose la carga del biodigestor en 12 días. Luego se dejó que ocurra la digestión anaerobia del sustrato para que produzca el biogás y biofertilizantes (biol y biosol).

#### **Figura 4**

*Recolección del estiércol del establo de la UNTRM (A) y mezcla del estiércol: agua en el cilindro de 200 L (B)*



#### **2.2.3. Gasómetro**

Cumple con la función de almacenar el biogás para diferentes usos. Está hecho de geomembrana de PVC 1 mm de espesor, con las siguientes medidas: 1,50 m x 3 m, con un volumen de 3 m<sup>3</sup> y un niple de PVC roscado de 1" con una llave de paso de 1" para entrada y salida del biogás.

#### **Figura 5**

*Instalación del gasómetro junto al biodigestor*



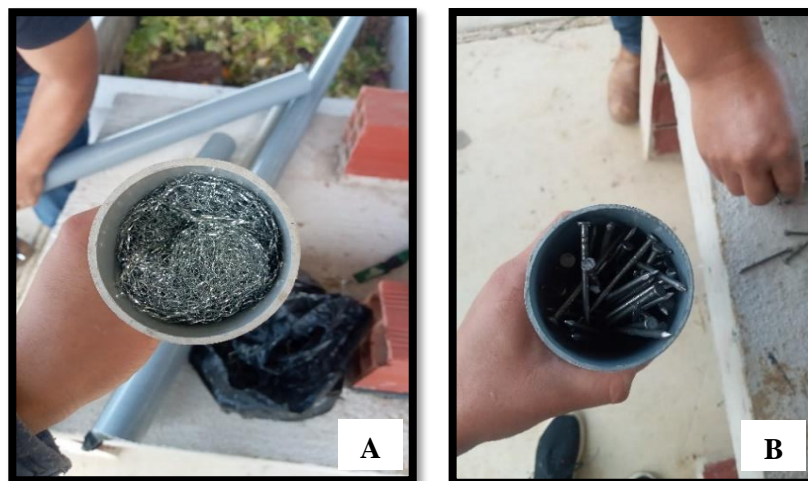


#### 2.2.4. Tablero de purificación y control de biogás

Está constituido de dos cartuchos de 50 cm de largo de tubo pesado de PVC 2", en ambos extremos tiene reducciones de 2 a 1/2", conectados a un puente que tiene una válvula para eliminar el agua condensada, cada cartucho está relleno de clavos de fierro de 2" (2,5 Kg por cartucho) para eliminar el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) del biogás producido, antes de colocar los clavos se adiciona dos esponjas de fierro a cada extremo. El manómetro se hace de manguera de PVC de 1/4" en forma de U, llenado de agua hasta la mitad. El biogás al empujar el agua de la rama conectada a la tubería provoca una diferencia de altura del agua entre ambas ramas, la cual será la presión que ejerce el biogás en el biodigestor. Para regular la presión se instaló una botella de plástico de 3 L sujeta con una cuerda al costado del tablero, la botella estaba llena de agua hasta 3/4 de su volumen, introduciendo 10 cm de la rama de la tubería, para facilitar su lectura en la parte final tiene ranuras cada centímetro. A continuación de la botella se instaló un medidor de biogás con accesorios PVC.

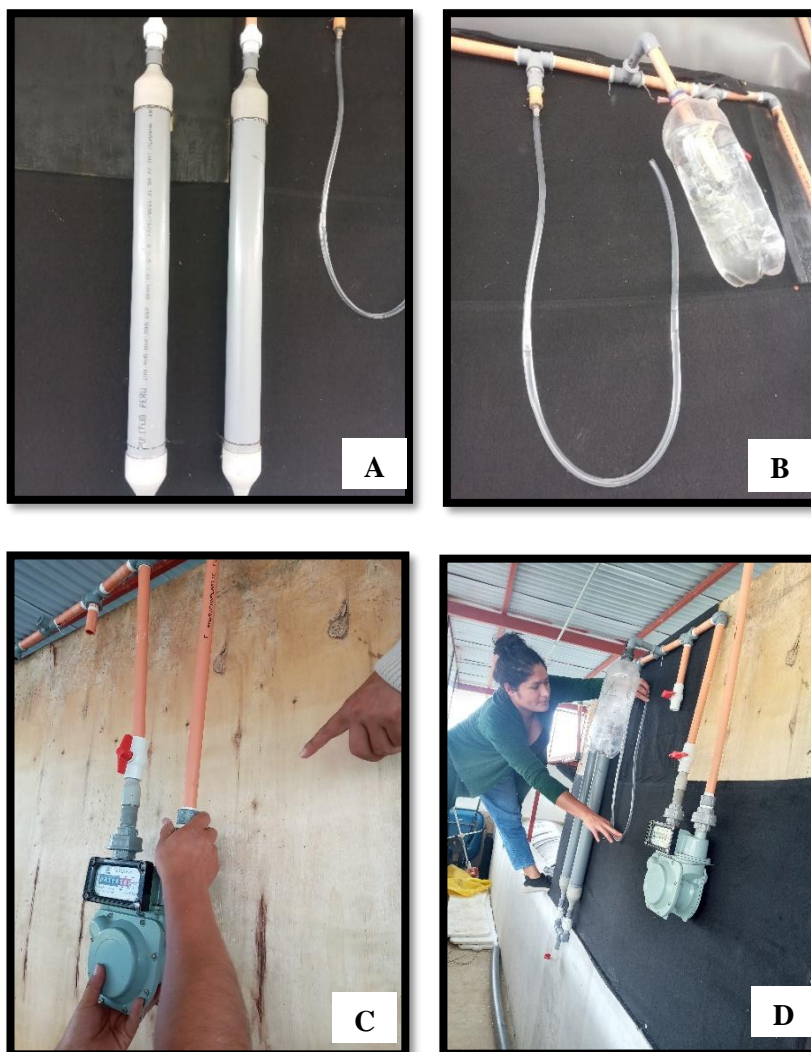
#### Figura 6

*Relleno del cartucho con esponja de fierro (A), clavos de fierro de 2" (B)*



## Figura 7

*Cartuchos para purificación del biogás (A), manómetro de manguera de PVC de ¼” y control de presión hecho de botella de plástico de 3 L (B), medidor del biogás (C) y tablero de purificación (D)*



### 2.2.5. Operación del sistema

#### 2.2.5.1. Soporte de liana

Las lianas o también llamadas bejucos fueron recolectadas en el Centro Poblado Villa Cocochó, distrito Camporredondo, provincia Luya, Región Amazonas, ubicado en las coordenadas 6°11'32" S y 78°19'14" O; para luego ser trasladado al lugar donde se realizó la investigación. Las lianas fueron recolectadas un mes antes con la finalidad que se seque para poder tejerlo en forma redonda.

Las lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) en esta investigación son utilizadas para el soporte de la proliferación del biofilm y así acelerar el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH). Se tejió las lianas dándole forma de una pelota (figura 8A). Se elaboró 80 soportes y se sujetó a una cuerda cada 5 cm (figura 8B).

### Figura 8

*Lianas (Dioscorea bulbifera* Linn.) en forma de canasta (A) y sujetas a la cuerda cada 5 cm (B)



Las lianas son plantas trepadoras perennes, herbáceas o leñosas de largos y delgados tallos, sus hojas son simples y alternas. Estas plantas se encuentran principalmente en América Tropical, ampliamente distribuidos en regiones tropicales y templadas (Xu & Chang, 2017). A continuación, se describe las características de la liana (*Dioscorea bulbifera* Linn.)

**Tabla 1**

*Taxonomía de la liana (Dioscorea bulbifera Linn.)*

<b>TAXONOMÍA</b>	
<b>REINO</b>	Plantae
<b>DIVISIÓN</b>	Angiospermae
<b>CLASE</b>	Monocotyledoneae
<b>ORDEN</b>	Dioscoreales
<b>FAMILIA</b>	Dioscoreaceae
<b>GÉNERO</b>	Dioscorea Linn.
<b>ESPECIE</b>	Dioscorea bulbifera Linn.

Fuente: Xu & Chang, (2017).

**Figura 9**

*Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.)*



## **2.3. Medición de parámetros**

### **2.3.1. Temperatura ambiente y temperatura del biodigestor**

Para el registro de datos de ambas temperaturas, se instaló cuatro equipos “Data Logger” (Figura 10 A), distribuidos de la siguiente manera:

- ✓ Un sensor en la entrada del biodigestor, ubicado al lado del tubo de PVC de 4” de la entrada de la mezcla.
- ✓ Un sensor en el centro del biodigestor, ubicado a una profundidad de 10 cm del biodigestor.

- ✓ Un sensor en la salida del biodigestor, ubicado al lado del tubo de PVC de 4” de salida del biol.
- ✓ Un sensor fuera del biodigestor, ubicado en la esquina de la estructura metálica donde se encuentra el gasómetro para la temperatura ambiente.

Los Data Logger (MARCA: YOWEXA MODELO: SSN22ET), se instalaron durante un mes, las 24 horas del día (figura 10 B) y cada sensor registraba las temperaturas en intervalos de tiempo de 15 minutos, los datos se consideraron a partir de las 06:03 am hasta las 06:03 pm.

### **Figura 10**

*Data Logger (A) y ubicación de los sensores (B)*



#### **2.3.2. pH del sustrato de la mezcla**

Se recolectó la muestra del sustrato agua: estiércol y se llevó al laboratorio de aguas y suelo de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas; donde se midió el pH con el “Equipo Multiparámetro Portátil 3620 IDS WTW”. Este equipo permite analizar la acidez o basicidad del sustrato de la mezcla en el rango de 0 – 14 pH.



**Figura 11**

*Muestra de la mezcla agua: estiércol (A) y medición del pH con el Multiparámetro Portátil*



### **2.3.3. Volumen de biogás**

Se instaló un medidor tipo diafragma G1.6 en el tablero de purificación, la cual estaba conectada a la tubería PVC de ½" mediante dos uniones universales de ½". Estos equipos son adecuados para medir el gas natural.

**Figura 12**

*Medidor de Gas tipo diafragma G1.6*



#### 2.3.4. Concentración de metano

Una vez que la cúpula del biodigestor se llenó de gas, se midió la concentración del biogás con el equipo Multitec 545, este equipo mide al mismo tiempo cinco gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CO). Las mediciones se realizaron en tres puntos: el primer punto antes del tablero de purificación, el segundo punto en la llave de paso de PVC que une el gasómetro y la tubería PVC que conduce a la cocina y el último punto en la hornilla de la cocina.

**Figura 13**

*Equipo Multitec 545*



#### 2.3.5. Tiempo de Retención Hidráulica

Es el tiempo que transcurre desde que el biodigestor está cargado con la mezcla estiércol - agua, expresado en días, hasta que el biodigestor y el gasómetro se aprecien llenos de biogás. Se estimó de acuerdo a las condiciones de temperatura con la siguiente formula según (Barrena et al., 2019b).

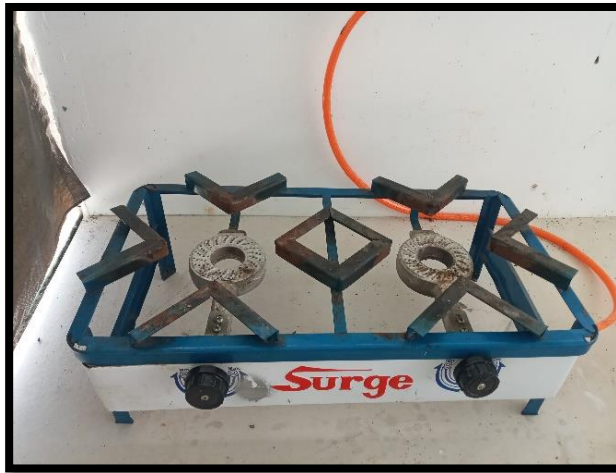
$$\text{TRH} = -44,705 \ln(T) + 160,394$$

#### 2.4. Rendimiento energético del biogás

Para evaluar el rendimiento se conectó a una cocina comercial de dos hornillas adaptada a funcionar a biogás (Figura 14). Se utilizó una reducción de acero de 1/2" a 3/8" para conectar la tubería PVC de 1/2" a la manguera PVC de 3/8" que conecta con la cocina y para evitar fugas se aseguró con una abrazadera. Se cocinaron alimentos como papa, huevos y agua. Se midió el tiempo requerido para la cocción de cada alimento y el volumen requerido.

**Figura 14**

*Cocina de dos hornillas adaptada para funcionar a biogás*





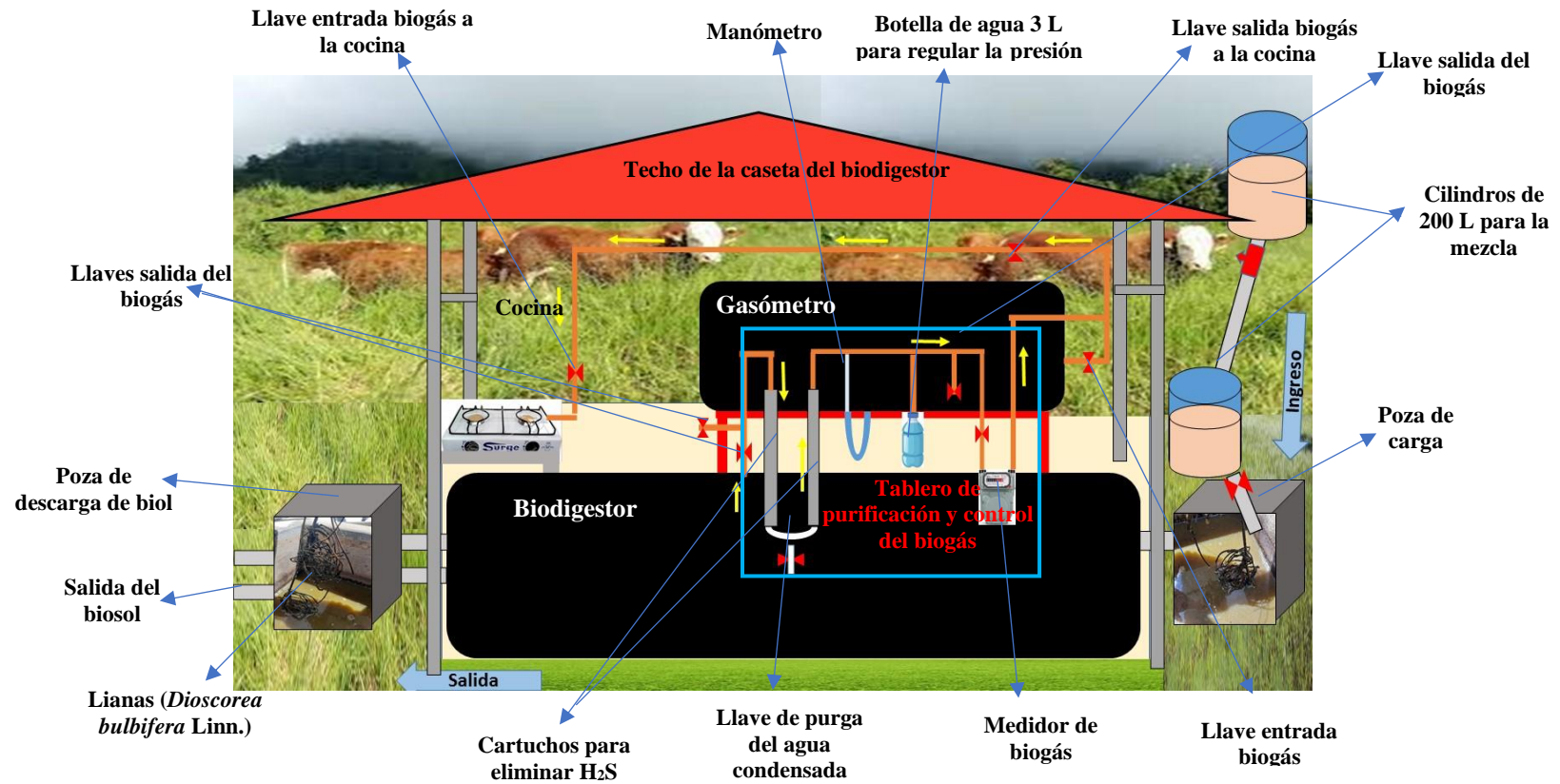
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Sistema de producción del biogás

En la figura 15, se muestra el esquema de producción de biogás con soporte de biofilm a base de lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.), sus componentes principales son la poza de carga, biodigestor donde se realiza la digestión anaerobia, tablero de purificación y control del biogás, gasómetro donde se almacena el biogás, la cocina y la poza de salida del biol y biosol utilizado como fertilizantes para los cultivos.

**Figura 15**

*Sistema de producción de biogás con soporte de biofilm a base de Lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.)*



### 3.2. Condiciones de operación del sistema de producción de biogás

En la tabla 2 se muestra los parámetros utilizado en la investigación, registrándose una temperatura ambiente promedio de 19,91 °C. Para la temperatura del biodigestor se promedió las temperaturas registradas en el DATA LOGGER tanto de la entrada, centro y salida del biodigestor.

**Tabla 2**

*Parámetros de la producción de biogás.*

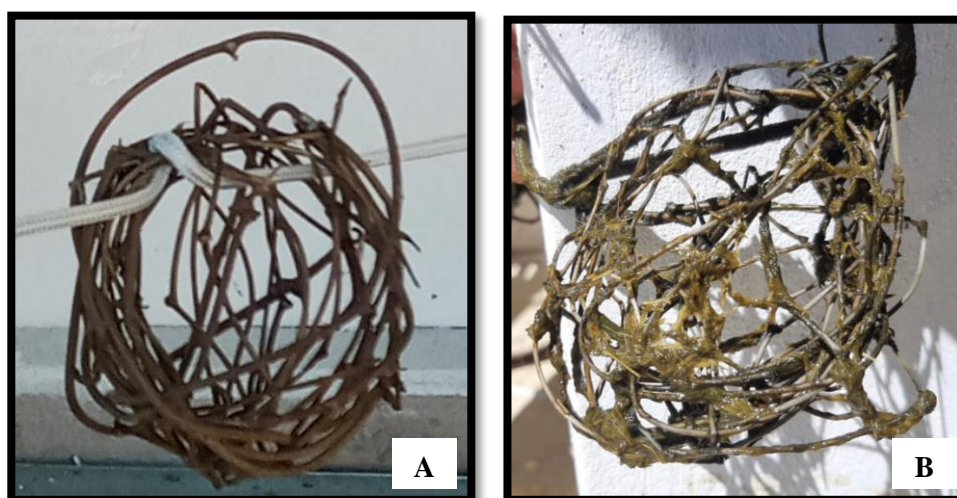
Parámetros	Resultados
Relación estiércol - agua	1:5
Temperatura ambiente	19.91 °C
Temperatura del biodigestor	16.99 °C
pH	7.49

#### 3.2.1. Soporte de biofilm

En la figura 16 A, se observa las lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) en forma redonda antes de ser introducida al biodigestor y en la figura 16 B, se observa las lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) después de la producción del biogás en el biodigestor en la cual se evidencia la formación de soporte para optimizar el crecimiento de las bacterias benéficas en la digestión anaeróbica.

**Figura 16**

*Soporte de lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) antes (A) y después de ser introducidas al biodigestor (B).*



### Figura 17

*Lianas (Dioscorea bulbifera Linn.) después de haber producido biogás.*



### 3.3. Producción de biogás

#### 3.3.1. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

Teniendo en consideración en la tabla 3 se presenta el tiempo de retención hidráulica (TRH) del sistema de biogás la estima y real. La estimada calculada a partir de la formula ya mencionada anteriormente y la real son los días que demoró en llenarse la cúpula del biodigestor que son 3 m<sup>3</sup> restantes. Por lo tanto, el tiempo de retención hidráulica fue de 15 días.

**Tabla 3**

*Tiempo de retención hidráulica estimada y real.*

<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	<b>Días</b>
Estimada	34
Real	15

### 3.3.2. Volumen del biogás

Una vez cargado el biodigestor con la mezcla estiércol – agua, se observó que, a los 15 días, la cúpula se llenó, lo que indicó, que el sistema estaba produciendo 3 m<sup>3</sup> de biogás. Se constató, además, que el gas se estaba produciendo a una presión de 12 cm, según lo indicado por el manómetro. De manera complementaria, se midió el volumen diario de biogás que pasó al gasómetro. Los datos antes mencionados se encuentran en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Frecuencia de medición, volumen y presión del biogás.*

<b>Frecuencia de medición</b>	<b>Volumen</b>	<b>Presión</b>
Primeros 15	3 m <sup>3</sup>	12 cm
Producción de biogás diaria	0.3 m <sup>3</sup> /día	2.5 cm

### 3.3.3. Concentración de metano de biogás

En la tabla 5, se muestra el resultado de los cinco gases CH<sub>4</sub> (%V), CO<sub>2</sub> (%V), O<sub>2</sub> (%V), H<sub>2</sub>S (PPM) Y CO (PPM), donde los gases predominantes son CH<sub>4</sub> con un 68 % y CO<sub>2</sub> con un 18 %. Además, se observa que el H<sub>2</sub>S después de la purificación disminuye en un 0.05 %.

**Tabla 5**

*Composición y porcentaje de los gases antes y después de la purificación.*

<b>Gases</b>	<b>Porcentaje antes de la purificación</b>	<b>Porcentaje después de la purificación</b>
CH <sub>4</sub> (%)	71.61	68.18
CO <sub>2</sub> (%)	27.50	17.90
O <sub>2</sub> (%)	0.18	7.99
H <sub>2</sub> S (PPM)	624.50	157.40
CO (PPM)	3.50	496.40

### 3.4.Pruebas de eficiencia energética de biogás

En la tabla 6 se muestran los tres productos que fueron cocinados durante 4 días consecutivos. De cada uno, se midió el tiempo de cocción con la finalidad de conocer la cantidad de horas promedio requerido.

**Tabla 6**

*Tiempo de cocción de los productos a biogás.*

<b>Alimentos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo Promedio (minutos)</b>
Papa	0.25 kg	25
Huevo	1 unidad	12
Agua	1 L	18

#### IV. DISCUSIÓN

La generación de desechos orgánicos ha incrementado de manera excesiva a nivel mundial afectando negativamente al medio ambiente; esta problemática ha ido motivando a reciclar y reutilizar de manera sostenible los desechos orgánicos empleando la energía renovable (Mahmudul et al., 2021). Por ello, se instaló un biodigestor tubular en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas, de 12 m<sup>3</sup> de volumen total, de los cuales, 9 m<sup>3</sup> son ocupados por la mezcla estiércol - agua en la proporción 1:5, y los 3 m<sup>3</sup> restantes son ocupados por el biogás. En este trabajo, se usó por primera vez un soporte del biofilm a base de lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) introducidas dentro del biodigestor, logrando un prototipo más eficiente, con un TRH de 15 días y 3 m<sup>3</sup> de volumen de biogás a una temperatura ambiente promedio de 19,91 °C. A diferencia de los resultados obtenidos por Martí et al., (2014), en el que instalaron biodigestores tubulares para climas fríos con un volumen total de 8 m<sup>3</sup>, 6 m<sup>3</sup> ocupados por la mezcla estiércol - agua en proporción 1:3 y como soporte del biofilm utilizaron anillos Polyethyleneterephthalate (PET), en el que obtuvieron 2 m<sup>3</sup> de volumen de biogás con un TRH de 300 días a una temperatura ambiente de 16 °C.

Según Kalaiselvan et al., (2022), los parámetros como la temperatura, el pH y el tipo de biodigestor influyen en el rendimiento, composición de la producción del biogás y el crecimiento microbiano; por lo que Akindolire et al., (2022), mencionan que, la temperatura es un factor importante en los otros parámetros, si disminuye afecta negativamente a estos y al crecimiento microbiano. Por ejemplo Montenegro, (2020), trabajó a una temperatura ambiental promedio de 21,9 °C, obteniendo un TRH de 20 días; en cambio Coronel & David, (2018), trabajaron entre un rango de temperaturas de 14,27 °C y 14,53°C indicando que fueron el mayor promedio de temperatura ambiente registrados en la investigación, obteniendo un TRH de 50 días. Por lo tanto, en la investigación la temperatura ambiente promedio (19,91 °C) y la temperatura del biodigestor (16,99 °C), influyeron positivamente en la producción del biogás y al mismo tiempo aceleró el TRH a diferencia de las otras investigaciones ya que la producción de biogás fue menos y el TRH disminuyó.

El biogás está compuesto principalmente por CH<sub>4</sub> entre 40 -75%, CO<sub>2</sub> entre 15 – 16 % y H<sub>2</sub>S entre 0 – 500 ppm (Bharathiraja et al., 2016). Por su parte Figueroa et al., (2019), determinaron que la composición del biogás para CH<sub>4</sub> fue 55 – 65 %, CO<sub>2</sub> fue 28 – 35 %, O<sub>2</sub> fue 1 – 5 %, H<sub>2</sub>S fue 650 – 4200 ppm y CO fue 1 – 4 ppm. Aunado a esto en la investigación se obtuvo 63 – 70 % de CH<sub>4</sub>, 7 – 27 % de CO<sub>2</sub>, 15 – 1% de O<sub>2</sub>, 52 - 272 ppm de H<sub>2</sub>S y 464 – 500 ppm de CO cabe recalcar que estos resultados son obtenidos después de la purificación. Por lo tanto, en la investigación se obtuvo mayor porcentaje de metano y el ácido sulfhídrico en menor cantidad; sabiendo que el metano es el gas principal para la combustión y el sulfuro de hidrógeno en concentraciones mayores puede ser muy toxico y además produce un olor a huevos podridos. Estos resultados pueden deberse al tipo de sustrato y al soporte utilizado en la investigación de (Figueroa et al., 2019).

De acuerdo a lo anterior, en la investigación se determinó que el volumen del biogás diario fue 0.3 m<sup>3</sup> con una presión de 2.5 cm. Por su parte Glivin et al., (2022) realizaron un estudio del rendimiento con dos biodigestores anaerobios, diluyendo 2.5 kg de estiércol de vaca y desechos cocina en una proporción 1:1, obteniendo como el rendimiento de biogás para el estiércol de vaca y desechos de cocina de 0,35 m<sup>3</sup>/día y 0.20 m<sup>3</sup>/día consecutivamente.



## V. CONCLUSIONES

- Se instaló un sistema de producción de biogás constituido por un biodigestor tubular de 12 m<sup>3</sup> de volumen total con un soporte para el biofilm a base de lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.), estas lianas fueron introducidas dentro del biodigestor sujetas a una cuerda cada 5 centímetros, logrando evidenciar la formación de soporte para optimizar el crecimiento de las bacterias benéficas para la digestión anaeróbica.
- Se midieron los parámetros de la producción del biogás como es el estiércol: agua en proporción 1:5, temperatura ambiente (19,91 °C), temperatura del biodigestor (16,99 °C) y pH de 7,49. Estos parámetros influyeron en la disminución del tiempo de retención hidráulica que fue 15 días.
- El biodigestor fue alimentado con 200 L de sustrato/día, produciendo 0.3 m<sup>3</sup>/día de biogás, suficientes para cocinar varios alimentos. Además, la concentración de CH<sub>4</sub> fue de 68,18 % y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) fue de 157,40 después de la purificación, logrando disminuir más del 50 % de H<sub>2</sub>S al pasar por el tablero de purificación.
- Los biodigestores tubulares son una alternativa factible para la producción de biogás ya que contribuye a la reducción de desechos orgánicos, disminuyendo los gases de efecto invernadero, generando beneficios ambientales y económicos, ya que es usado como combustible para cocina por su alto contenido de metano y así los usuarios ya no tienen la necesidad de usar gas propano ni leña para cocinar. Por ello, al añadir al sistema un soporte es más eficiente ya que reduce el tiempo de retención hidráulica y aumenta la producción de biogás.

## VI. RECOMENDACIONES

- Para instalar un sistema de producción de biogás constituido por un biodigestor tubular de geomembrana se recomienda primero poner al sol el biodigestor para poder ser más flexible y colocarlo de forma correcta en la poza y así evitar cualquier tipo de fugas.
- Difundir los biodigestores tubulares con soporte de biofilm a base de lianas (*Dioscorea bulbifera* Linn.) en zonas ganaderas ya que es efectivo en la reducción del tiempo de retención hidráulica (TRH), aumentando la producción de biogás. Además, es económico porque el tipo de soporte no es costoso y fácil de conseguir.
- Para determinar el tipo de bacteria que se produce en este soporte, se debe realizar un análisis en el laboratorio.
- Realizar una evaluación de este soporte, pero a diferentes temperaturas ambientales; para evaluar si el tiempo de retención hidráulica disminuye o aumenta.
- En esta investigación el sulfuro de hidrógeno que contiene el biogás no se elimina el 100 %, por lo que se recomienda utilizar otro cartucho.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abendroth, C., Latorre-Pérez, A., Porcar, M., Simeonov, C., Luschnig, O., Vilanova, C., & Pascual, J. (2020). Shedding light on biogas: Phototrophic biofilms in anaerobic digesters hold potential for improved biogas production. *Systematic and Applied Microbiology*, 43(1). <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2019.126024>
- Akindolire, M. A., Rama, H., & Roopnarain, A. (2022). Psychrophilic anaerobic digestion: A critical evaluation of microorganisms and enzymes to drive the process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112394. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112394>
- Aliaga, L., Alvarez, R., Carbonell, J., Céspedes, R., & Herrero, M. (2014). *Biofilm de bajo costo para mejorar la digestión anaeróbica en regiones de clima frío con digestores tubulares*. 81-91.
- Barrena Gurbillón, M. A., Cubas Alarcón, F., Gosgot Angeles, W., Ordinola Ramírez, C. M., Rascón Barrios, J., & Huanes Mariños, M. (2019a). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725-734. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>
- Barrena, M. Á., Gamarra, O. A., Huanes, M. A., Leiva, S. T., Malcalo, J. L., Oliva, M., Ordinola, C. M., & Taramona, L. A. (2019b). *BIOGÁS: PRODUCCIÓN Y APLICACIONES* (p. 178). UNTRM.
- Bharathiraja, B., Sudharsanaa, T., Bharghavi, A., Jayamuthunagai, J., & Praveenkumar, R. (2016). Biohydrogen and Biogas – An overview on feedstocks and enhancement process. *Fuel*, 185, 810-828. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.030>

- Chacón, L., Coto, O., & Flores, M. (2018). Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica. *EMA, Energía Medio Ambiente y Desarrollo*, 355.
- Coronel, D., & David, A. (2018). *Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas*. 86.
- Figueroa, C., Alegría, C., Meza, V., & Quipuzco, L. (2019). Eficiencia de la desulfuración del biogás mediante biofiltración empleando soportes orgánicos. *Agroindustrial Science*, 9(1), 29-37.  
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2019.01.04>
- Glivin, G., Mariappan, V., Premalatha, M., Hareesh Krishnan, H., & Joseph Sekhar, S. (2022). Comparative study of biogas production with cow dung and kitchen waste in Fiber-Reinforced Plastic (FRP) biodigesters. *Materials Today: Proceedings*, 52, 2264-2267. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.098>
- Irfan, S. (2020). *Livestock waste and its role in the composting process: A review*. °
- Kalaiselvan, N., Glivin, G., Bakthavatsalam, A. K., Mariappan, V., Premalatha, M., Raveendran, P. S., Jayaraj, S., & Sekhar, S. J. (2022). A waste to energy technology for Enrichment of biomethane generation: A review on operating parameters, types of biodigesters, solar assisted heating systems, socio economic benefits and challenges. *Chemosphere*, 293, 133486.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133486>
- Liu, Y., Zhu, Y., Jia, H., Yong, X., Zhang, L., Zhou, J., Cao, Z., Kruse, A., & Wei, P. (2017). Effects of different biofilm carriers on biogas production during anaerobic digestion of corn straw. *Bioresource Technology*, 244, 445-451.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.171>

- Mahmudul, H. M., Rasul, M. G., Akbar, D., Narayanan, R., & Mofijur, M. (2021). A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of The Total Environment*, 753, 141920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920>
- Martí, J., Alvarez, R., Rojas, M. R., Aliaga, L., Céspedes, R., & Carbonell, J. (2014). Biofilm de bajo costo para mejorar la digestión anaeróbica en regiones de clima frío con digestores tubulares. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 1(1), 81-91.
- Montenegro, R. (2020). *Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2072>
- Nghiem, L. D., Hai, F. I., Price, W. E., Wickham, R., Ngo, H. H., & Guo, W. (2017). 18—By-products of Anaerobic Treatment: Methane and Digestate From Manures and Cosubstrates. En *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00018-7>
- Palau, E., & Virginia, C. (2016). Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos. *Universidad Politecnica de Valencia*, 1-10.
- Ramos, E., Carranza, G., Monterrosa, C., & Gómez, P. (2021). *Vista de Estudio de la simulación hidrodinámica de un biodigestor doméstico de tipo tubular*. <http://www.revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/40/4>
- SENAMHI. (2020). *SENAMHi—Amazonas*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=amazonas&p=pronostico-meteorologico>

- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). *Definición e información de energías renovables*.
- Tallou, A., Haouas, A., & Jamali, M. Y. (2020). *Village Technology* (Número February). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6>
- Xu, Z., & Chang, L. (2017). Dioscoreaceae. En Z. Xu & L. Chang, *Identification and Control of Common Weeds: Volume 3* (pp. 895-903). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7_36)

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1. Temperatura de entrada del biodigestor

Hora 6:02		Hora 6:17		Hora 6:32		Hora 6:47		Hora 7:02		Hora 7:17		Hora 7:32		Hora 7:47	
Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex	Fecha y Hora	T Ex
19/09/2021 06:02	18	19/09/2021 06:17	18	19/09/2021 06:32	17.9	19/09/2021 06:47	17.9	19/09/2021 07:02	17.9	19/09/2021 07:17	17.8	19/09/2021 07:32	17.8	19/09/2021 07:47	17.8
20/09/2021 06:02	18.1	20/09/2021 06:17	18.1	20/09/2021 06:32	18.1	20/09/2021 06:47	18	20/09/2021 07:02	18	20/09/2021 07:17	18	20/09/2021 07:32	18	20/09/2021 07:47	18
21/09/2021 06:02	15.9	21/09/2021 06:17	15.9	21/09/2021 06:32	15.9	21/09/2021 06:47	15.9	21/09/2021 07:02	15.9	21/09/2021 07:17	15.9	21/09/2021 07:32	15.8	21/09/2021 07:47	15.9
22/09/2021 06:02	15.1	22/09/2021 06:17	15.1	22/09/2021 06:32	15.1	22/09/2021 06:47	15.1	22/09/2021 07:02	15	22/09/2021 07:17	15	22/09/2021 07:32	15	22/09/2021 07:47	15.1
23/09/2021 06:02	15.1	23/09/2021 06:17	15.1	23/09/2021 06:32	15.1	23/09/2021 06:47	15.1	23/09/2021 07:02	15.1	23/09/2021 07:17	15.1	23/09/2021 07:32	15.1	23/09/2021 07:47	15.1
24/09/2021 06:02	15.5	24/09/2021 06:17	15.5	24/09/2021 06:32	15.5	24/09/2021 06:47	15.4	24/09/2021 07:02	15.4	24/09/2021 07:17	15.4	24/09/2021 07:32	15.4	24/09/2021 07:47	15.4
25/09/2021 06:02	15.5	25/09/2021 06:17	15.4	25/09/2021 06:32	15.4	25/09/2021 06:47	15.4	25/09/2021 07:02	15.4	25/09/2021 07:17	15.4	25/09/2021 07:32	15.4	25/09/2021 07:47	15.4
26/09/2021 06:02	15.7	26/09/2021 06:17	15.6	26/09/2021 06:32	15.6	26/09/2021 06:47	15.6	26/09/2021 07:02	15.5	26/09/2021 07:17	15.5	26/09/2021 07:32	15.6	26/09/2021 07:47	15.6
27/09/2021 06:02	15.9	27/09/2021 06:17	15.9	27/09/2021 06:32	15.9	27/09/2021 06:47	15.8	27/09/2021 07:02	15.8	27/09/2021 07:17	15.8	27/09/2021 07:32	15.9	27/09/2021 07:47	15.9
28/09/2021 06:02	16.1	28/09/2021 06:17	16.1	28/09/2021 06:32	16	28/09/2021 06:47	15.9	28/09/2021 07:02	15.9	28/09/2021 07:17	15.9	28/09/2021 07:32	15.9	28/09/2021 07:47	15.9
29/09/2021 06:02	16.3	29/09/2021 06:17	16.2	29/09/2021 06:32	16.2	29/09/2021 06:47	16.1	29/09/2021 07:02	16.1	29/09/2021 07:17	16	29/09/2021 07:32	16	29/09/2021 07:47	16
30/09/2021 06:02	16.2	30/09/2021 06:17	16.2	30/09/2021 06:32	16.2	30/09/2021 06:47	16.1	30/09/2021 07:02	16.1	30/09/2021 07:17	16.1	30/09/2021 07:32	16.1	30/09/2021 07:47	16.1
1/10/2021 06:02	15.8	1/10/2021 06:17	15.8	1/10/2021 06:32	15.8	1/10/2021 06:47	15.7	1/10/2021 07:02	15.7	1/10/2021 07:17	15.6	1/10/2021 07:32	15.6	1/10/2021 07:47	15.6
2/10/2021 06:02	16	2/10/2021 06:17	15.9	2/10/2021 06:32	15.9	2/10/2021 06:47	15.8	2/10/2021 07:02	15.8	2/10/2021 07:17	15.8	2/10/2021 07:32	15.8	2/10/2021 07:47	15.8
3/10/2021 06:02	17.2	3/10/2021 06:17	17.1	3/10/2021 06:32	17.1	3/10/2021 06:47	17.1	3/10/2021 07:02	17	3/10/2021 07:17	17	3/10/2021 07:32	17	3/10/2021 07:47	17
4/10/2021 06:02	17.1	4/10/2021 06:17	17.1	4/10/2021 06:32	17.1	4/10/2021 06:47	17.1	4/10/2021 07:02	17	4/10/2021 07:17	17	4/10/2021 07:32	17	4/10/2021 07:47	17
5/10/2021 06:02	16.6	5/10/2021 06:17	16.6	5/10/2021 06:32	16.6	5/10/2021 06:47	16.6	5/10/2021 07:02	16.5	5/10/2021 07:17	16.5	5/10/2021 07:32	16.5	5/10/2021 07:47	16.5
6/10/2021 06:02	17.3	6/10/2021 06:17	17.2	6/10/2021 06:32	17.2	6/10/2021 06:47	17.2	6/10/2021 07:02	17.2	6/10/2021 07:17	17.1	6/10/2021 07:32	17.1	6/10/2021 07:47	17.1
7/10/2021 06:02	16.8	7/10/2021 06:17	16.7	7/10/2021 06:32	16.7	7/10/2021 06:47	16.7	7/10/2021 07:02	16.6	7/10/2021 07:17	16.6	7/10/2021 07:32	16.6	7/10/2021 07:47	16.6
8/10/2021 06:02	17.4	8/10/2021 06:17	17.4	8/10/2021 06:32	17.3	8/10/2021 06:47	17.3	8/10/2021 07:02	17.2	8/10/2021 07:17	17.2	8/10/2021 07:32	17.2	8/10/2021 07:47	17.2
9/10/2021 06:02	17.3	9/10/2021 06:17	17.3	9/10/2021 06:32	17.3	9/10/2021 06:47	17.2	9/10/2021 07:02	17.2	9/10/2021 07:17	17.2	9/10/2021 07:32	17.1	9/10/2021 07:47	17.1
10/10/2021 06:02	17.1	10/10/2021 06:17	17.1	10/10/2021 06:32	17.1	10/10/2021 06:47	17.1	10/10/2021 07:02	17	10/10/2021 07:17	17	10/10/2021 07:32	17	10/10/2021 07:47	17
11/10/2021 06:02	17.2	11/10/2021 06:17	17.2	11/10/2021 06:32	17.2	11/10/2021 06:47	17.2	11/10/2021 07:02	17.2	11/10/2021 07:17	17.2	11/10/2021 07:32	17.2	11/10/2021 07:47	17.1
12/10/2021 06:02	16.8	12/10/2021 06:17	16.8	12/10/2021 06:32	16.7	12/10/2021 06:47	16.7	12/10/2021 07:02	16.7	12/10/2021 07:17	16.6	12/10/2021 07:32	16.6	12/10/2021 07:47	16.6
13/10/2021 06:02	18.2	13/10/2021 06:17	18.2	13/10/2021 06:32	18.2	13/10/2021 06:47	18.1	13/10/2021 07:02	18.1	13/10/2021 07:17	18.1	13/10/2021 07:32	18	13/10/2021 07:47	18
14/10/2021 06:02	19.3	14/10/2021 06:17	19.2	14/10/2021 06:32	19.2	14/10/2021 06:47	19.2	14/10/2021 07:02	19.1	14/10/2021 07:17	19.1	14/10/2021 07:32	19.1	14/10/2021 07:47	19.1
15/10/2021 06:02	17.8	15/10/2021 06:17	17.8	15/10/2021 06:32	17.8	15/10/2021 06:47	17.8	15/10/2021 07:02	17.7	15/10/2021 07:17	17.7	15/10/2021 07:32	17.7	15/10/2021 07:47	17.7
16/10/2021 06:02	17.4	16/10/2021 06:17	17.5	16/10/2021 06:32	17.4	16/10/2021 06:47	17.4	16/10/2021 07:02	17.4	16/10/2021 07:17	17.3	16/10/2021 07:32	17.3	16/10/2021 07:47	17.3
17/10/2021 06:02	17.3	17/10/2021 06:17	17.3	17/10/2021 06:32	17.2	17/10/2021 06:47	17.2	17/10/2021 07:02	17.2	17/10/2021 07:17	17.2	17/10/2021 07:32	17.2	17/10/2021 07:47	17.2
18/10/2021 06:02	16.8	18/10/2021 06:17	16.8	18/10/2021 06:32	16.8	18/10/2021 06:47	16.7	18/10/2021 07:02	16.7	18/10/2021 07:17	hi	18/10/2021 07:32	16.7	18/10/2021 07:47	16.7
<b>PROMEDIO</b>	<b>16.76</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.74</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.72</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.68</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.65</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.62</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.62</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16.63</b>

## ANEXO 2. Temperatura del centro del biodigestor

Hora 6:01		Hora 6:16		Hora 6:31		Hora 6:46		Hora 7:01		Hora 7:16		Hora 7:31		Hora 7:46	
Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>	Fecha y Hora	T <sub>ex</sub>
19/09/2021 06:01	18	19/09/2021 06:16	17.9	19/09/2021 06:31	17.9	19/09/2021 06:46	17.8	19/09/2021 07:01	17.8	19/09/2021 07:16	17.8	19/09/2021 07:31	17.7	19/09/2021 07:46	17.7
20/09/2021 06:01	18.1	20/09/2021 06:16	18.1	20/09/2021 06:31	18	20/09/2021 06:46	18	20/09/2021 07:01	18	20/09/2021 07:16	18	20/09/2021 07:31	18	20/09/2021 07:46	18
21/09/2021 06:01	16	21/09/2021 06:16	16	21/09/2021 06:31	16	21/09/2021 06:46	16	21/09/2021 07:01	16	21/09/2021 07:16	16.1	21/09/2021 07:31	16.1	21/09/2021 07:46	16.1
22/09/2021 06:01	15.9	22/09/2021 06:16	15.8	22/09/2021 06:31	15.8	22/09/2021 06:46	15.8	22/09/2021 07:01	15.8	22/09/2021 07:16	15.8	22/09/2021 07:31	15.8	22/09/2021 07:46	15.8
23/09/2021 06:01	15.7	23/09/2021 06:16	15.7	23/09/2021 06:31	15.7	23/09/2021 06:46	15.6	23/09/2021 07:01	15.7	23/09/2021 07:16	15.6	23/09/2021 07:31	15.6	23/09/2021 07:46	15.6
24/09/2021 06:01	15.6	24/09/2021 06:16	15.6	24/09/2021 06:31	15.6	24/09/2021 06:46	15.6	24/09/2021 07:01	15.6	24/09/2021 07:16	15.6	24/09/2021 07:31	15.6	24/09/2021 07:46	15.6
25/09/2021 06:01	15.7	25/09/2021 06:16	15.7	25/09/2021 06:31	15.7	25/09/2021 06:46	15.7	25/09/2021 07:01	15.7	25/09/2021 07:16	15.6	25/09/2021 07:31	15.6	25/09/2021 07:46	15.7
26/09/2021 06:01	15.5	26/09/2021 06:16	15.6	26/09/2021 06:31	15.5	26/09/2021 06:46	15.5	26/09/2021 07:01	15.4	26/09/2021 07:16	15.4	26/09/2021 07:31	15.4	26/09/2021 07:46	15.4
27/09/2021 06:01	15.7	27/09/2021 06:16	15.7	27/09/2021 06:31	15.7	27/09/2021 06:46	15.7	27/09/2021 07:01	15.6	27/09/2021 07:16	15.6	27/09/2021 07:31	15.6	27/09/2021 07:46	15.7
28/09/2021 06:01	15.8	28/09/2021 06:16	15.8	28/09/2021 06:31	15.8	28/09/2021 06:46	15.7	28/09/2021 07:01	15.7	28/09/2021 07:16	15.8	28/09/2021 07:31	15.7	28/09/2021 07:46	15.7
29/09/2021 06:01	16	29/09/2021 06:16	16	29/09/2021 06:31	16	29/09/2021 06:46	15.9	29/09/2021 07:01	15.9	29/09/2021 07:16	15.9	29/09/2021 07:31	15.9	29/09/2021 07:46	15.9
30/09/2021 06:01	16.1	30/09/2021 06:16	16.1	30/09/2021 06:31	16.1	30/09/2021 06:46	16.1	30/09/2021 07:01	16.1	30/09/2021 07:16	16.1	30/09/2021 07:31	16.1	30/09/2021 07:46	16.1
1/10/2021 06:01	16	1/10/2021 06:16	15.9	1/10/2021 06:31	15.9	1/10/2021 06:46	15.9	1/10/2021 07:01	15.9	1/10/2021 07:16	15.9	1/10/2021 07:31	15.9	1/10/2021 07:46	15.9
2/10/2021 06:01	16.1	2/10/2021 06:16	16	2/10/2021 06:31	16	2/10/2021 06:46	16	2/10/2021 07:01	16	2/10/2021 07:16	16	2/10/2021 07:31	16	2/10/2021 07:46	16
3/10/2021 06:01	16.6	3/10/2021 06:16	16.6	3/10/2021 06:31	16.6	3/10/2021 06:46	16.6	3/10/2021 07:01	16.6	3/10/2021 07:16	16.6	3/10/2021 07:31	16.6	3/10/2021 07:46	16.6
4/10/2021 06:01	16.8	4/10/2021 06:16	16.7	4/10/2021 06:31	16.7	4/10/2021 06:46	16.8	4/10/2021 07:01	16.7	4/10/2021 07:16	16.7	4/10/2021 07:31	16.8	4/10/2021 07:46	16.8
5/10/2021 06:01	16.6	5/10/2021 06:16	16.6	5/10/2021 06:31	16.7	5/10/2021 06:46	16.6	5/10/2021 07:01	16.6	5/10/2021 07:16	16.6	5/10/2021 07:31	16.6	5/10/2021 07:46	16.6
6/10/2021 06:01	16.8	6/10/2021 06:16	16.8	6/10/2021 06:31	16.8	6/10/2021 06:46	16.8	6/10/2021 07:01	16.8	6/10/2021 07:16	16.8	6/10/2021 07:31	16.7	6/10/2021 07:46	16.8
7/10/2021 06:01	16.7	7/10/2021 06:16	16.7	7/10/2021 06:31	16.7	7/10/2021 06:46	16.7	7/10/2021 07:01	16.7	7/10/2021 07:16	16.6	7/10/2021 07:31	16.7	7/10/2021 07:46	16.7
8/10/2021 06:01	16.9	8/10/2021 06:16	16.9	8/10/2021 06:31	16.8	8/10/2021 06:46	16.8	8/10/2021 07:01	16.8	8/10/2021 07:16	16.8	8/10/2021 07:31	16.8	8/10/2021 07:46	16.8
9/10/2021 06:01	16.8	9/10/2021 06:16	16.8	9/10/2021 06:31	16.8	9/10/2021 06:46	16.8	9/10/2021 07:01	16.7	9/10/2021 07:16	16.7	9/10/2021 07:31	16.7	9/10/2021 07:46	16.8
10/10/2021 06:01	17	10/10/2021 06:16	17	10/10/2021 06:31	16.9	10/10/2021 06:46	16.9	10/10/2021 07:01	16.9	10/10/2021 07:16	16.9	10/10/2021 07:31	17	10/10/2021 07:46	16.9
11/10/2021 06:01	17	11/10/2021 06:16	17.1	11/10/2021 06:31	17.1	11/10/2021 06:46	17	11/10/2021 07:01	17	11/10/2021 07:16	17	11/10/2021 07:31	17	11/10/2021 07:46	17
12/10/2021 06:01	16.8	12/10/2021 06:16	16.9	12/10/2021 06:31	16.9	12/10/2021 06:46	16.8	12/10/2021 07:01	16.8	12/10/2021 07:16	16.8	12/10/2021 07:31	16.8	12/10/2021 07:46	16.8
13/10/2021 06:01	17.3	13/10/2021 06:16	17.3	13/10/2021 06:31	17.4	13/10/2021 06:46	17.3	13/10/2021 07:01	17.3	13/10/2021 07:16	17.3	13/10/2021 07:31	17.3	13/10/2021 07:46	17.3
14/10/2021 06:01	17.9	14/10/2021 06:16	17.9	14/10/2021 06:31	17.9	14/10/2021 06:46	17.9	14/10/2021 07:01	17.9	14/10/2021 07:16	17.9	14/10/2021 07:31	17.8	14/10/2021 07:46	17.9
15/10/2021 06:01	17.7	15/10/2021 06:16	17.7	15/10/2021 06:31	17.7	15/10/2021 06:46	17.7	15/10/2021 07:01	17.7	15/10/2021 07:16	17.7	15/10/2021 07:31	17.6	15/10/2021 07:46	17.6
16/10/2021 06:01	17.5	16/10/2021 06:16	17.5	16/10/2021 06:31	17.5	16/10/2021 06:46	17.5	16/10/2021 07:01	17.5	16/10/2021 07:16	17.5	16/10/2021 07:31	17.5	16/10/2021 07:46	17.5
17/10/2021 06:01	17.4	17/10/2021 06:16	17.4	17/10/2021 06:31	17.3	17/10/2021 06:46	17.3	17/10/2021 07:01	17.3	17/10/2021 07:16	17.4	17/10/2021 07:31	17.4	17/10/2021 07:46	17.3
18/10/2021 06:01	17.1	18/10/2021 06:16	17.1	18/10/2021 06:31	17.1	18/10/2021 06:46	17.1	18/10/2021 07:01	17	18/10/2021 07:16	17	18/10/2021 07:31	17.1	18/10/2021 07:46	17.1
PROMEDIO	16.64	PROMEDIO	16.63	PROMEDIO	16.62	PROMEDIO	16.60	PROMEDIO	16.58	PROMEDIO	16.58	PROMEDIO	16.58	PROMEDIO	16.59



### ANEXO 3. Temperatura salida del biodigestor

Hora 6:03		Hora 6:03		Hora 6:03		Hora 6:03		Hora 7:03		Hora 7:18		Hora 7:33		Hora 7:48	
Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex
19/09/2021 06:03	17.9	19/09/2021 06:18	17.8	19/09/2021 06:33	17.8	19/09/2021 06:48	17.8	19/09/2021 07:03	17.7	19/09/2021 07:18	17.7	19/09/2021 07:33	17.7	19/09/2021 07:48	17.6
20/09/2021 06:03	17.9	20/09/2021 06:18	17.9	20/09/2021 06:33	17.9	20/09/2021 06:48	17.9	20/09/2021 07:03	17.9	20/09/2021 07:18	17.9	20/09/2021 07:33	17.9	20/09/2021 07:48	17.9
21/09/2021 06:03	16	21/09/2021 06:18	16	21/09/2021 06:33	16	21/09/2021 06:48	16	21/09/2021 07:03	16	21/09/2021 07:18	16.1	21/09/2021 07:33	16	21/09/2021 07:48	16
22/09/2021 06:03	15.7	22/09/2021 06:18	15.7	22/09/2021 06:33	15.7	22/09/2021 06:48	15.6	22/09/2021 07:03	15.6	22/09/2021 07:18	15.6	22/09/2021 07:33	15.6	22/09/2021 07:48	15.6
23/09/2021 06:03	15.6	23/09/2021 06:18	15.6	23/09/2021 06:33	15.6	23/09/2021 06:48	15.6	23/09/2021 07:03	15.6	23/09/2021 07:18	15.5	23/09/2021 07:33	15.6	23/09/2021 07:48	15.5
24/09/2021 06:03	15.6	24/09/2021 06:18	15.6	24/09/2021 06:33	15.6	24/09/2021 06:48	15.6	24/09/2021 07:03	15.6	24/09/2021 07:18	15.6	24/09/2021 07:33	15.5	24/09/2021 07:48	15.6
25/09/2021 06:03	15.5	25/09/2021 06:18	15.5	25/09/2021 06:33	15.5	25/09/2021 06:48	15.5	25/09/2021 07:03	15.5	25/09/2021 07:18	15.5	25/09/2021 07:33	15.5	25/09/2021 07:48	15.5
26/09/2021 06:03	15.4	26/09/2021 06:18	15.3	26/09/2021 06:33	15.4	26/09/2021 06:48	15.4	26/09/2021 07:03	15.4	26/09/2021 07:18	15.4	26/09/2021 07:33	15.5	26/09/2021 07:48	15.5
27/09/2021 06:03	15.8	27/09/2021 06:18	15.7	27/09/2021 06:33	15.7	27/09/2021 06:48	15.7	27/09/2021 07:03	15.7	27/09/2021 07:18	15.7	27/09/2021 07:33	15.7	27/09/2021 07:48	15.7
28/09/2021 06:03	16	28/09/2021 06:18	16	28/09/2021 06:33	16	28/09/2021 06:48	16	28/09/2021 07:03	16	28/09/2021 07:18	15.9	28/09/2021 07:33	15.9	28/09/2021 07:48	15.9
29/09/2021 06:03	16.1	29/09/2021 06:18	16.1	29/09/2021 06:33	16.1	29/09/2021 06:48	16.1	29/09/2021 07:03	16.1	29/09/2021 07:18	16.1	29/09/2021 07:33	16	29/09/2021 07:48	16
30/09/2021 06:03	16.2	30/09/2021 06:18	16.2	30/09/2021 06:33	16.2	30/09/2021 06:48	16.2	30/09/2021 07:03	16.2	30/09/2021 07:18	16.2	30/09/2021 07:33	16.2	30/09/2021 07:48	16.1
1/10/2021 06:03	16.1	1/10/2021 06:18	16.1	1/10/2021 06:33	16.1	1/10/2021 06:48	16.1	1/10/2021 07:03	16.1	1/10/2021 07:18	16	1/10/2021 07:33	16	1/10/2021 07:48	16
2/10/2021 06:03	16.2	2/10/2021 06:18	16.2	2/10/2021 06:33	16.2	2/10/2021 06:48	16.2	2/10/2021 07:03	16.2	2/10/2021 07:18	16.2	2/10/2021 07:33	16.2	2/10/2021 07:48	16.2
3/10/2021 06:03	16.7	3/10/2021 06:18	16.7	3/10/2021 06:33	16.7	3/10/2021 06:48	16.6	3/10/2021 07:03	16.7	3/10/2021 07:18	16.7	3/10/2021 07:33	16.6	3/10/2021 07:48	16.6
4/10/2021 06:03	16.8	4/10/2021 06:18	16.8	4/10/2021 06:33	16.8	4/10/2021 06:48	16.8	4/10/2021 07:03	16.8	4/10/2021 07:18	16.7	4/10/2021 07:33	16.8	4/10/2021 07:48	16.7
5/10/2021 06:03	16.7	5/10/2021 06:18	16.7	5/10/2021 06:33	16.7	5/10/2021 06:48	16.7	5/10/2021 07:03	16.7	5/10/2021 07:18	16.7	5/10/2021 07:33	16.7	5/10/2021 07:48	16.6
6/10/2021 06:03	16.8	6/10/2021 06:18	16.8	6/10/2021 06:33	16.8	6/10/2021 06:48	16.8	6/10/2021 07:03	16.8	6/10/2021 07:18	16.8	6/10/2021 07:33	16.8	6/10/2021 07:48	16.8
7/10/2021 06:03	16.7	7/10/2021 06:18	16.7	7/10/2021 06:33	16.7	7/10/2021 06:48	16.7	7/10/2021 07:03	16.7	7/10/2021 07:18	16.7	7/10/2021 07:33	16.7	7/10/2021 07:48	16.7
8/10/2021 06:03	16.9	8/10/2021 06:18	16.9	8/10/2021 06:33	16.9	8/10/2021 06:48	16.9	8/10/2021 07:03	16.9	8/10/2021 07:18	16.9	8/10/2021 07:33	16.8	8/10/2021 07:48	16.8
9/10/2021 06:03	17	9/10/2021 06:18	17	9/10/2021 06:33	16.9	9/10/2021 06:48	16.9	9/10/2021 07:03	16.9	9/10/2021 07:18	16.9	9/10/2021 07:33	16.9	9/10/2021 07:48	16.9
10/10/2021 06:03	17	10/10/2021 06:18	17	10/10/2021 06:33	17	10/10/2021 06:48	17	10/10/2021 07:03	17	10/10/2021 07:18	17	10/10/2021 07:33	17	10/10/2021 07:48	16.9
11/10/2021 06:03	17.1	11/10/2021 06:18	17.1	11/10/2021 06:33	17.1	11/10/2021 06:48	17.1	11/10/2021 07:03	17.1	11/10/2021 07:18	17	11/10/2021 07:33	17	11/10/2021 07:48	17
12/10/2021 06:03	16.9	12/10/2021 06:18	16.9	12/10/2021 06:33	16.9	12/10/2021 06:48	16.8	12/10/2021 07:03	16.8	12/10/2021 07:18	16.8	12/10/2021 07:33	16.8	12/10/2021 07:48	16.8
13/10/2021 06:03	17.3	13/10/2021 06:18	17.3	13/10/2021 06:33	17.3	13/10/2021 06:48	17.3	13/10/2021 07:03	17.3	13/10/2021 07:18	17.3	13/10/2021 07:33	17.2	13/10/2021 07:48	17.2
14/10/2021 06:03	17.9	14/10/2021 06:18	17.9	14/10/2021 06:33	17.9	14/10/2021 06:48	17.9	14/10/2021 07:03	17.9	14/10/2021 07:18	17.9	14/10/2021 07:33	17.9	14/10/2021 07:48	17.9
15/10/2021 06:03	17.8	15/10/2021 06:18	17.8	15/10/2021 06:33	17.8	15/10/2021 06:48	17.8	15/10/2021 07:03	17.7	15/10/2021 07:18	17.7	15/10/2021 07:33	17.7	15/10/2021 07:48	17.7
16/10/2021 06:03	17.3	16/10/2021 06:18	17.3	16/10/2021 06:33	17.3	16/10/2021 06:48	17.3	16/10/2021 07:03	17.2	16/10/2021 07:18	17.2	16/10/2021 07:33	17.2	16/10/2021 07:48	17.2
17/10/2021 06:03	17.1	17/10/2021 06:18	17.1	17/10/2021 06:33	17.1	17/10/2021 06:48	17.1	17/10/2021 07:03	17.1	17/10/2021 07:18	17.1	17/10/2021 07:33	17	17/10/2021 07:48	17
18/10/2021 06:03	17.1	18/10/2021 06:18	17.1	18/10/2021 06:33	17.1	18/10/2021 06:48	17.1	18/10/2021 07:03	17	18/10/2021 07:18	17	18/10/2021 07:33	17	18/10/2021 07:48	17
PROMEDIO	16.64	PROMEDIO	16.63	PROMEDIO	16.63	PROMEDIO	16.62	PROMEDIO	16.61	PROMEDIO	16.59	PROMEDIO	16.58	PROMEDIO	16.56

#### ANEXO 4. Temperatura ambiente

Hora 6:03		Hora 6:18		Hora 6:33		Hora 6:48		Hora 7:03		Hora 7:18		Hora 7:33		Hora 7:48	
Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex	Fecha y Hora	T° ex
19/09/2021 06:03	17.7	19/09/2021 06:18	17.7	19/09/2021 06:33	17.7	19/09/2021 06:48	17.7	19/09/2021 07:03	17.7	19/09/2021 06:48	17.7	19/09/2021 06:48	17.7	19/09/2021 07:48	17.7
20/09/2021 06:03	18	20/09/2021 06:18	18	20/09/2021 06:33	18	20/09/2021 06:48	17.9	20/09/2021 07:03	17.9	20/09/2021 06:48	17.9	20/09/2021 06:48	17.9	20/09/2021 07:48	17.9
21/09/2021 06:03	13.6	21/09/2021 06:18	13.6	21/09/2021 06:33	13.7	21/09/2021 06:48	13.9	21/09/2021 07:03	13.9	21/09/2021 06:48	13.9	21/09/2021 06:48	14.3	21/09/2021 07:48	15.4
22/09/2021 06:03	12.9	22/09/2021 06:18	12.9	22/09/2021 06:33	13	22/09/2021 06:48	13.1	22/09/2021 07:03	13.1	22/09/2021 06:48	13.4	22/09/2021 06:48	13.6	22/09/2021 07:48	13.7
23/09/2021 06:03	13.1	23/09/2021 06:18	13.1	23/09/2021 06:33	13.2	23/09/2021 06:48	13.2	23/09/2021 07:03	13.3	23/09/2021 06:48	13.5	23/09/2021 06:48	13.7	23/09/2021 07:48	14.1
24/09/2021 06:03	12.7	24/09/2021 06:18	12.8	24/09/2021 06:33	13	24/09/2021 06:48	13.1	24/09/2021 07:03	13.4	24/09/2021 06:48	13.8	24/09/2021 06:48	14.3	24/09/2021 07:48	14.6
25/09/2021 06:03	13.8	25/09/2021 06:18	13.8	25/09/2021 06:33	14	25/09/2021 06:48	14.1	25/09/2021 07:03	13.9	25/09/2021 06:48	14	25/09/2021 06:48	14.2	25/09/2021 07:48	14.3
26/09/2021 06:03	10.3	26/09/2021 06:18	10.6	26/09/2021 06:33	11.6	26/09/2021 06:48	13.5	26/09/2021 07:03	14.9	26/09/2021 06:48	15.3	26/09/2021 06:48	15.7	26/09/2021 07:48	16.9
27/09/2021 06:03	12.4	27/09/2021 06:18	12.8	27/09/2021 06:33	13.2	27/09/2021 06:48	13.6	27/09/2021 07:03	14.3	27/09/2021 06:48	14.7	27/09/2021 06:48	15.4	27/09/2021 07:48	16.1
28/09/2021 06:03	11.1	28/09/2021 06:18	11.3	28/09/2021 06:33	11.6	28/09/2021 06:48	12.1	28/09/2021 07:03	12.8	28/09/2021 06:48	13.8	28/09/2021 06:48	14.2	28/09/2021 07:48	14.9
29/09/2021 06:03	10.8	29/09/2021 06:18	10.8	29/09/2021 06:33	11.1	29/09/2021 06:48	11.6	29/09/2021 07:03	12.1	29/09/2021 06:48	12.4	29/09/2021 06:48	12.8	29/09/2021 07:48	13.5
30/09/2021 06:03	12.2	30/09/2021 06:18	12.3	30/09/2021 06:33	12.7	30/09/2021 06:48	13.9	30/09/2021 07:03	14.6	30/09/2021 06:48	15.2	30/09/2021 06:48	16	30/09/2021 07:48	17.7
1/10/2021 06:03	11.4	1/10/2021 06:18	11.7	1/10/2021 06:33	12.3	1/10/2021 06:48	13.3	1/10/2021 07:03	13.5	1/10/2021 06:48	13.7	1/10/2021 06:48	14.1	1/10/2021 07:48	14.7
2/10/2021 06:03	11.3	2/10/2021 06:18	11.4	2/10/2021 06:33	11.9	2/10/2021 06:48	13.1	2/10/2021 07:03	14.4	2/10/2021 06:48	15.7	2/10/2021 06:48	17	2/10/2021 07:48	18.1
3/10/2021 06:03	14.5	3/10/2021 06:18	14.7	3/10/2021 06:33	14.7	3/10/2021 06:48	14.8	3/10/2021 07:03	15	3/10/2021 06:48	15.4	3/10/2021 06:48	15.9	3/10/2021 07:48	16
4/10/2021 06:03	14.6	4/10/2021 06:18	14.6	4/10/2021 06:33	14.7	4/10/2021 06:48	14.8	4/10/2021 07:03	15	4/10/2021 06:48	15.3	4/10/2021 06:48	15.9	4/10/2021 07:48	16.3
5/10/2021 06:03	14.8	5/10/2021 06:18	14.8	5/10/2021 06:33	14.8	5/10/2021 06:48	14.9	5/10/2021 07:03	15	5/10/2021 06:48	15.1	5/10/2021 06:48	15.2	5/10/2021 07:48	15.2
6/10/2021 06:03	15.3	6/10/2021 06:18	15.6	6/10/2021 06:33	15.5	6/10/2021 06:48	15.5	6/10/2021 07:03	15.3	6/10/2021 06:48	15.6	6/10/2021 06:48	15.5	6/10/2021 07:48	15.5
7/10/2021 06:03	14.8	7/10/2021 06:18	14.9	7/10/2021 06:33	15.1	7/10/2021 06:48	15.3	7/10/2021 07:03	15.7	7/10/2021 06:48	15.8	7/10/2021 06:48	16.2	7/10/2021 07:48	16.3
8/10/2021 06:03	15.2	8/10/2021 06:18	15.4	8/10/2021 06:33	15.6	8/10/2021 06:48	15.6	8/10/2021 07:03	15.7	8/10/2021 06:48	16	8/10/2021 06:48	16.2	8/10/2021 07:48	16.5
9/10/2021 06:03	13.6	9/10/2021 06:18	13.7	9/10/2021 06:33	14.6	9/10/2021 06:48	15	9/10/2021 07:03	15.2	9/10/2021 06:48	16.3	9/10/2021 06:48	16.6	9/10/2021 07:48	16.6
10/10/2021 06:03	14.9	10/10/2021 06:18	15.1	10/10/2021 06:33	15.5	10/10/2021 06:48	15.9	10/10/2021 07:03	15.9	10/10/2021 06:48	16	10/10/2021 06:48	16.6	10/10/2021 07:48	17.4
11/10/2021 06:03	15.4	11/10/2021 06:18	15.4	11/10/2021 06:33	16	11/10/2021 06:48	16.2	11/10/2021 07:03	16.7	11/10/2021 06:48	16.8	11/10/2021 06:48	17.4	11/10/2021 07:48	17.7
12/10/2021 06:03	12.8	12/10/2021 06:18	12.9	12/10/2021 06:33	13.3	12/10/2021 06:48	13.5	12/10/2021 07:03	13.7	12/10/2021 06:48	14.1	12/10/2021 06:48	14.4	12/10/2021 07:48	14.9
13/10/2021 06:03	14.8	13/10/2021 06:18	14.9	13/10/2021 06:33	15	13/10/2021 06:48	15.2	13/10/2021 07:03	15.5	13/10/2021 06:48	16.1	13/10/2021 06:48	16.9	13/10/2021 07:48	18
14/10/2021 06:03	16.2	14/10/2021 06:18	16.2	14/10/2021 06:33	16.3	14/10/2021 06:48	16.5	14/10/2021 07:03	16.5	14/10/2021 06:48	16.9	14/10/2021 06:48	17.4	14/10/2021 07:48	18.1
15/10/2021 06:03	14.2	15/10/2021 06:18	14.3	15/10/2021 06:33	14.6	15/10/2021 06:48	15.1	15/10/2021 07:03	15.5	15/10/2021 06:48	16.1	15/10/2021 06:48	16.5	15/10/2021 07:48	17.3
16/10/2021 06:03	14.6	16/10/2021 06:18	14.2	16/10/2021 06:33	14.4	16/10/2021 06:48	14.6	16/10/2021 07:03	14.7	16/10/2021 06:48	14.9	16/10/2021 06:48	15.2	16/10/2021 07:48	15.4
17/10/2021 06:03	14.7	17/10/2021 06:18	14.8	17/10/2021 06:33	15	17/10/2021 06:48	15.2	17/10/2021 07:03	15.6	17/10/2021 06:48	16.6	17/10/2021 06:48	17.5	17/10/2021 07:48	17.4
18/10/2021 06:03	13.6	18/10/2021 06:18	13.7	18/10/2021 06:33	14	18/10/2021 06:48	14.5	18/10/2021 07:03	14.8	18/10/2021 06:48	15.3	18/10/2021 06:48	15.9	18/10/2021 07:48	16.7
PROMEDIO	13.84	PROMEDIO	13.93	PROMEDIO	14.20	PROMEDIO	14.56	PROMEDIO	14.85	PROMEDIO	15.24	PROMEDIO	15.67	PROMEDIO	16.16

## ANEXO 5. Análisis del pH de la mezcla estiércol – agua

**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”**

**CARTA N° 01 - 2022**

Chachapoyas 2 de setiembre del 2022

**ASUNTO:**

Yo, Jesús Rascón Barrios, responsable del Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas, avalo que la tesista Analith Altamirano Cubas, identificada con DNI N° 77355775, egresada de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental, realizó sus análisis de pH de una muestra de mezcla de agua: estiércol el día 07 de setiembre del 2021 en el Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas del INDES-CES.

Atentamente:  
  
M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS

M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS  
Responsable del Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas