

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**INFLUENCIA DE INÓCULOS DE MELAZA Y HARINA DE  
TARA (*Caesalpinia spinosa*) EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS  
A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO**

**Autor: Bach. Garcia Saldaña, Euler Willan**

**Asesor: Ing. Gosgot Angeles, Wildor**

Registro: ....

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2022**

**DATOS DEL ASESOR**

**Ing. Wildor Gosgot Angeles**

**DNI N°: 70156443**

**Registro ORCID: 0000-0002-7301-2809**

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

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

**1.05.00 – Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales**

**1.05.08 – Ciencias del medio ambiente**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mis padres, hermanos y amigos, quienes me apoyaron incondicionalmente y con su persistencia, paciencia y sabiduría supieron forjar mi vida personal.

A mi asesor Wildor Gosgot Angeles quien fue fundamental para la realización de esta investigación, a mis jurados de tesis y a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

A todas las personas que de alguna u otra manera me apoyaron y fueron imprescindible durante mi formación profesional.

Willan

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios; por darme la sabiduría suficiente y haberme guiado durante toda mi formación profesional. A mis progenitores: Luis García y Esperanza Saldaña, a mis hermanos: Wilder y Juan. A mi asesor Wildor Gosgot quien con sus conocimientos fue fundamental para realizar este trabajo de investigación, a mis jurados quienes con sus observaciones, comentarios y sugerencias contribuyeron a realizar con éxito este trabajo de investigación. A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por darme la oportunidad ser un buen profesional y a todas las personas que me ayudaron a superar los diferentes obstáculos que encontré durante el desarrollo de esta investigación.

Willan

**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**

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

**Decano de la Facultad de Ingeniería  
Civil y Ambiental**

## VISTO BUENO DEL ASESOR 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 Influencia de inoculos de melaza y harina de tara (Caesalpinia spinosa) en la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno del egresado Euler Wilton Garcia Sandoña 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, 12 de Agosto del 2022

Firma y nombre completo del Asesor

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



---

**Ligia Magali García Rosero, PhD**  
**Presidenta**



---

**Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz**  
**Secretario**



---

**Ing. Eli Morales Rojas**  
**Vocal**

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD LA TESIS



UNTRM

### REGLAMENTO GENERAL

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

#### ANEXO 3-0

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

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

Influencia de inóculos de melaza y harina de tara (*Carsalphia spinosa*)

en la producción de biogás a partir de estiércol de ganado Vacuno

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Euler Wilian García Saldaña

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 9684030051@untrm.edu.pe

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

- a) La citada Tesis tiene 11 % 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.
- 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, 02 de Septiembre del 2022

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 3-5

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

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de Septiembre del año 2022, siendo las 12:00 horas, el aspirante: Eden William García Saldaña, asesorado por Gosgot Angeln Wilder, defiende en sesión pública presencial (  ) / a distancia (  ) la Tesis titulada: Influencia de inóculos de melaza y harina de Tona (Caesalpinia spirosa) en la producción de biogas a partir de estiercol de ganado vacuno, 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: Ligia Rozale García Rozero  
Secretario: Segundo Manuel Oliva Cruz  
Vocal: Eli Morales Rojas

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 12:59 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## ÍNDICE GENERAL

DATOS DEL ASESOR .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	VI
VISTO BUENO DEL ASESOR LA TESIS.....	VII
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	VIII
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD LA TESIS .....	IX
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	X
ÍNDICE GENERAL .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. MATERIALES Y METODOS .....	8
2.1 Área de estudio .....	8
2.2 Material biológico.....	9
2.3 Sustratos de la digestión anaeróbica .....	9
2.3.1 Harina de tara ( <i>Caesalpinia spinosa</i> ). .....	9
2.3.2 Melaza.....	10
2.3.3 Estiércol de ganado vacuno .....	10
2.4 Sistema Experimental .....	11
2.5 Implementación del sistema experimental.....	12
2.6 Tratamientos de producción de biogás .....	12
2.7 Medición del pH .....	14
2.8 Medición de la temperatura .....	15
2.9 Medición de solidos totales .....	15

2.10 Medición del volumen y contenido de metano del biogás.....	16
2.11 Análisis de datos .....	17
2.12 Análisis estadístico del volumen de biogás producido .....	18
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 Construcción del montaje experimental para producción de biogás a nivel laboratorio .....	19
3.2 Evaluación de la influencia de los inóculos en la producción de biogás por sistemas y tratamientos.....	22
3.3 Evaluación de parámetros fisicoquímicos y ambientales que influyen en la digestión anaerobia. ....	35
3.4 Tiempo de inicio de la producción y cuantificación total de biogás .....	40
<b>IV. DISCUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Proporciones de sustrato por cada tratamiento .....	12
<b>Tabla 2</b> Valores de pH inicial .....	14
<b>Tabla 3</b> Valores de solidos totales (%) .....	16
<b>Tabla 4</b> Composición de biogás .....	17
<b>Tabla 5</b> Diferencias de producción de biogás entre los sistemas.....	20
<b>Tabla 6</b> Producción de biogás según el tipo de sistema y hora de medición .....	21
<b>Tabla 7</b> Producción de biogás para el sistema de calefacción controlado evaluado por tratamientos.....	22
<b>Tabla 8</b> Producción de biogás para el sistema de calefacción controlado por tratamientos y hora de medición.....	24
<b>Tabla 9</b> Producción de biogás para el sistema de calefacción solar .....	29
<b>Tabla 10</b> Producción de biogás para el sistema de calefacción solar de acuerdo a la hora de medición.....	31
<b>Tabla 11</b> Valeres de pH.....	38
<b>Tabla 12</b> Valores de solidos totales (%) .....	38
<b>Tabla 13</b> Valores de metano en la producción de biogás.....	39
<b>Tabla 14</b> Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 07:00 horas .....	53
<b>Tabla 15</b> Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 13: horas .....	55
<b>Tabla 16</b> Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 18:00 horas .....	57
<b>Tabla 17</b> Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 07:00 horas..	59
<b>Tabla 18</b> Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 13:00 horas...	61
<b>Tabla 19</b> Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 18:00 horas...	63
<b>Tabla 20</b> Datos de irradiación kW/ m <sup>2</sup> y temperatura °C .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación del laboratorio experimental .....	8
<b>Figura 2</b> Materia prima harina de tara (Caesalpinia spinosa) .....	10
<b>Figura 3</b> Materia prima melaza.....	10
<b>Figura 4</b> Estiércol de Ganado vacuno del establo de la UNTRM y agua de lluvia .....	11
<b>Figura 5</b> Sistema experimental para producir y medir el volumen de biogás. ....	11
<b>Figura 6</b> Sistema de calefacción controlado con regulador de temperatura- termostato STC-100.....	13
<b>Figura 7</b> Biodigestores en el laboratorio de campo .....	14
<b>Figura 8</b> Construcción del montaje experimental para producir biogás .....	19
<b>Figura 9</b> Comparación del volumen promedio de biogás de los sistemas.....	20
<b>Figura 10</b> Producción de biogás según el tipo de sistema y horas de medición.....	21
<b>Figura 11</b> Producción de biogás por tratamientos evaluados con calefacción controlado .....	23
<b>Figura 12</b> Producción de biogás por tratamiento y hora de medición con calefacción controlado .....	24
<b>Figura 13</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 07:00 horas con calefacción controlado .....	25
<b>Figura 14</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación .....	26
<b>Figura 15</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 13:00 horas con calefacción controlado .....	26
<b>Figura 16</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación .....	27
<b>Figura 17</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 18: 00 horas con calefacción controlado .....	28
<b>Figura 18</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante los 43 días de evaluación.....	28
<b>Figura 19</b> Producción de biogás por tratamiento evaluado con calefacción solar.....	30
<b>Figura 20</b> Producción de biogás por tratamiento y hora de medición .....	32
<b>Figura 21</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 07:00 horas con calefacción solar.....	32
<b>Figura 22</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación .....	33

<b>Figura 23</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 13:00 horas con calefacción solar.....	33
<b>Figura 24</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación .....	34
<b>Figura 25</b> Comportamiento de la producción de biogás a las 18: horas con calefacción solar.....	34
<b>Figura 26</b> Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación .....	35
<b>Figura 27</b> Comportamiento de las temperaturas (°C) en función a la irradiación Kw/m <sup>2</sup> .....	37
<b>Figura 28</b> Producción promedio de biogás en función del pH con calefacción controlado .....	37
<b>Figura 29</b> Producción promedio de biogás en función del pH con calefacción solar....	37
<b>Figura 30</b> Producción promedio de biogás en función a los sólidos totales con calefacción controlado .....	38
<b>Figura 31</b> Producción promedio de biogás en función a los sólidos totales con calefacción solar .....	38
<b>Figura 32</b> Producción de metano (CH <sub>4</sub> ) por sistemas y tratamientos.....	39
<b>Figura 33</b> Volumen de biogás en mL durante 43 días de digestión anaerobia con calefacción controlado .....	41
<b>Figura 34</b> Volumen de biogás en mL durante 43 días de digestión anaerobia con calefacción solar .....	42
<b>Figura 35</b> Figuras del Experimento .....	69

## RESUMEN

La gestión de residuos orgánicos a través de la digestión anaeróbica es una alternativa de valorización energética. La investigación se enfocó evaluar la producción de biogás con diferentes inóculos. Para ello se implementaron dos tipos de sistemas; el primero se efectuó mediante un sistema de calefacción controlado con un termostato STC-1000, mientras que el segundo fue con sistema de calefacción solar bajo un cilindro parabólico de policarbonato. El experimento se realizó a nivel de laboratorio con biodigestores de botellas PET de 3 L, el biogás producido se recolecto con la técnica de desplazamiento de agua en botellas de 3 L calibradas cada 50 ml, durante 43 días. Se trabajó con inóculos de las siguientes concentraciones de estiércol: agua (1:5,1:2,1:3) mezclados con harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y melaza. Los resultados determinaron que el sistema de calefacción controlado con el termostato genero 619.6 mL/día de biogás mientras que el otro sistema produjo 610.9 mL/día. Por otro lado, el T1 en ambos sistemas tuvieron mayor volumen promedio de biogás, en cuanto al (CH<sub>4</sub>) se obtuvo 76.9% lo cual permite que la producción de biogás con una alta concentración de metano que en futuras aplicaciones pueden ser enfocadas al uso residencial o industrial impulsando al desarrollo económico social y ambiental.

**Palabras claves:** Harina de tara (*Caesalpinia spinosa*), tiempo de retención hidráulica, metano, melaza

## ABSTRACT

The management of organic waste through anaerobic digestion is an alternative for energy recovery. The research focused on evaluating the production of biogas with different inoculums. For this purpose, two types of systems were implemented; the first one was carried out with a heating system controlled by an STC-1000 thermostat, while the second one was a solar heating system under a polycarbonate parabolic cylinder. The experiment was carried out at laboratory level with 3 L PET bottle biodigesters, the biogas produced was collected with the water displacement technique in 3 L bottles calibrated every 50 ml, during 43 days. Inoculums of the following manure concentrations were used: water (1:5, 1:2, 1:3) mixed with tara flour (*Caesalpinia spinosa*) and molasses. The results determined that the thermostat-controlled heating system generated 619.6 mL/day of biogas while the other system produced 610.9 mL/day. On the other hand, T1 in both systems had a higher average volume of biogas, in terms of (CH<sub>4</sub>) 76.9% was obtained, which allows the production of biogas with a high concentration of methane that in future applications can be focused on residential or industrial use, promoting social and environmental economic development.

**Key words:** Tara flour (*Caesalpinia spinosa*), hydraulic retention time, methane, molasses.

## I. INTRODUCCIÓN

Las preocupaciones ambientales, causadas por los gases de efecto invernadero, provenientes de la descomposición de desechos orgánicos y el potencial agotamiento de los combustibles fósiles, han aumentado la demanda de fuentes energéticas de origen renovable (Makul *et al.*, 2021). Una de estas alternativas es el biogás ya que es una fuente de energía alternativa atractiva debido a que presenta una disponibilidad energética descentralizada, en tanto que su producción es posible siempre que existan fuentes de origen orgánico (Kriauciunas *et al.*, 2021). El biogás se considera una de las soluciones alternativas que podría reducir el uso de combustibles fósiles y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, debido a que es un combustible alternativo con un ciclo de carbono corto (Pukalskas *et al.*, 2021). El biogás está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), adicionalmente se encuentran trazas de ácido sulfhídrico, agua y monóxido de carbono (CO) (Balseca y Cabrera, 2011).

Uno de los sustratos para producción de biogás es el estiércol de ganado vacuno, para tal fin este sustrato es sometido a condiciones anaerobia (León, *et al.*, 2019). Este proceso es conocido como biodigestión, la cual consiste en la transformación biológica del sustrato en donde intervienen microorganismos anaeróbicos (Proaños y Andrea, 2017). Los productos de este proceso es biogás y biol, que en condiciones normales se puede generar 5m<sup>3</sup> de gas metano cada 48 horas, con un tiempo de retención de 30 días con cargas inter diarias de 0.5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol con agua con relación de 1:3, y también obteniéndose biol a partir de los 30 días del proceso, luego de 12 días de iniciado la producción de biogás se obtiene una composición promedio de 58% de CH<sub>4</sub> y 37.6% de CO<sub>2</sub> (Fernández *et al.*, 2014).

Los factores que intervienen en la digestión anaerobia es el pH, el cual juega un papel importante ya que está asociado al control de basicidad o acidez del sustrato, el valor del pH optimo debe de estar en un rango de 6.8 a 7.5 unidades según lo sostiene Orobio *et al.*, (2014). Por otra parte, Sañudo *et al.*, (2016), determinaron que el estiércol de ganado presenta valores de pH entre 5.5 a 8.0, lo cual ha sido mezclado con inóculo lodos con pH ácidos (5.5 - 6.0), obteniendo una menor producción de metano, en comparación a las mezclas con pH cercanos a la neutralidad. También estudiaron la cogestión de la cebolla y estiércol de ganado vacuno con pH 5.76, lo cual conllevó a una baja producción de

biogás; sin embargo, cuando se agregan soluciones buffer de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -  $\text{NH}_4\text{OH}$  el pH aumenta a valores de 9.39 y 9.48 en consecuencia existe una mayor producción de biogás. Además de la codigestión de diferentes sustratos, existen inóculos para la aceleración de los procesos de descomposición de los residuos orgánicos, por ejemplo, el estudio realizado por Sanclemente *et al.*, (2011), utilizan la melaza como acelerador de descomposición de residuos orgánicos para la producción de biogás. Por su parte, Lius *et al.*, (2009), utilizaron alimentos y desechos verdes en proporción de 50 % de cada sustrato en la fermentación anaeróbica para producir biogás a temperaturas mesofílicas 35 °C y termofílicas 50 °C, obteniendo como resultado la digestión termofílica tuvo mayor rendimiento que mesofílica después de los 25 días de tiempo de retención.

En el trabajo realizado por Fajardo *et al.*, (2007), empleó la melaza de la caña de azúcar como sustrato para la producción de hongo de la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), para ello realizaron cultivos utilizando diferentes concentraciones de melaza de caña (10%,20%,30% (p/v)), lo cual obtuvieron mayor crecimiento de biomasa a una concentración del 20% (p/v) de melaza de caña de azúcar con un pH inicial de 5, a una temperatura de 30°C durante un periodo de tiempo de 20 horas.

Existen trabajos de producción de biogás a nivel laboratorio, donde han utilizado diferentes relaciones de sustrato de biomasa como por ejemplo Barrena *et al.*, (2017). Trabajaron con relación estiércol: agua de 1:5 asociada con un 4% (v/v) de suero y 3% (p/v) de totora, en este caso al incrementarse la mayor cantidad de estiércol y de totora pero disminuyendo el suero se logra una buena producción de biogás, también se han realizado investigaciones empleando una relación de agua estiércol 1:2, el agua de desagüe que a mayores volúmenes a lo establecido por la escala evaluada no aporta a la producción de biogás y con respecto a las cáscaras de papa a mayores cantidades se obtiene una mayor eficiencia de producción.

Así mismo evaluaron la producción de biogás a escala piloto donde instalaron un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 12 m<sup>3</sup>, con 9 m<sup>3</sup> de volumen de trabajo. El biodigestor fue alimentado con mezclas de estiércol: agua en la proporción de 1: 5, el tiempo de retención hidráulico fue de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14. 4 °C. En donde el biogás producido satisface la demanda como combustible para la cocción diaria de los alimentos de una familia (Barrena *et al.* (2017).

Según Castro *et al.*, (2020) evaluaron estiércol vacuno con residuos de cosecha de tomate en proporciones 50:50 estiércol: residuos con un pH inicial de 7.5 y un tiempo de retención de 150 días a temperaturas de 30°C donde emplearon biodigestores de 3 litros de capacidad con un volumen de trabajo de 2.4 L consideraron que fue el mejor sistema para producir biogás obteniéndose un 45% de metano que es el mínimo para utilizarse como combustible.

Del mismo modo en el trabajo por Guerra *et al.*, (2012), evaluaron la producción de biogás a nivel laboratorio donde utilizaron diferentes proporciones de sustratos trabajando con una relación de 1:1 estiércol de vacuno: residuos agroindustriales torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno, como biodigestores utilizaron botellas de plástico de 1750 mL, el biogás producido lo recolectaron por desplazamiento de agua en botellas calibradas de 260 ml durante un tiempo de retención hidráulica de 35 días obteniendo como resultado que la producción es más alta con la mezcla, estiércol: cascarilla de arroz de (50:50) y en la relación de dilución, mezcla: agua (33.3:66.6), el cual generó una producción de 2735 ml de biogás/ kg con un contenido de metano de 48.9% presentando condiciones favorables para usarse como combustible.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de los inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) en la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno a nivel de laboratorio; y como objetivos específicos tenemos. Construir un montaje experimental de biodigestores para la producción de biogás a nivel de laboratorio con un sistema de calefacción, Evaluar la influencia de los inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) en la producción de biogás teniendo en cuenta las proporciones de sustrato e inóculo presentes dentro del sistema, determinar los parámetros fisicoquímicos de la mezcla estiércol, inóculo y agua y finalmente calcular la producción de biogás y el tiempo de retención según las proporciones de estiércol, inóculo y agua.

## II. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en estación experimental del Proyecto de Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) de la ciudad de Chachapoyas que está ubicado a una altitud de 2360 m.s.n.m y se caracteriza por un clima templado con una temperatura que oscila entre 9 °C a 23 °C y una precipitación promedio de 2489 milímetros (Figura 1).

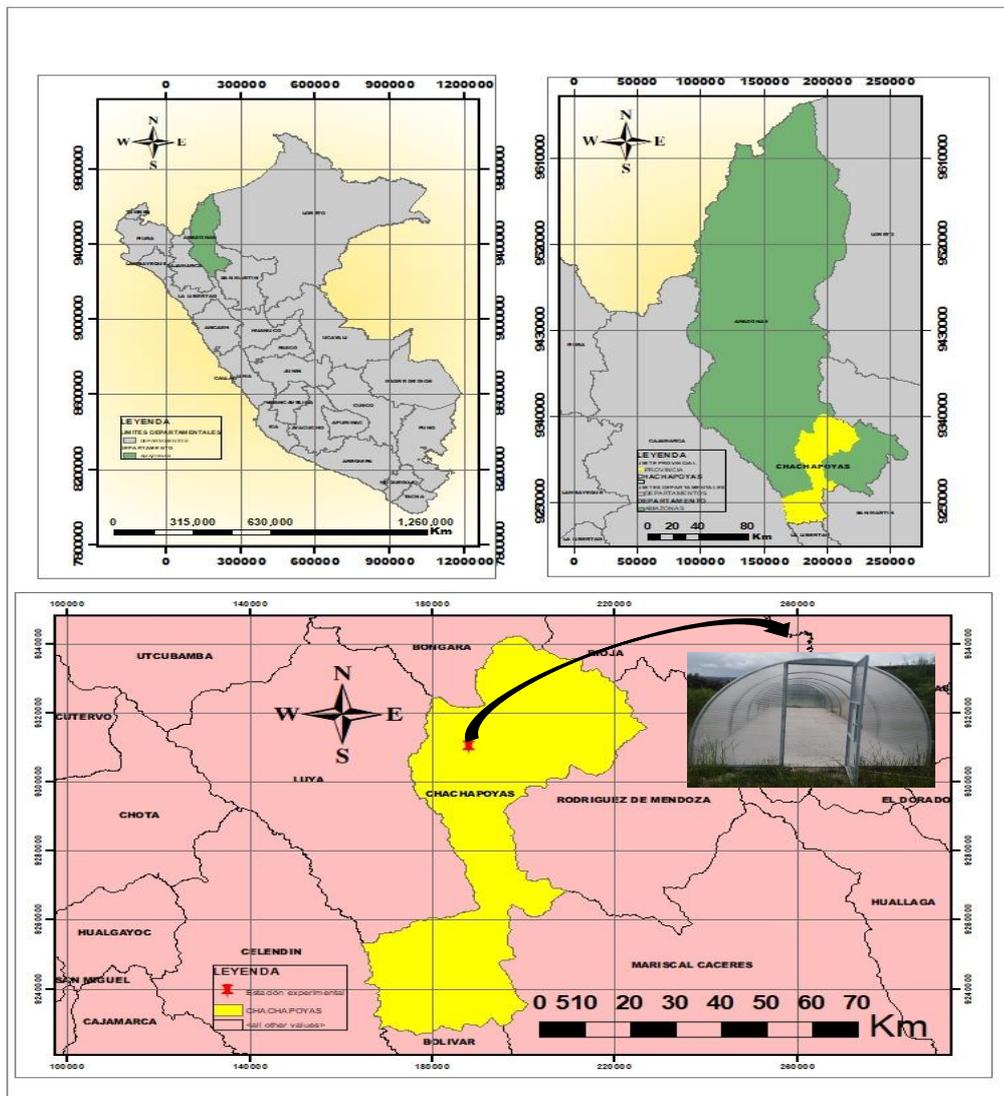


Figura 1 Mapa de ubicación del laboratorio experimental

## 2.2 Material biológico

El diseño experimental se realizó a escala laboratorio para evaluar la producción de biogás a partir de estiércol de vacuno y recolectar el metano producto de la digestión anaeróbica, así mismo se empleó la melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) como inóculo para incrementar la digestión anaerobia.

Determinación de variables

Las variables están representadas por:

$$X_1 \longrightarrow Y_1$$

X<sub>1</sub>: variable independiente. Representa la cantidad de sustrato, Cada tratamiento estuvo formado por proporciones diferentes de estiércol de vacuno, agua, melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*).

Y<sub>1</sub>: Variable dependiente. Representa el volumen de biogás, que se obtuvo en los tratamientos a partir del proceso de digestión anaeróbica.

## 2.3 Sustratos de la digestión anaeróbica

### 2.3.1 Harina de tara (*Caesalpinia spinosa*).

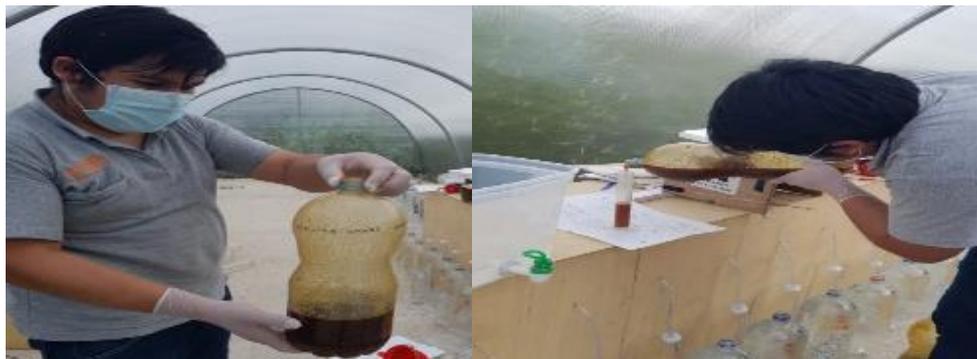
Para la obtención de la harina de la tara (*Caesalpinia spinosa*) nos basamos en la metodología De la Cruz, (2004). Del lugar de Limon Punta perteneciente a la ciudad de Chachapoyas se recolecto tres kilogramos aproximadamente de tara (*Caesalpinia spinosa*) con todo cascara , luego se procedió a extraer el grano, una vez obtenido el producto se realizó el secado en el (cilindro tubular- cilindro parabólico de policarbonato) hasta extraer toda la humedad, una vez seco el grano se procedió a realizar proceso mecánico simple de trituración mediante un molino manual, posteriormente se realizó la separación de la harina con material residual a través de un tamiz número 12 obteniendo como producto unas partículas finas de coloración amarilla clara como se muestra en la (Figura 2). Donde, la ilustración (**A**) es al momento de la cosecha, **B** es el grano extraído de la tara y **C** es la harina de producto final listo para ser utilizado



**Figura 2** *Materia prima harina de tara (Caesalpinia spinosa)*

### 2.3.2 Melaza.

La melaza que se utilizó fue proveniente de Pedro Ruiz, el proceso que se ejecutó para su obtención es el siguiente. Se realizó un proceso de extracción físico (molienda) para obtener el jugo, esto se realizó cuando la caña de azúcar ha alcanzado su estado adecuado de madurez (6 meses), el jugo de caña se sometió a un proceso de ebullición hasta lograr una concentración de azúcar elevada conocida como melaza (figura 3).



**Figura 3** *Materia prima melaza*

### 2.3.3 Estiércol de ganado vacuno

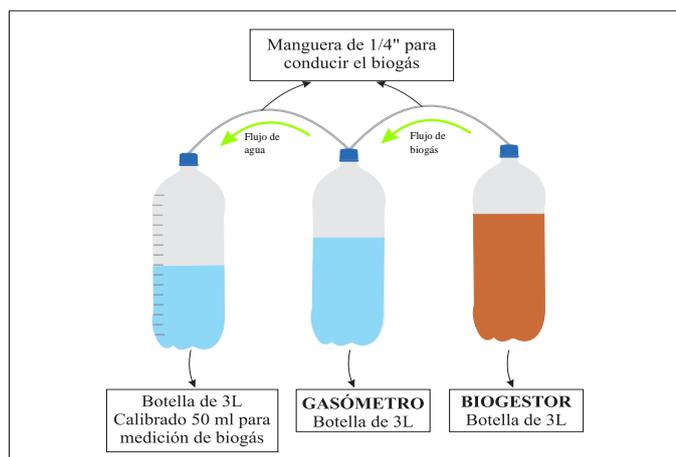
El estiércol fresco de vacuno empleado se obtuvo del establo del campus universitario de la UNTRM se recogió en un balde el mismo día que se realizó la carga de los biodigestores ilustración **A**, y para mezclar el estiércol con los demás sustratos se utilizó agua de lluvia ilustración **B**, se puede apreciar en la (Figura 4).



**Figura 4** Estiércol de Ganado vacuno del establo de la UNTRM y agua de lluvia

## 2.4 Sistema Experimental

El arreglo experimental de investigación consistió en la implementación de biodigestores a nivel de laboratorio que fue adaptado de Barrena, (2010). Para lo cual se empleó 36 biodigestores tipo batch, 36 gasómetros y 36 recipientes calibrados cada 50 mL para medición del biogás, estos depósitos utilizados fueron envases de polietileno Tereftalato (PET) de 3 L. en la (figura 5) se muestra la conexión entre el biodigestor el gasómetro y el medidor de biogás, el cual fue conectado mediante una manguera de 1/4 de pulgada, interconectada desde el borde de la tapa del biodigestor para permitir el pase del biogás hacia el gasómetro y finalmente a este último se realizó dos orificios de 6mm uno para la entrada del biogás y el otro para el desplazamiento del agua que desemboca en el tercer envase.



**Figura 5** Sistema experimental para producir y medir el volumen de biogás.

## 2.5 Implementación del sistema experimental

Los biodigestores (botellas PET) con capacidad de 3 L se llenaron al 75 % de su capacidad, y las tapas se mantuvo de manera hermética cubiertas con silicona y atado con una cámara para evitar la fuga de gas. Los biodigestores fueron cargados de acuerdo a la distribución de valores de las variables como se muestra en la (tabla1). Para el pesado del estiércol y la harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) se utilizó en una balanza marca OHAUS (Anexo 3), mientras que la melaza y el agua se midió el volumen con una probeta graduada. Se tomo en cuenta la relación 1 litro de agua es igual a un 1 kg.

**Tabla 1**

*Proporciones de sustrato por cada tratamiento*

Tratamientos	Variables				Capacidad útil del biodigestor mL	
	Harina de tara ( <i>Caesalpinia spinosa</i> )					
	Estiércol	Melaza	Agua			
	g	mL	g	mL		
A	T <sub>1</sub>	400	300	30	2000	2800
	T <sub>2</sub>	400	120	18	1200	2800
	T <sub>3</sub>	400	40	12	800	2800
B	T <sub>4</sub>	400	-	-	2000	2800
	T <sub>5</sub>	400	-	-	1200	2800
	T <sub>6</sub>	400	-	-	800	2800

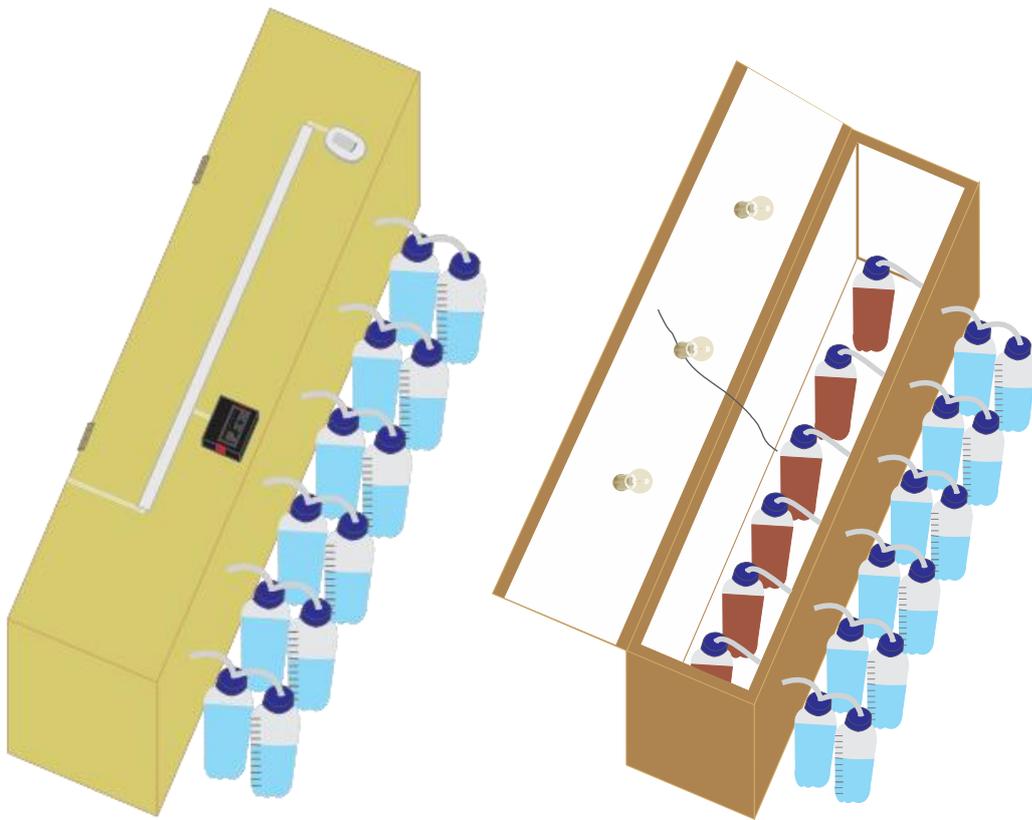
*Nota.* Para evaluar el rendimiento se trabajó con diferentes relaciones de sustratos estiércol: agua de (1: 5), (1:3) y (1:2), El grupo A estaban asociadas a (v/v) de melaza y (p/p) de harina de tara (*Caesalpinia spinosa*), mientras que el grupo B solo con relación estiércol: agua. Cabe recalcar que los dos grupos se sometieron a las mismas condiciones de temperatura.

## 2.6 Tratamientos de producción de biogás

En la investigación se realizó en dos sistemas operando con 6 tratamientos y 3 repeticiones, en donde se realizó la combinación de diferentes concentraciones de harina de tara (*Caesalpinia spinosa*), melaza y estiércol de ganado vacuno. Estos sustratos fueron sometidos a dos tipos de condiciones de temperatura, el primero fue

desarrollado con sistema controlado por un termostato, y el segundo bajo el ambiente de un sistema tubular que optimiza la concentración de calor.

El primer sistema con 6 tratamientos con 3 repeticiones estuvo con un sistema de calefacción controlado a temperaturas 25°C a 35° que está regulado mediante un termostato de marca STC -1000 El montaje experimental se construyó una caja rectangular triplay que contaba con las dimensiones de 3 metros de largo por 40 cm de ancho y 60 cm de alto este estaba aislado con tecnopor por dentro y contaba con tres focos para dar calor de manera continua (Figura 6).



**Figura 6** Sistema de calefacción controlado con regulador de temperatura-termostato STC-100

Mientras que el segundo sistema con 6 tratamientos con sus respectivas 3 repeticiones estuvo bajo un sistema tubular- cilindro parabólico de policarbonato. Ubicado en la estación experimental del Proyecto de Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja (INDES-CES), la cual este cilindro parabólico está construido con base de cementó, armazón de fierro y techo de policarbonato (Figura 7).



**Figura 7** Biodigestores en el laboratorio de campo

## 2.7 Medición del pH

Según Orobio *et al.*, (2014) recomienda para que exista un correcto funcionamiento del sistema, se debe tener en cuenta parámetros como el pH rango optimo debe de estar entre 6.8-7.5 ya que de esto depende que las bacterias metalogénicas trabajen tengan mayor eficiencia en la digestión anaerobia. Para realizar la medición se utilizó el pH-metro marca: Multi 3620 IDS (Anexo3) se midió el pH de cada sustrato antes de realizar cargar a los biodigestores, así mismo se realizó la medición de cada tratamiento (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Valores de pH inicial*

Muestras (Tratamientos)	pH inicial
Agua	7.27
Estiércol	7.60
Melaza	4.98
Harina de tara ( <i>Caesalpinia spinosa</i> )	5.90
T1	6.5
T2	7.00
T3	6.8
T4	6.6
T5	6.5
T6	6.6

## 2.8 Medición de la temperatura

Teniendo en cuenta a Huanuco, (2020) menciona que la actividad biológica dentro del proceso de digestión depende de la temperatura, por tal razón la producción del biogás también depende de esta variable. A medida que la temperatura aumenta, aumenta la velocidad del crecimiento de los microorganismos acelerando el proceso de digestión, y de esta forma da lugar a una producción mayor de biogás. Para iniciar con el proceso de la digestión anaerobia se necesita una temperatura de 4°C a 5°C como mínimo y no debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C (Bragachini *et al.*, 2010). Los microorganismos anaeróbicos por lo general trabajan en tres rangos de temperatura Psicofílica 15°C a 18°C con un tiempo de fermentación de 100 días, Mesofílica 25°C a 35°C tiempo de retención de 30 a 60 días y las Termofílica 50°C a 60°C tiempo de fermentación 10 a 15 días de acuerdo a Carrasco (2015).

En la investigación se midió la temperatura del sistema con calefacción controlada y de la calefacción solar bajo el cilindro parabólico, esto se realizó las 3 veces al día al iniciar la recolección de datos. La temperatura máxima, mínima y registrada durante los 43 días de evaluación con respecto a los tratamientos con sistema de calefacción controlado fue 35.0°C y 25.0 °C, mientras que su temperatura máxima y mínima con calefacción solar es 51.3°C y 17.4°C a las 13: 00 horas y 7:00 horas del día respectivamente. El termómetro utilizado para el registro de la temperatura fue de marca BOECO Germany (Anexo 3) que mide temperaturas desde -50 a +70°C.

## 2.9 Medición de sólidos totales

Los sólidos totales están asociados a la materia orgánica en solución se considera a los residuos materiales que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra de materia prima se determina mediante el Método 2540-B. Sólidos Totales rango de secados 103°C – 105°C (Torres, 2006). Por otra parte, Abbassi Guendouz *et al.*, (2012), indica que la clasificación sólidos totales se realizan en función al porcentaje de ST contenidos en una muestra, proceso húmedo ( $\leq 10\%$  ST), proceso semiseco (10-20% ST) y proceso seco ( $\geq 20\%$  ST). Para biodigestores que operan con estiércol de vacuno se recomienda un valor óptimo de operación entre 10 y 12% de ST, lo cual permitiera que se tenga un mejor contacto entre las bacterias metalogénicas y el sustrato (Moncayo, 2013).

En el sistema experimental se determinó los sólidos totales en laboratorio teniendo en cuenta la metodología propuesta por Varnero, (2015), se extrajo una muestra

representativa de la mezcla con la que fue cargada a los biodigestores luego se trasladó al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza para ser analizada. Para dicho análisis se realizó siguiendo el procedimiento empleado por el laboratorio. Para calcular la concentración de STS se utiliza la siguiente fórmula. Obteniendo como resultados lo siguiente (Tabla 3).

$$\%ST = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

En donde:

ST: Concentración de sólidos totales (%)

M<sub>1</sub>: Peso fresco de la muestra (g)

M<sub>2</sub>: Peso estable de la muestra a 65°C (g)

**Tabla 3**

*Valores de sólidos totales (%)*

<b>Tratamientos</b>						
Sólidos totales (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	13.29	22.5	39.2	11.37	20.3	36.3

## 2.10 Medición del volumen y contenido de metano del biogás

Las mediciones del volumen de biogás. Fue diarias y durante 43 días, en tres periodos 07:00, 13:00, 18:00 horas, además fue registrada la temperatura de ambos sistemas. Para la medición de volumen del biogás producido se realizará por el método de desplazamiento de líquido el cual, según Barrena *et al.*, (2010); Parajuli (2011); Londoño (2017) y Olano (2018), consiste en conducir el biogás producido a través de una manguera hacia un recipiente o envase que contenga líquido y por de la presión que ejerce biogás producido sobre la superficie del líquido, este tiende a desplazarse hacia un recipiente. En la investigación se realizó la medición de biogás mediante inspección visual (Figura 14 -19). El volumen de agua desplazado en el gasómetro es equivalente al volumen de biogás producido por el equipo experimental.

Medición del contenido de metano del biogás en los biodigestores. Se realizó a los 30 días de fermentación, con la ayuda del equipo portátil analizador de biogás Multitec 545 de la marca Sewerin (Anexo 3), el cual mide CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S CO y O<sub>2</sub>, introduciendo en los biodigestores, el cual absorbía todos los gases presentes del

biodigestor, y el cual mostraba también el contenido de los gases en la pantalla digital en los siguientes rangos: 0.0-100% volumen CH<sub>4</sub>, 0-100% volumen CO<sub>2</sub>, 0-500% ppm CO, 0-25% volumen O<sub>2</sub> y 0-5000 ppm H<sub>2</sub>S, tomando solo para la investigación el contenido de metano ver (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Composición de biogás (%)*

Compuestos	Tratamientos											
	Calefacción controlada						Calefacción solar					
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
Metano (CH <sub>4</sub> )	76.9	10.1	7.3	51.3	4.6	4.0	56.2	3.7	2.1	32.4	12.8	6.7

### 2.11 Análisis de datos

Para el análisis estadístico, en esta investigación se planteó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). Con orden factorial de (2x6) de 2 bloques por 6 tratamientos con 3 repeticiones, con una evaluación de 3 veces por día durante un periodo de 43 días.

SISTEMAS	TRATAMIENTOS					
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
CON CALEFACCIÓN CONTROLADO	(1:5) M+HT	(1:2) M+HT	(1:3) M+HT	(1:5)	(1:2)	(1:3)
CON CALEFACCIÓN SOLAR	(1:5) M+HT	(1:2) M+HT	(1:3) M+HT	(1:5)	(1:2)	(1:3)

Nota.

Donde. (1:5), (1:3), (1:2); relación agua: sustrato

M: melaza de caña

HT: harina de tara (*Caesalpinia spinosa*)

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>...T<sub>6</sub>: tratamientos

## 2.12 Análisis estadístico del volumen de biogás producido

Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento para reducir el error estadístico, y se consideraron los datos obtenidos durante las 07:00, 13:00, 18:00 horas del día, como horas estratégicas con la finalidad de ver la variación, producción y comportamiento del biogás según las diferentes temperaturas, durante un tiempo de digestión anaerobia 43 días. El volumen recolectado en mililitros (mL) y la temperatura en grados centígrados (°C). Los datos se presentan en la que duro la evaluación (Tabla 14, 15, 16, 17, 18 y 19).

Donde:

$T_1, T_2, T_3, \dots T_6$ : son los tratamientos.

$R_1, R_2, R_3$ : son las repeticiones.

$PT_1, PT_2, PT_3, \dots PT_6$ : volumen promedio de las repeticiones por cada tratamiento.

tsc: temperatura del sistema con calefacción controlado tomada al iniciar la recolección de datos.

tss: temperatura del sistema con calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato tomada al iniciar la recolección de datos.

Para el análisis final de los resultados se consideraron los datos de ambos sistemas y las lecturas realizadas a las 07:00, 13:00, 18:00 horas del día para realizar la comparación entre sistemas, así mismo se realizó la comparación entre tratamientos y determinar si existe influencia de los inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) en la producción de biogás.

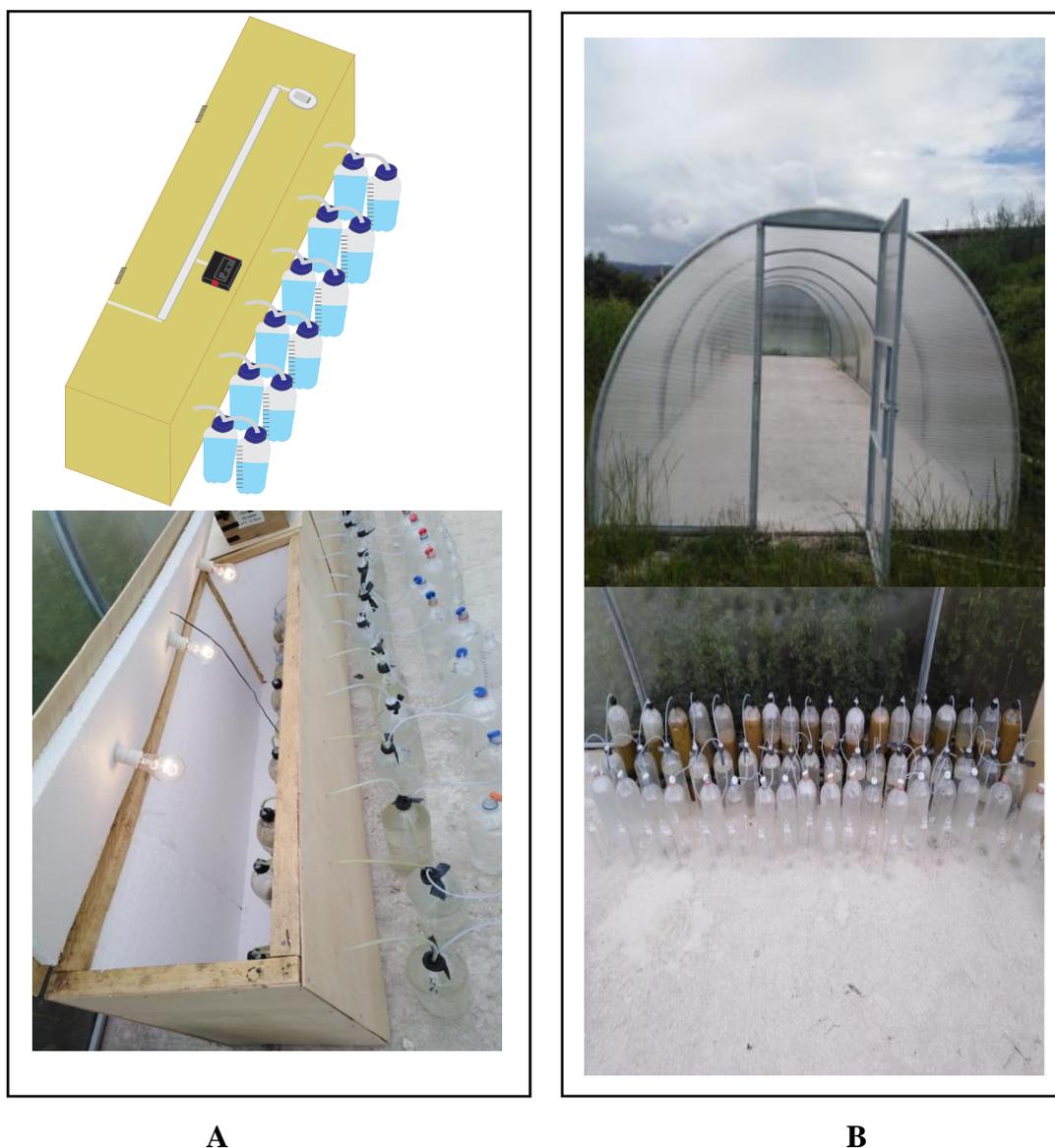
Todos los datos obtenidos se sometieron a una prueba de normalidad aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar qué pruebas estadísticas utilizar. Los análisis estadísticos se realizaron a un nivel de significación de  $p < 0.05$ , utilizando el software R versión 4.1.0, para determinar si existe diferencia de medias o medianas de producción de biogás entre los tratamientos se utilizó Kruskal-Wallis y para ver como son esas diferencias entre los tratamientos aplicamos el test de Conover que consiste en la comparación múltiple de medias o medianas. Por otro lado, para ver si existe diferencias de medias o medianas de producción de biogás entre los sistema se realizó mediante la prueba de test de Student.

### III.RESULTADOS

#### 3.1 Construcción del montaje experimental para producción de biogás a nivel laboratorio

##### a. Construcción del montaje experimental para producir biogás

*Nota.* En la figura 8 muestra el diseño y la construcción de los sistemas experimentales desarrollados en la investigación. La ilustración **A** corresponde al sistema con calefacción controlado con termostato, mientras que la ilustración **B** representa al sistema con calefacción solar.



**Figura 8** Construcción del montaje experimental para producir biogás

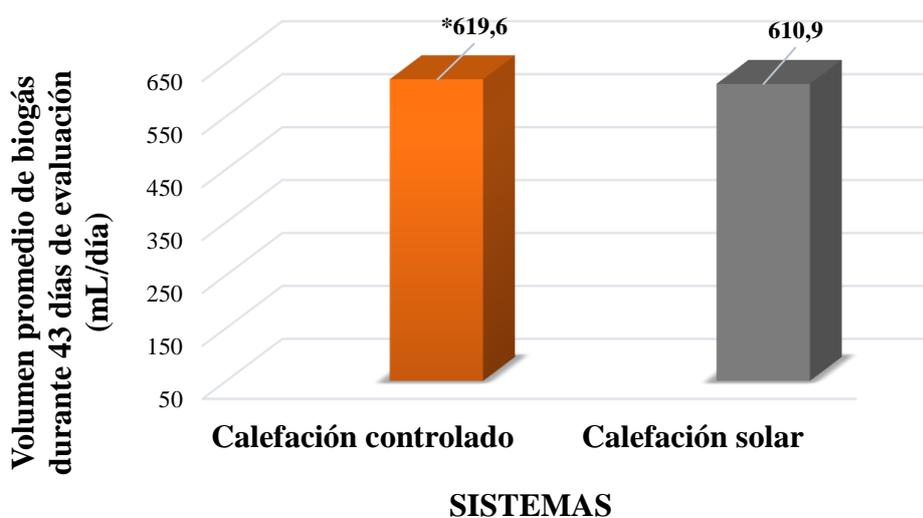
## b. Evaluación de la producción de biogás de los sistemas

*Nota.* En la tabla 5 se muestra que el sistema con calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato arrojó la mayor producción de biogás con un valor equivalente a 2350 mL/día, mientras que con el sistema con calefacción controlado mediante un termostato STC -1000, se obtuvo un equivalente de 2135 mL/día de biogás durante el tiempo de 43 días de evaluación.

**Tabla 5**

*Diferencias de producción de biogás entre los sistemas*

SISTEMAS	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación Estándar
Calefacción Controlado	0.0000	2135.0000	595.0000	619.6464	419.0511
Calefacción solar	0.0000	2350.0000	560.0000	610.8587	426.7527



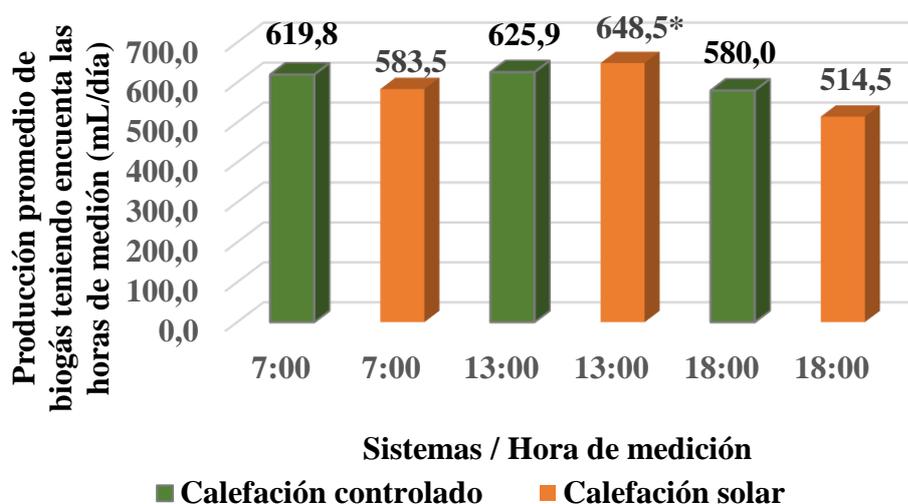
**Figura 9** Comparación del volumen promedio de biogás de los sistemas

*Nota.* El gráfico representa, que el sistema de calefacción controlado con un termostato, generó el mayor volumen promedio de biogás con un equivalente a \*619.6 mL/día en 43 días. Mientras que el sistema de calefacción solar (bajo el secador de policarbonato de policarbonato) produjo 610.9 mL/día el cual se puede observar no existe una diferencia significativa entre los dos sistemas, según la prueba de t de student con un intervalo de confianza de 95%, obteniendo como valores de  $t = 0.708$ ,  $df = 4640.5$ ,  $p\text{-value} = 0.479$  con una probabilidad de  $(P > 0.05)$ .

**Tabla 6***Producción de biogás según el tipo de sistema y hora de medición*

SISTEMAS	Hora de medición	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación Estándar
Calefacción Controlado	7:00	0.0000	1675.0000	600.0000	619.8088	395.6600
Calefacción Solar	7:00	0.0000	1650.0000	564.5000	583.5284	401.7932
Calefacción Controlado	13:00	0.0000	2135.0000	620.0000	625.8992	426.8970
*Calefacción Solar	13:00	0.0000	2350.0000	627.5000	648.4974	436.1411
Calefacción Controlado	18:00	0.0000	1605.0000	580.0000	613.2313	434.0479
Calefacción Solar	18:00	0.0000	2150.0000	514.5000	600.5504	439.1984

*Nota.* Esta tabla indica, que el \*sistema con calefacción solar bajo el secador parabólico de policarbonato alcanzó una máxima producción de biogás equivalente a 2350 mL/día, del mismo modo se obtuvo una mayor producción promedio de biogás de 648.4874 mL/día registrado a la 13:00 horas, mientras que el sistema con calefacción controlado se obtuvo una producción máxima de 2135 mL/día y una producción promedio de biogás de 625.8992 mL/día evaluado a las 13: 00 horas. Ambos sistemas fueron evaluados durante un periodo de 43 días de digestión anaerobia.

**Figura 10** *Producción de biogás según el tipo de sistema y horas de medición*

*Nota.* El gráfico da a conocer, que el \*sistema de calefacción solar fue el que mayor producción promedio de biogás se obtuvo con un valor equivalente a 648.5 mL /día registrado a las 13:00 horas con un tiempo de digestión anaerobia fue 43 días.

### 3.2 Evaluación de la influencia de los inóculos en la producción de biogás por sistemas y tratamientos

#### a) Producción de biogás con sistema de calefacción controlado

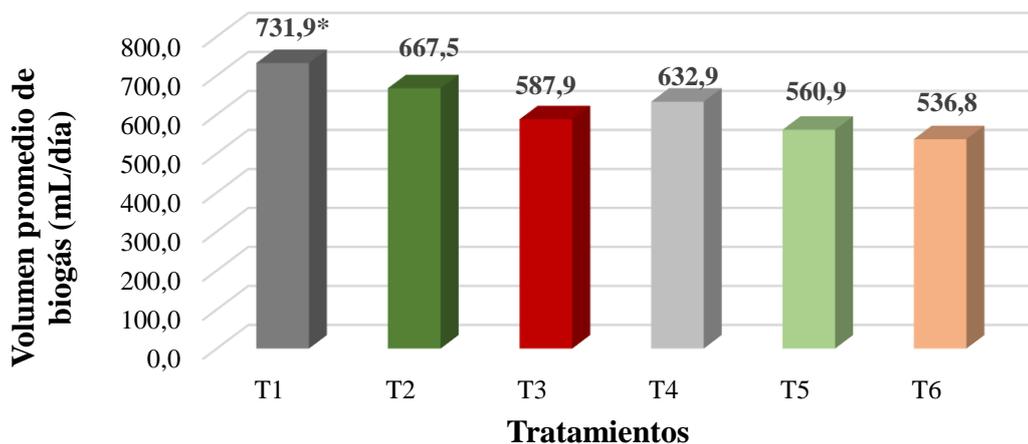
*Nota.* La tabla 7 indica, el grupo A. (T1, T2 y T3) está constituido por relación estiércol: aguas de (1:5), (1:2) y (1:3), respectivamente asociados a inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*). Mientras el grupo B. (T4, T5 y T6) está constituido solo por relación estiércol: aguas de (1:5), (1:2) y (1:1), respectivamente. Esto nos permitirá para hacer comparaciones entre los distintos grupos y sus tratamientos para determinar si existe influencia de los inóculos en los tratamientos evaluados.

El \*T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 gr (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*), y 300 mL (v/v) melaza) fue el tratamiento con el cual se alcanzó una máxima producción de biogás con un equivalente de 2135 mL/día. Si realizamos la comparación con el \*T4 que está constituido por relación (1:5) estiércol: agua (estiércol 400 g (p/p) y 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) pero en ausencia de inóculos se alcanzó una producción máxima de biogás de 1530 mL/día. Determinando que los inóculos utilizados influyen en cierta forma en la producción máxima de biogás.

**Tabla 7**

*Producción de biogás para el sistema de calefacción controlado evaluado por tratamientos*

Grupo	Tratamientos	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación Estándar
A	*T1	0.0000	2135.0000	785.0000	731.8656	464.9010
	T2	0.0000	1618.0000	670.0000	667.4987	419.9010
	T3	0.0000	1520.0000	575.0000	587.8682	388.0755
B	*T4	0.0000	1530.0000	625.0000	632.9432	426.1941
	T5	0.0000	1415.0000	490.0000	560.8630	397.1416
	T6	0.0000	1430.0000	500.0000	536.8398	383.4474



**Figura 11** Producción de biogás por tratamientos evaluados con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico indica, el tratamiento que mayor producción promedio de biogás fue el \*T1 que está compuesto por estiércol: agua en relación (1:5) asociado a inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) el cual se obtuvo una mayor producción media con un equivalente de 731.9 mL/días evaluados durante 43 días el tiempo de digestión anaerobia. Si realizamos la comparación con el T4 que estuvo compuesto por agua en relación (1:5) asociado a inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) pero en ausencia de inóculos, se obtuvo una producción promedio de 632.9 mL/día. Determinando que existe una diferencia significativa entre tratamientos mediante la prueba de Kruskal-Wallis con valores de un chi-cuadrado = 51.123, df = 5, p-value =  $8.161e^{-10}$  con una probabilidad de ( $P < 0.05$ ). Para ver como son las diferencias se utilizó Test de conover.

Tratamientos	mediana	Q25	Q75	grupo
T1	785	285.0	1087.5	a
T2	670	292.5	1032.5	ab
T3	575	225.0	920.0	bcd
T4	625	230	987.5	bc
T5	490	193.5	930.0	cd
T6	500	170.0	880.0	d

Donde nos indica a letras diferentes existen diferencias significativas  $Pr (>|q|) < 0,05$

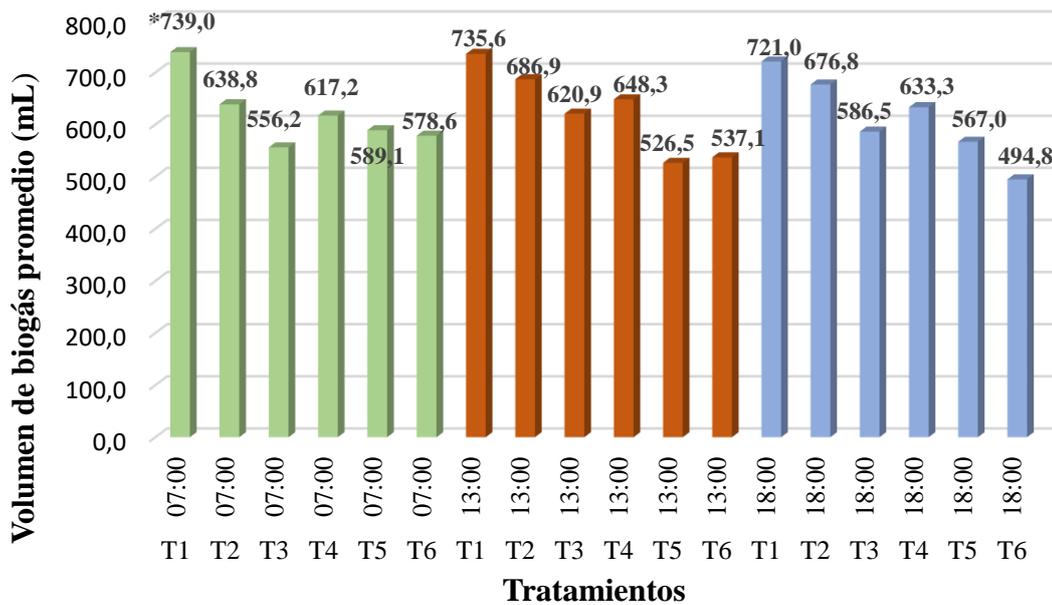
**Tabla 8**

*Producción de biogás para el sistema de calefacción controlado por tratamientos y hora de medición*

	<b>Hora de medición</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
T1	7:00	0.0000	1675.0000	840.0000	739.0078	446.1179
T2	7:00	0.0000	1420.0000	670.0000	638.8062	396.2666
T3	7:00	17.0000	1315.0000	580.0000	556.1783	333.4254
T4	7:00	0.0000	1415.0000	585.0000	617.2016	394.2180
T5	7:00	0.0000	1415.0000	510.0000	589.0698	402.7068
T6	7:00	0.0000	1380.0000	580.0000	578.5891	373.0410
*T1	13:00	0.0000	2135.0000	785.0000	735.6124	478.4270
T2	13:00	0.0000	1618.0000	714.0000	686.8915	444.0084
T3	13:00	0.0000	1520.0000	550.0000	620.9380	422.8561
T4	13:00	0.0000	1510.0000	680.0000	648.3411	423.0112
T5	13:00	0.0000	1370.0000	480.0000	526.5271	369.3749
T6	13:00	0.0000	1430.0000	510.0000	537.0853	382.1407
T1	18:00	0.0000	1605.0000	750.0000	720.9767	472.9454
T2	18:00	0.0000	1545.0000	670.0000	676.7984	419.8082
T3	18:00	0.0000	1420.0000	575.0000	586.4884	402.5730
T4	18:00	0.0000	1530.0000	570.0000	633.2868	461.4405
T5	18:00	0.0000	1405.0000	490.0000	566.9922	418.3184
T6	18:00	0.0000	1290.0000	360.0000	494.8450	393.2785

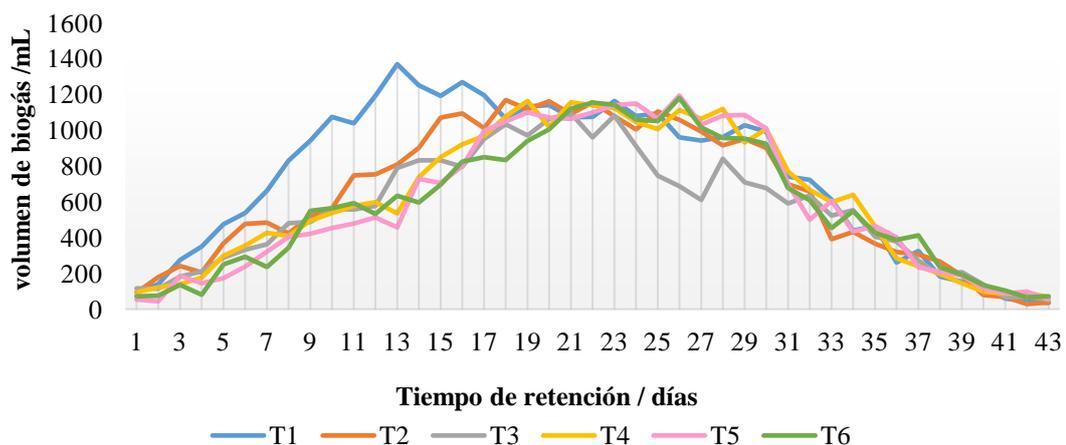
*Nota.* Esta tabla evidencia, que \*T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) fue el tratamiento que alcanzo una máxima producción de biogás con un equivalente de 2135 mL/día evaluado a las 13: 00 horas durante 43 días que duro el experimento.

Como se puede observar referente a su producción mínima fue de 0.000 en excepción del T3 evaluado a las 7:00 horas en que su producción mínima fue de 17.0000 mL, da entender que de las tres repeticiones ningunas de ellas su producción de biogás llevo a cero.



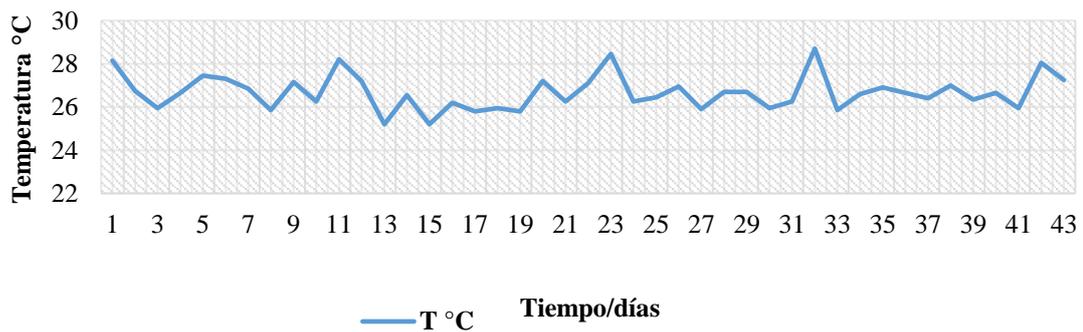
**Figura 12** Producción de biogás por tratamiento y hora de medición con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico 12 indica, el \*T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza), evaluado a las 7:00 horas fue el tratamiento que arrojó mayor producción promedio de biogás con un valor equivalente de 739 mL/día.



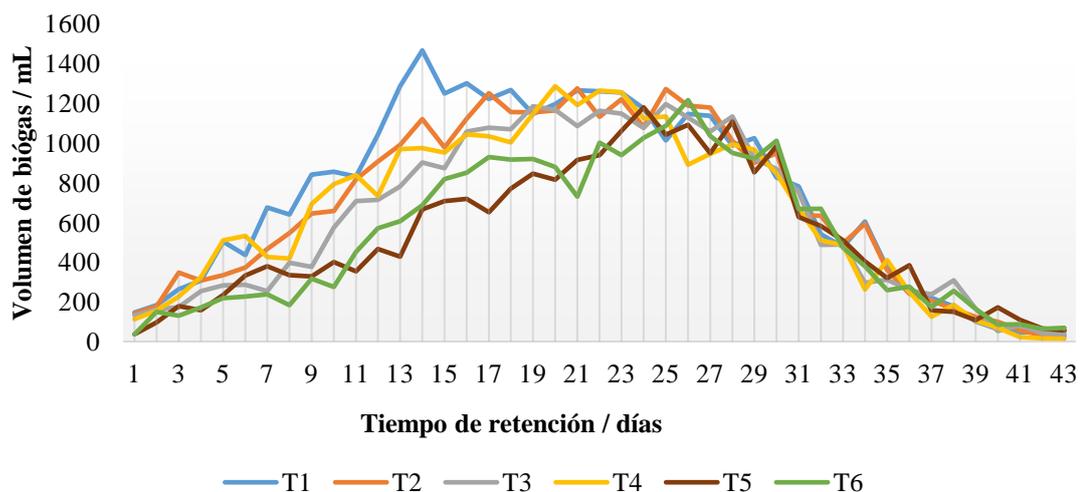
**Figura 13** Comportamiento de la producción de biogás a las 07:00 horas con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico representa, el T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) evaluados a las 7:00 horas produjo el mayor valor equivalente de biogás de 1368 mL en 13 días y luego a partir del día 17 al día 30 tuvo una pequeña variación y a partir del día 31 comenzó a descender hasta que uno de los tratamientos llegue a cero donde de detuvo la evaluación.



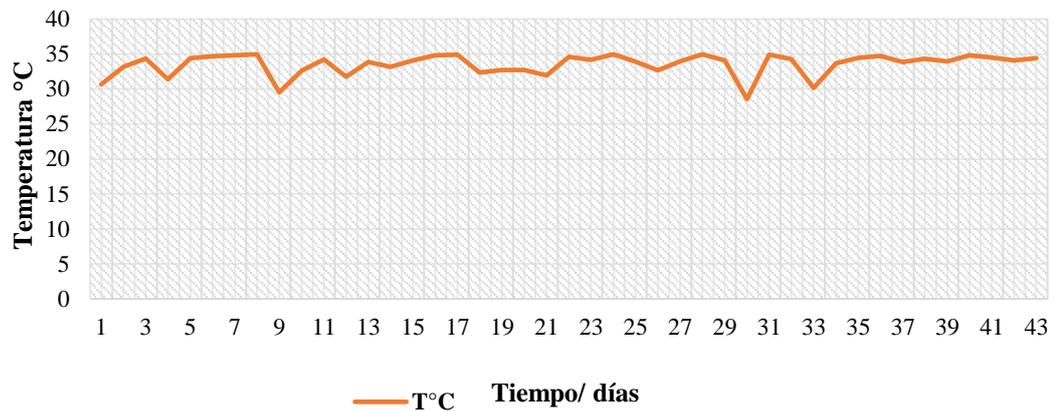
**Figura 14** Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación

*Nota.* El gráfico 14, muestra la variación de la temperatura el equipo que se utilizó fue un termostato STC-1000 el que estaba programado en un rango de temperatura mesofílica de 25 a 30 °C, en el que la mayor temperatura se registró el día 13 de 28 °C. en donde existió mayor producción de biogás.



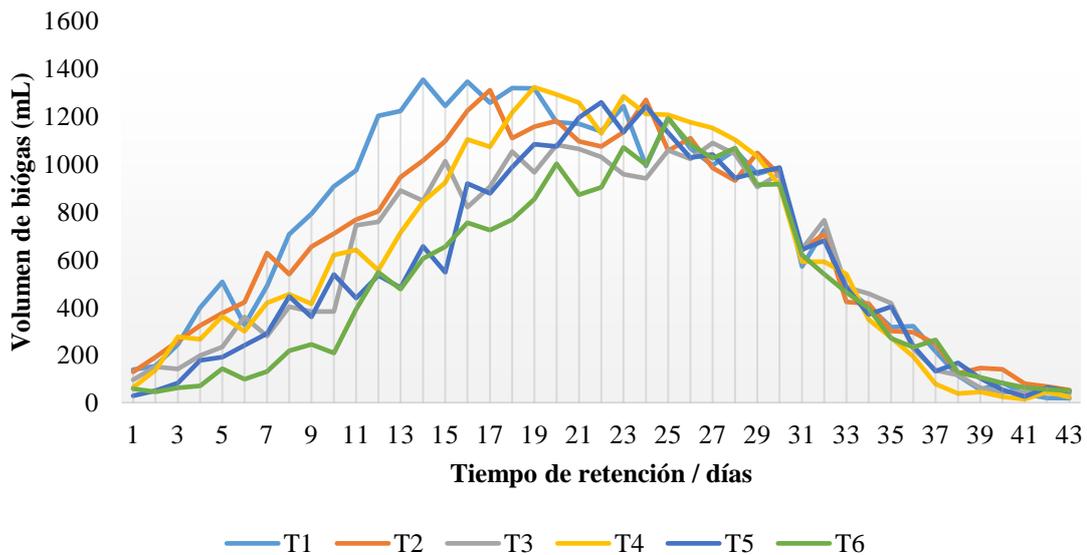
**Figura 15** Comportamiento de la producción de biogás a las 13:00 horas con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico representa el T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) se obtuvo mayor producción de biogás en los primeros 14 días con un valor de 1465 mL, seguido por el T4 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) en donde se obtuvo 1285 mL a los 19 días de evaluación.



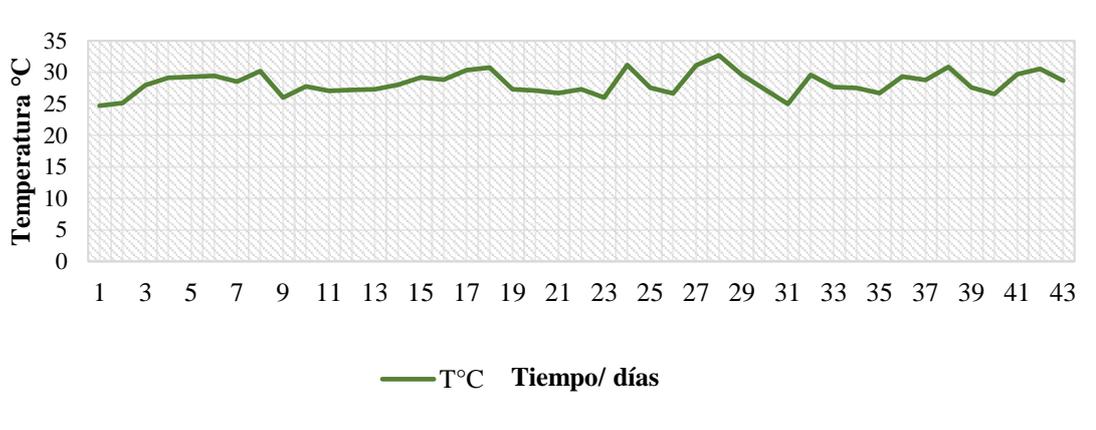
**Figura 16** *Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación*

*Nota.* El gráfico 16, denota que la temperatura permanece en gran parte constante oscilando a una temperatura mesofílica de 25 a 35°C debido a que es regulado por el equipo termostato STC-1000, en donde la temperatura contribuyo en la producción de biogás con respecto al T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza ) tiene una mayor producción de biogás desde el día 11 hasta el día 19, luego a partir del día 25 empieza a descender hasta que uno de las repeticiones tenga una producción cero es ahí donde finaliza la evaluación.



**Figura 17** Comportamiento de la producción de biogás a las 18: 00 horas con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico resalta que la mayor producción de biogás se obtuvo en el T1 que estuvo compuesto por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) en donde se tuvo una producción de 1353 mL en los primeros 15 días de evaluación luego empezó a defender.



**Figura 18** Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante los 43 días de evaluación

*Nota.* El gráfico presenta, la temperatura en gran parte de la evaluación permanece constante debido que está regulado por un el termostato STC-1000 a una temperatura mesofílica de 25 a 35 °C durante los 43 días de evaluación, en donde la mayor temperatura fue 33°C en el día 28.

**b) Producción de biogás con sistema de calefacción solar (bajo el cilindro parabólico de policarbonato).**

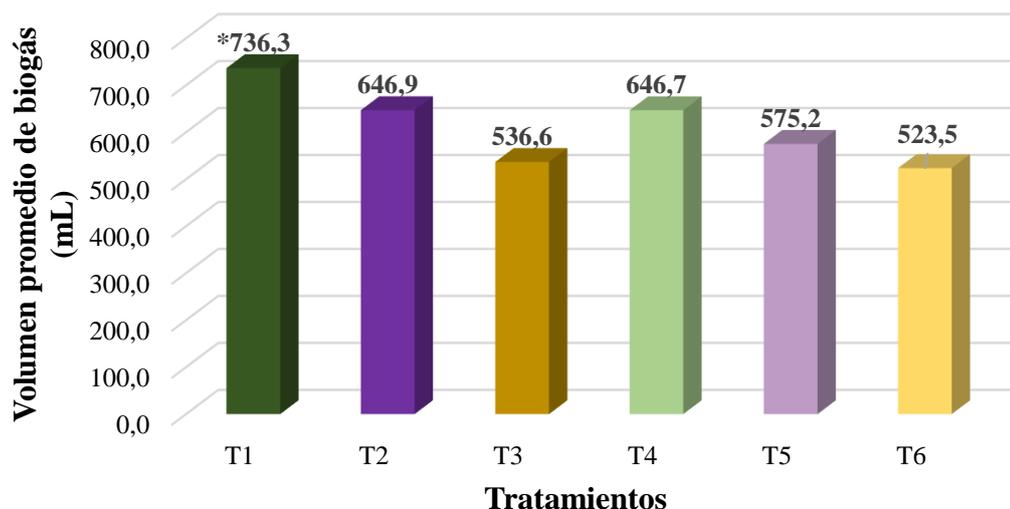
*Nota.* Esta tabla indica que el grupo A. (T1, T2 y T3) está constituido por relación estiércol: aguas de (1:5), (1:2) y (1:3), respectivamente asociados a inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*). Mientras el grupo B. (T4, T5y T6) está constituido solo por relación estiércol: aguas de (1:5), (1:5) y (1:5), respectivamente. Esto nos permitirá para hacer comparaciones entre los distintos grupos y sus respectivos tratamientos para determinar si existe influencia de los inóculos en los tratamientos evaluados.

El \*T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) fue el tratamiento que se obtuvo una producción de biogás con un equivalente de 2150 mL/día. Mientras si realizamos la comparación con el \*T4 que está constituido por relación (1:5) estiércol: agua (estiércol 400 g (p/p) y 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) pero en ausencia de inóculos, alcanzo una mayor producción de biogás con un equivalente de 2350 mL/día. Concluyendo que los inóculos utilizados no inciden en cuanto a la producción máxima de biogás, pero si existe en la producción promedia durante los 43 días de evaluación.

**Tabla 9**

*Producción de biogás para el sistema de calefacción solar*

<b>Grupo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
A	*T1	0.0000	2150.0000	760.0000	736.3101	471.2849
	T2	0.0000	1710.0000	627.0000	646.8837	400.7085
	T3	0.0000	1680.0000	495.0000	536.6486	349.9725
B	*T4	0.0000	2350.0000	620.0000	646.6718	462.2439
	T5	0.0000	1775.0000	510.0000	575.1705	423.6303
	T6	0.0000	1515.0000	428.0000	523.4677	404.9143



**Figura 19** Producción de biogás por tratamiento evaluado con calefacción solar

*Nota.* El gráfico representa, el \*T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) fue el tratamiento en el que se obtuvo una mayor producción promedio de biogás con un equivalente de 736.3 mL/día. Si realizamos la comparación con el T4 que está constituido por la misma relación (1:5) estiércol: agua (estiércol 400 g (p/p) y 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) pero en ausencia de inóculos se obtuvo una producción promedio de 646.7 mL/día, determinando que en T1 si existió una influencia de los inóculos en cuanto a la producción de biogás, según la prueba de Kruskal-Wallis con una probabilidad de ( $P > 0.05$ ), donde se obtuvo los valores de chi-cuadrado = 57.834,  $df = 5$ ,  $p\text{-value} = 3.403e^{-11}$ , estableciendo que existe diferencias significativas entre los tratamientos. Para ver como son estas diferencias se evidencio mediante el Test de conover.

Tratamientos	mediana	Q25	Q75	grupo
T1	760	317.5	1062.5	a
T2	627	296.0	970.0	ab
T3	495	240.0	780.0	cd
T4	620	200.0	1033.5	abc
T5	510	170.0	951.5	bcd
T6	428	160.0	877.5	d

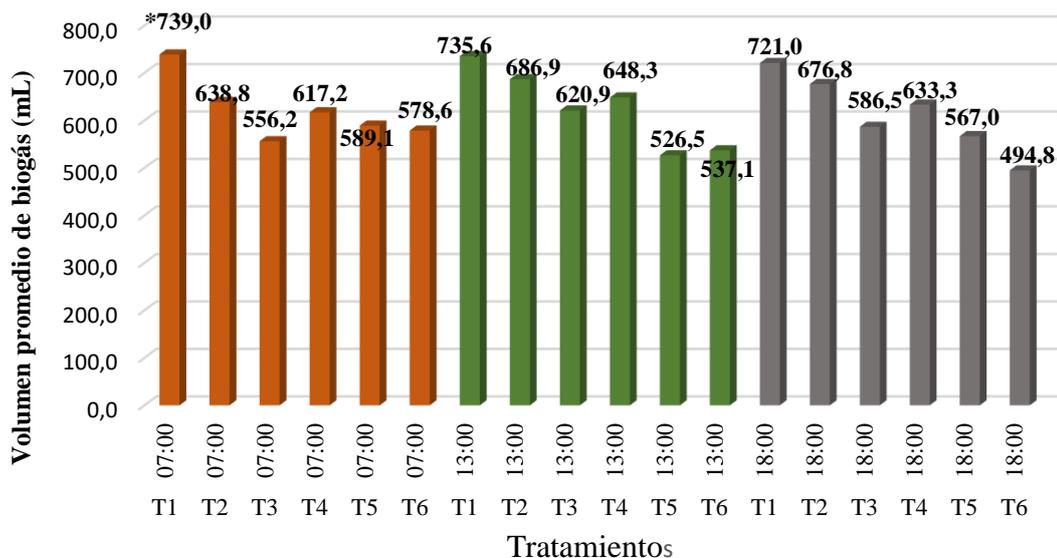
En donde nos indica que a letras diferentes existen diferencias significativas  $Pr(>|q|) < 0,05$ .

**Tabla 10**

*Producción de biogás para el sistema de calefacción solar de acuerdo a la hora de medición*

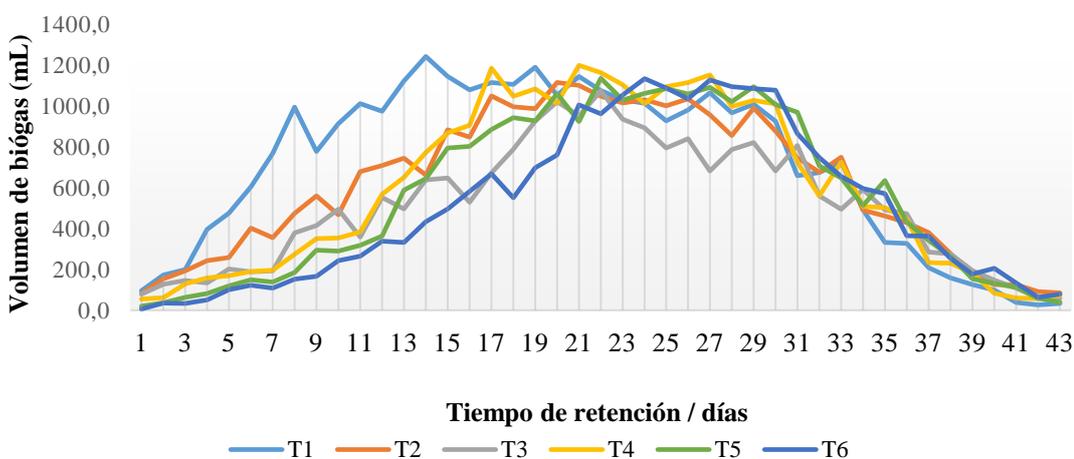
	<b>Hora de medición</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
T1	07:00	0.0000	1675.0000	840.0000	739.0078	446.1179
T2	07:00	0.0000	1420.0000	670.0000	638.8062	396.2666
T3	07:00	17.0000	1315.0000	580.0000	556.1783	333.4254
T4	07:00	0.0000	1415.0000	585.0000	617.2016	394.2180
T5	07:00	0.0000	1435.0000	510.0000	589.0698	402.7068
T6	07:00	0.0000	1380.0000	580.0000	578.5891	373.0410
*T1	13:00	0.0000	2135.0000	785.0000	735.6124	478.4270
T2	13:00	0.0000	1618.0000	714.0000	686.8915	444.0084
T3	13:00	0.0000	1520.0000	550.0000	620.9380	422.8561
T4	13:00	0.0000	1510.0000	680.0000	648.3411	423.0112
T5	13:00	0.0000	1370.0000	480.0000	526.5271	369.3749
T6	13:00	0.0000	1430.0000	510.0000	537.0853	382.1407
T1	18:00	0.0000	1605.0000	750.0000	720.9767	472.9454
T2	18:00	0.0000	1545.0000	670.0000	676.7984	419.8082
T3	18:00	0.0000	1420.0000	575.0000	586.4884	402.5730
T4	18:00	0.0000	1530.0000	570.0000	633.2868	461.4405
T5	18:00	0.0000	1405.0000	490.0000	566.9922	418.3184
T6	18:00	0.0000	1290.0000	360.0000	494.8450	393.2785

*Nota.* Esta tabla muestra, el \*T1 constituido por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) fue el que alcanzo la máxima producción de biogás evaluado a las 13:00 horas; en donde un valor equivalente a 2135 mL/día. Todos los tratamientos fueron sometidos a una digestión anaeróbica de 43 días.



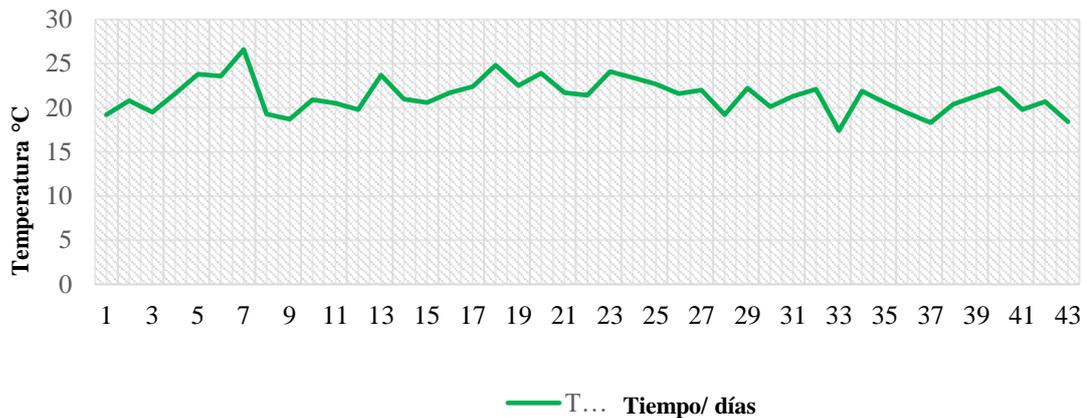
**Figura 20** Producción de biogás por tratamiento y hora de medición

*Nota.* El gráfico representa, el \*T1 constituido por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) evaluado a las 07:00 horas fue el mejor tratamiento en el que se obtuvo una mayor producción promedio de biogás con un valor equivalente de 739.0 mL/día durante 43 días evaluados. Si podemos comparar con los otros tratamientos de su misma composición se puede determinar que existe una mínima deferencia en cuanto a su producción promedio de biogás.



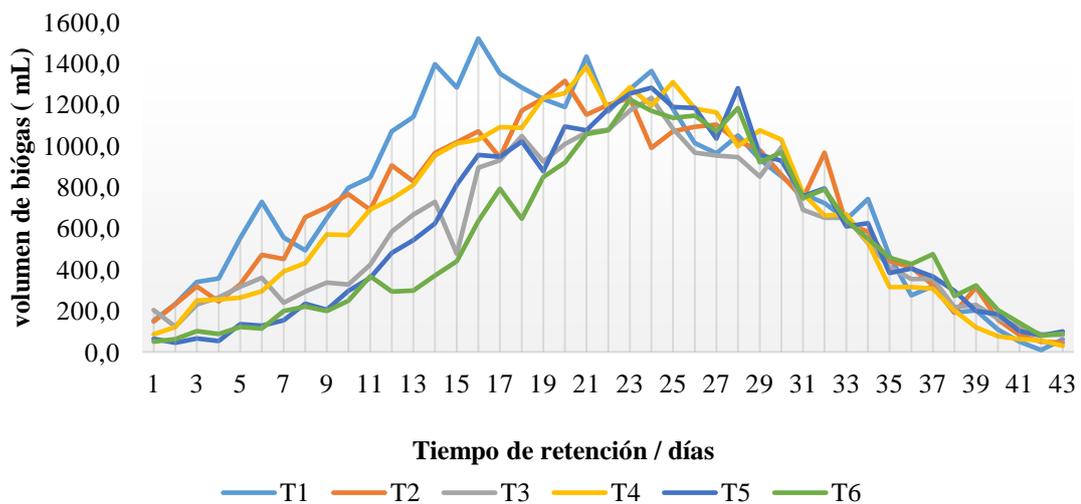
**Figura 21** Comportamiento de la producción de biogás a las 07:00 horas con calefacción solar

*Nota.* El gráfico 21 muestra, el T1 compuesto por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza), fue el tratamiento que alcanzo la mayor producción de biogás en los primero 15 días de avaluación a las 7:00 horas con un valor de 1240 mL.



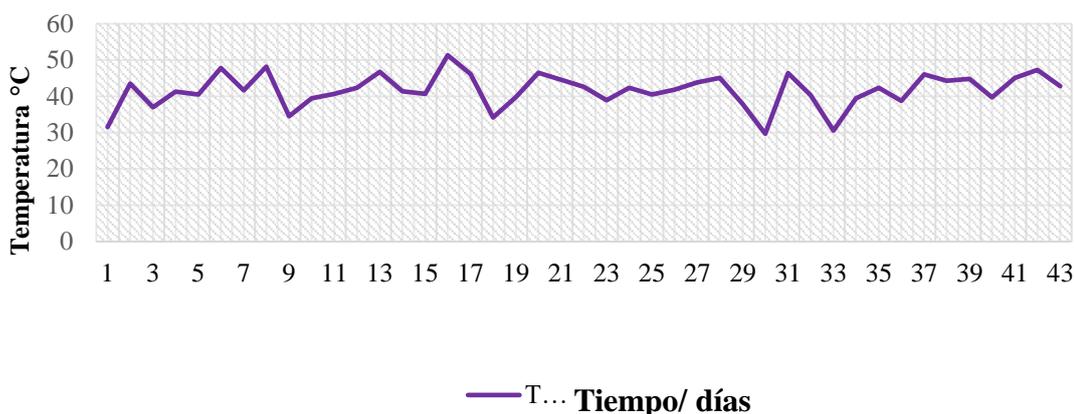
**Figura 22** Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación

*Nota.* El gráfico indica, la mayor temperatura se registró el día 7 una temperatura de 26.6 °C en donde empezó a incrementarse la producción de biogás, la temperatura minina se registró el día 33 de 17.4 °C.



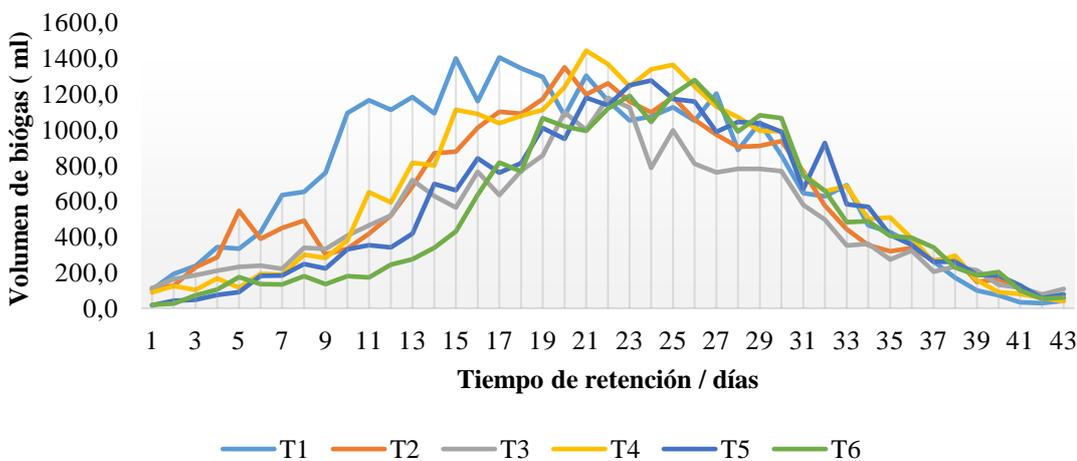
**Figura 23** Comportamiento de la producción de biogás a las 13:00 horas con calefacción solar

*Nota.* El gráfico muestra, el T1 relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) tuvo una mayor producción de biogás en 15 días obteniendo un valor equivalente de 1520 mL. Pero cuando no existe inóculos la producción de biogás es menor como en el caso del T4 que estuvo compuesto por relación (1:5) estiércol: agua (estiércol 400 g (p/p) y 2000 mL (v/v) de agua de lluvia) pero en ausencia de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*).



**Figura 24** Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación

*Nota.* El gráfico indica que la mayor temperatura se registró el día 16 una temperatura de 51.3 °C, en donde existió un incremento de la producción de biogás con respecto al T1



**Figura 25** Comportamiento de la producción de biogás a las 18: horas con calefacción solar

*Nota.* El gráfico 25 muestra, el tratamiento que se generó mayor producción de biogás fue el T1 donde estuvo compuestos con respecto al primero fue relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) en donde a partir del 15 se registró mayor producción de biogás empezando a descender a partir del día 29 hasta que uno de los tratamientos llegue a cero donde de detuvo la evaluación.



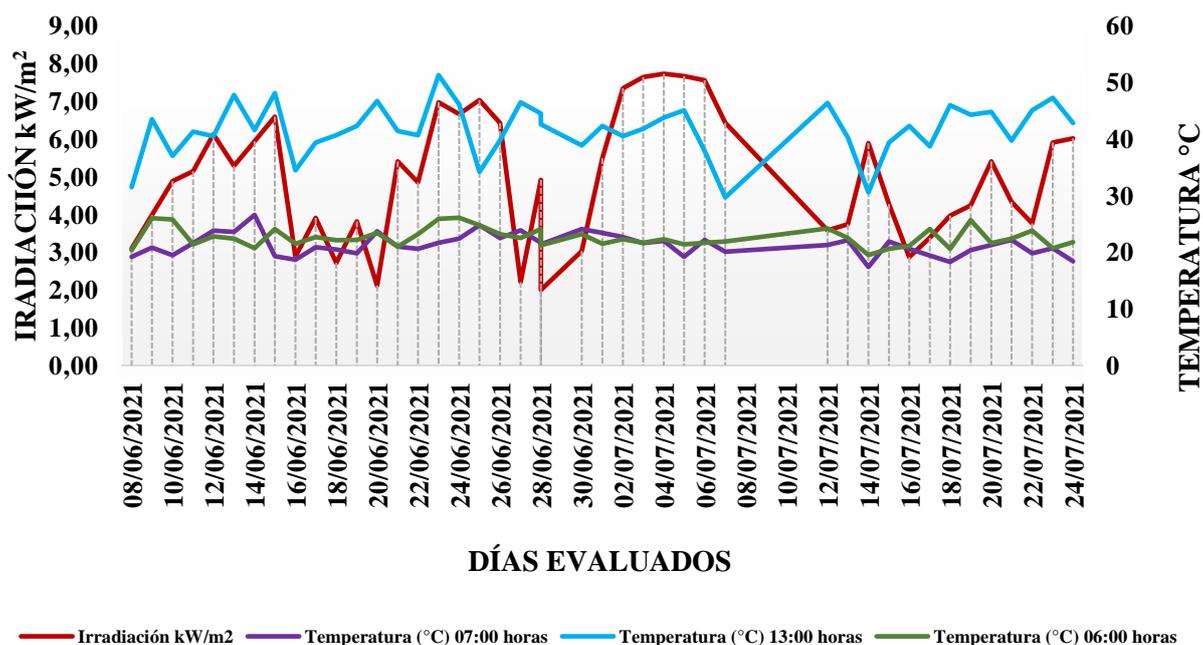
**Figura 26** Comportamiento de la temperatura en la producción de biogás durante 43 días de evaluación

*Nota.* El gráfico indica que la temperatura en gran parte de la evaluación se mantuvo constante en donde la temperatura mayor se registró entre el día 15 y 21 donde existió mayor producción de biogás con respecto al T1 y T4.

### 3.3 Evaluación de parámetros fisicoquímicos y ambientales que influyen en la digestión anaerobia.

#### a. Parámetros ambientales

*Nota.* El gráfico 27 indica que la irradiación máxima se registró del 2 al 6 de julio con un valor de 7.73 kW/m<sup>2</sup> (Tabla. 20) y la temperatura máxima fue en el 25 de junio con un valor equivalente de 51.3 °C registrado a las 13: horas (Tabla. 14), se puede determinar que la irradiación es directamente proporcional a la temperatura registrado a las 13:00 horas donde más incide la radiación. Para analizar los resultados se consideran los datos tomados durante el período de evaluación del 8 de junio al 24 de julio de 2021, porque corresponden a un periodo donde se obtiene buena estabilidad energética y aporte solar



**Figura 27** Comportamiento de las temperaturas (°C) en función a la irradiación Kw/m<sup>2</sup>

**b. Parámetros fisicoquímicos**

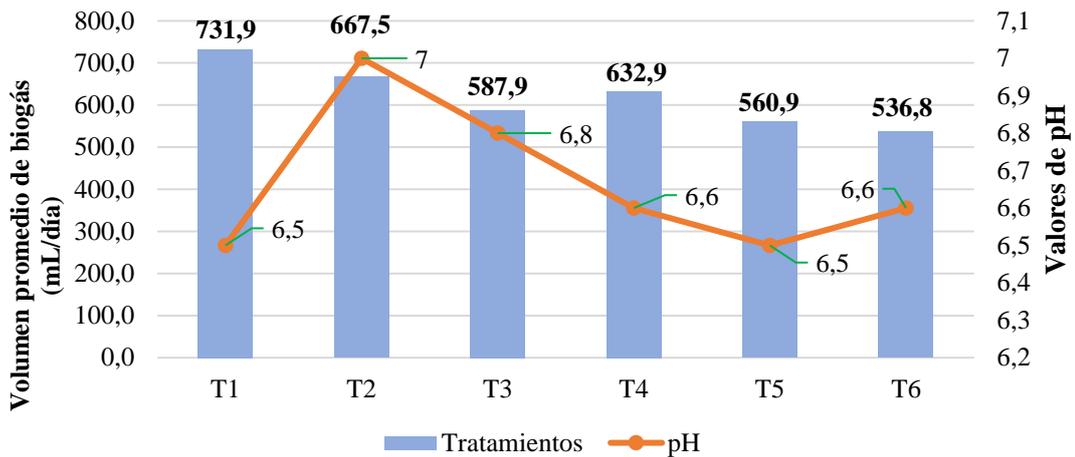
Se determinó el pH y los sólidos totales (%) de cada uno de los tratamientos (Tabla 11 y 12) y se representaron gráficamente la producción de biogás de cada tratamiento (Figura 28 y 29) pertenece al pH y (Figura 30 y 31) corresponde a los sólidos totales.

**Producción promedio de biogás en función del pH en ambos sistemas.**

**Tabla 11**

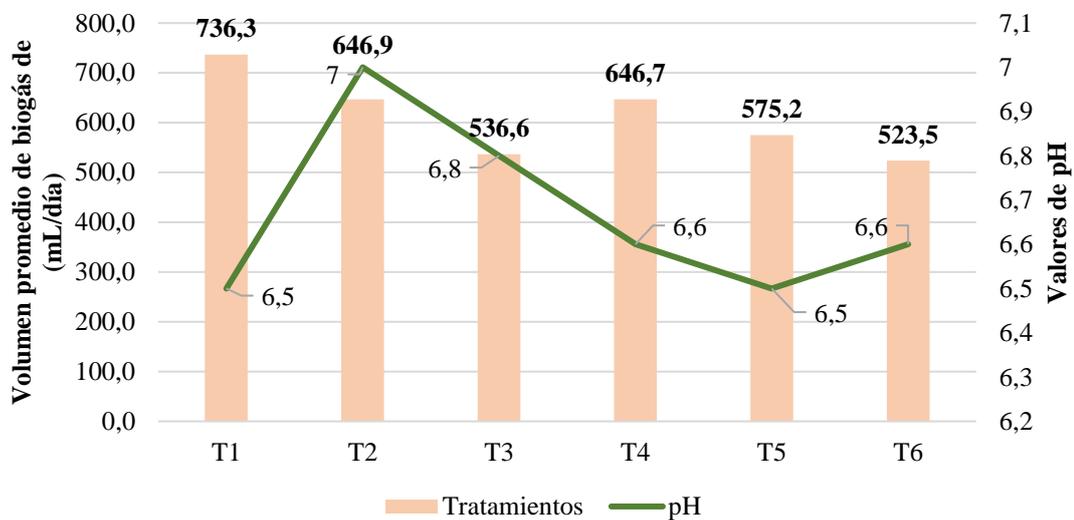
*Valeres de pH*

Tratamientos	Inicial (pH)
T1	6.50
T2	7.00
T3	6.80
T4	6.60
T5	6.50
T6	6.60



**Figura 27** Producción promedio de biogás en función del pH con calefacción controlado

*Nota.* El gráfico muestra, el T1 compuesto por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) fue el tratamiento que mayor producción promedio de biogás se obtuvo con un valor equivalente de 731.9 mL/día, puesto que el pH de 6.5 es óptimo para que las bacterias metanogénicas sean más eficientes en la degradación del sustrato.



**Figura 28** Producción promedio de biogás en función del pH con calefacción solar

*Nota.* El gráfico muestra que mayor producción promedio de biogás se obtuvo en el T1 compuesto por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza), se alcanzó una mayor producción de biogás con

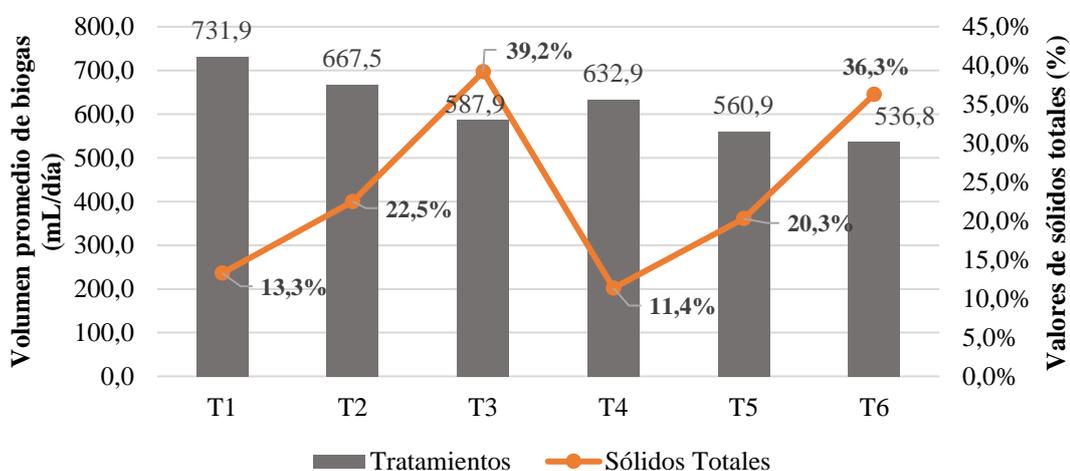
un valor de 736.3 mL/día a un pH de 6.5, en comparación al sistema de calefacción controlado.

**Producción promedio de biogás en función del Sólidos totales (%) en ambos sistemas.**

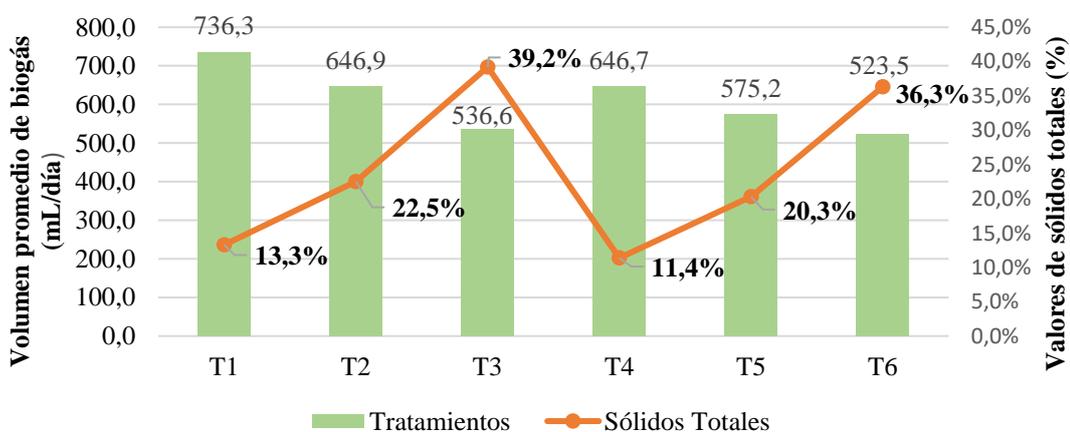
**Tabla 12**

*Valores de solidos totales (%)*

Tratamientos						
Solidos totales (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	13.29	22.5	39.2	11.37	20.3	36.3



**Figura 29** Producción promedio de biogás en función a los sólidos totales con calefacción controlado



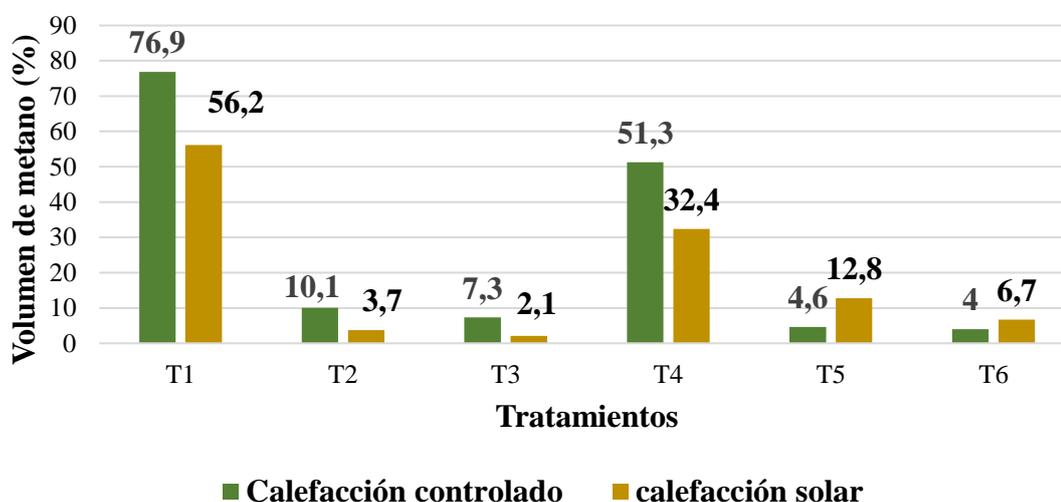
**Figura 30** Producción promedio de biogás en función a los sólidos totales con calefacción solar

*Nota.* Los gráficos 31 y 32 indican que el T1 con sistema de calefacción controlado y sistema de calefacción solar se obtuvo mayor producción promedio de biogás con un valor equivalente de 731.9 mL/día y 736.3 mL/día respectivamente, puesto que estuvo más diluido con un 13.3 % de sólidos totales el cual se constituyó por relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) por tal caso a menor porcentaje de sólidos totales los biodigestores son más eficientes ya que existe un mejor contacto entre las bacterias metanogénicas y el sustrato.

**Tabla 13**

*Valores de metano en la producción de biogás*

Compuestos	Tratamientos											
	Calefacción controlada						Calefacción solar					
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
Metano (CH <sub>4</sub> %)	76.9	10.1	7.3	51.3	4.6	4.0	56.2	3.7	2.1	32.4	12.8	6.7



**Figura 31** *Producción de metano (CH<sub>4</sub>) por sistemas y tratamientos*

*Nota.* El gráfico muestra, el T1 fue el que se obtuvo mayor producción de metano con un equivalente de 76.9 %, el cual puede utilizarse como combustible ya que la concentración de metano supera el 50% que es el mínimo que se utiliza como combustible.

### 3.4 Tiempo de inicio de la producción y cuantificación total de biogás

**Inicio de producción de biogás.** Se calculo teniendo en cuenta desde el primera hora y día que se puso en marcha los biodigestores, en el trabajo de investigación su tiempo de inicio de producción de biogás fue de 14 horas ya que los biodigestores fueron cargados a las 17:00 horas y se realizó la primera medición al día siguiente a las 07:00 horas el volumen de biogás producido (Tabla 14 - 19). Esto fue para los dos sistemas tanto para el con calefacción controlado como para el con calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato.

**Producción de biogás.** El volumen total de biogás producido en el sistema de calefacción controlado corresponde al tratamiento uno (T1) que tuvo un valor equivalente de 31736 mL o 31.736 Litros tomado los datos a la 07:00 horas durante los 43 días que fue la evaluación (Figura 33). Mientras que con el sistema con calefacción solar bajo el cilindro parabólico se obtuvo una mayor producción de biogás en el T1 con un valor equivalente de 32933 mL o 32.933 Litros evaluados a la 13:00 horas durante los 43 días de evaluación (Figura 34)

Si analizamos la diferencia de producción de biogás entre los dos sistemas con calefacción controlado y la calefacción solar podemos determinar que existe una diferencia de 1197 mL o 1.197 Litros en producción de biogás entre los sistemas, La tecnología de biogás a pequeña escala podría ayudar a cubrir esas necesidades, permitiendo que los hogares utilicen gas ecológico y sustituir a los combustibles fósiles.

En este contexto el metano contenido en el biogás hace que pueda ser utilizado como cualquier otro combustible; ya sea para la cocción de alimentos en cocinas adaptadas, para el alumbrado mediante lámparas, motores de combustión interna, etc. Sin embargo, únicamente puede utilizarse como combustible cuando la concentración de metano supera el 50%, ya que con concentraciones más bajas del mismo el biogás deja de ser inflamable.

Una cocina individual domestica a biogás para cuatro individuos, utilizará diariamente  $0.45 \text{ m}^3$  /usuario/ día de biogás para la cocción de los alimentos.

Mientras que para un grupo electrógeno a biogás cuando consumo especifico suele estar entre  $0.55$  y  $0.7 \text{ m}^3/\text{kWh}$ , un metro cubico de biogás permite generar entre  $1.4$  y  $1.8 \text{ kW/h}$  de energía (Hernandez, 2014).

a) Volumen total de biogás durante 43 días de retención con calefacción controlado

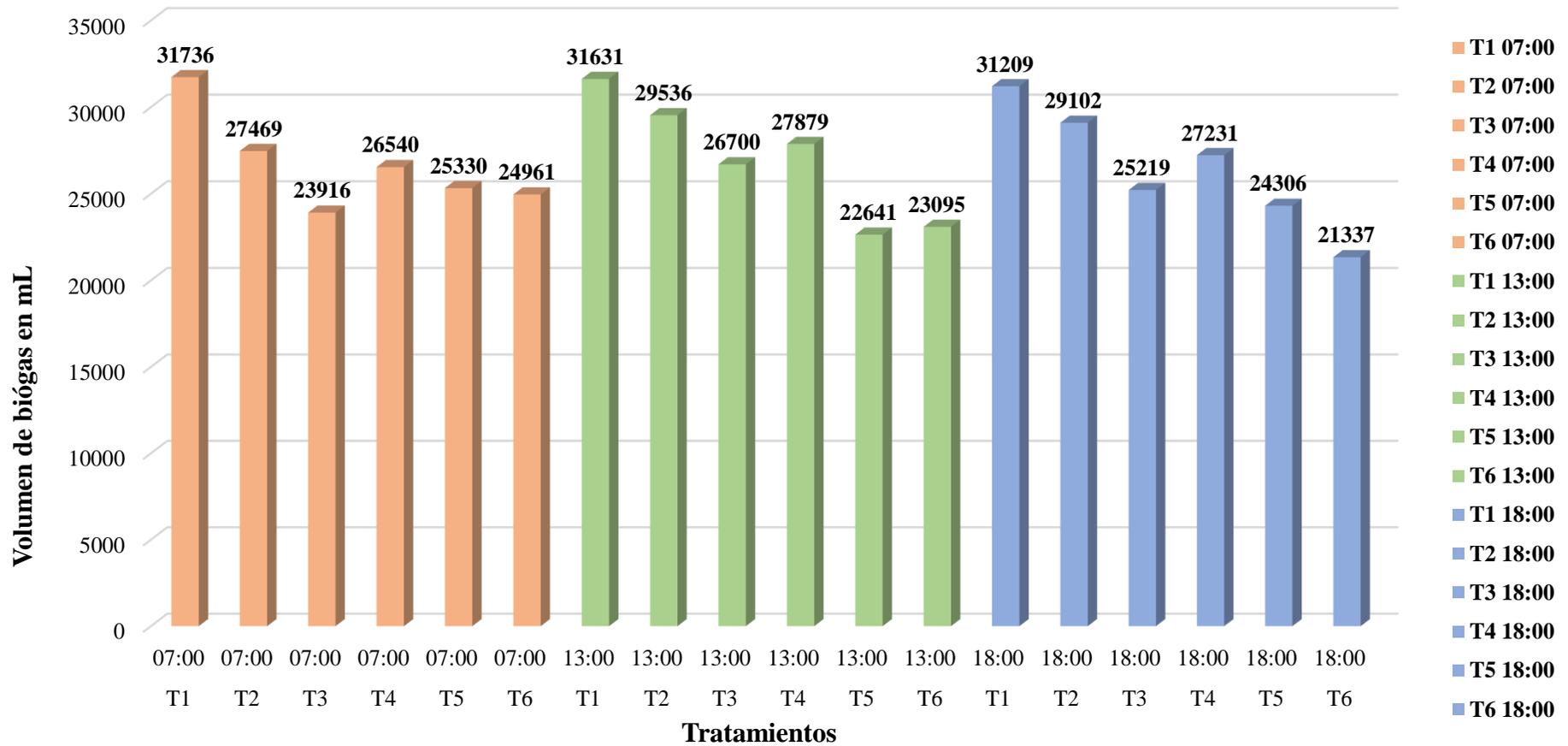
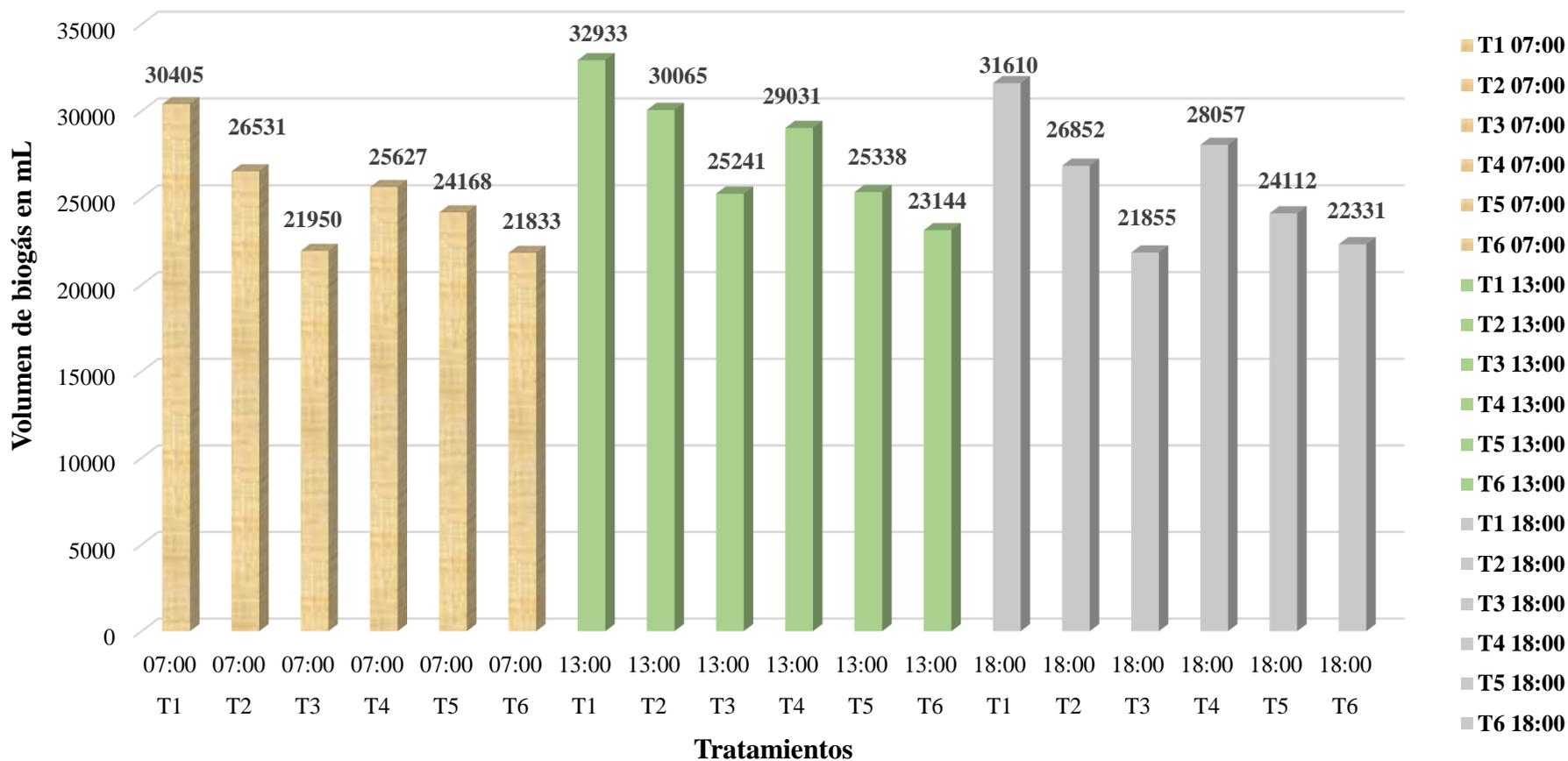


Figura 32 Volumen de biogás en mL durante 43 días de digestión anaerobia con calefacción controlado

**b) Volumen total de biogás durante 43 días de retención con calefacción solar**



**Figura 33** Volumen de biogás en mL durante 43 días de digestión anaerobia con calefacción solar

#### IV. DISCUSIONES

El estudio de la producción de biogas a nivel de laboratorio es importante debido a que permite conocer las concentraciones de mezcla de los sustratos, Kabaivanova *et al.*, (2022), por esta razón en la investigación se buscó construir un sistema de bajo costo cuya utilización sea en diferentes ámbitos, de ahí que, se utilizaron botellas PET de 3 L (biodigestores), 3 L (gasómetros) y 3L calibrada cada 50 mL para medir biogas por la técnica de desplazamiento de agua, este sistema se conectó en serie el biodigestor y el gasómetro. Sin embargo Valderrama, (2021) y Verrastegui, (2019), únicamente emplearon una tina de agua para medir el biogás. Podemos inferir que el equipo experimental empleado en el trabajo de investigación es más práctico, económico y factible ya que se utiliza solo botellas PET y están conectadas en serie.

Por otro lado, al sistema experimental se sometió a un calefactor para controlar la temperatura dentro de un rango mesófilo de 25°C a 35°C similar al que lo realizó Guasumba *et al.*, (2019), sin embargo, la diferencia del sistema del autor es que utilizaron biodigestores concéntricos conectados a colectores planos en donde se calienta el agua por medio de radiación solar, este fluido recircula por la zona anular logrando mantener día y noche temperaturas interna del biodigestor en un rango óptimo para la generación eficiente del biogás. Mientras que en el montaje experimental la temperatura se controló con un termostato conectado a la corriente eléctrica. El rango de temperatura empleado no genera cambios bruscos de la temperatura facilitando que las bacterias metanogénicas sean más eficientes en el proceso de digestión anaeróbica como lo sostiene (Fabara y Núñez, 2020).

En cuanto a la producción de biogás la relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) en el sistema de calefacción solar se obtuvo 2150 mL/día de biogás bajo una temperatura promedio de 41.6 °C. Mientras que en el sistema de calefacción eléctrica se obtuvo 2135 mL/día de biogás. Los resultados obtenidos son mejores que Olano (2018), menciona que empleó biodigestores de 3L para producir biogás, dicha mezcla estuvo compuesta, por (estiércol 1470 g, agua 630) con un tiempo de fermentación anaeróbica de 30 días a una temperatura máxima de 23°C, obteniendo como resultado una producción máxima de biogás de 1711.7 mL/día, representando el

57.06% del volumen del biodigestor (3 L) y de 81.48% con respecto al volumen del sustrato (2.1 L).

Así como también, Helguero *et al.*, (2018), obtuvieron biogás a nivel laboratorio a una temperatura promedio 14°C, como sustratos utilizaron 200 g de estiércol y 320 g de azúcar en un tiempo de fermentación anaerobia de 22 días, como resultado obtuvieron 318 mL de biogás. indican que se puede obtener la mayor cantidad de biogás a mayor tiempo de digestión anaerobia con temperaturas aproximadas a 35 °C.

Por su parte Gámez *et al.*, (2022), realizaron bioensayos a escala laboratorio para caracterizar los sustratos con el fin de evaluar su potencial uso para la producción de biogás, para ello utilizaron un biorreactor con un volumen de operación de 1 litro, y lo monitorearon por un periodo de 45 días. Los resultados mostraron una producción de biogás, de 1080.17 ml a partir estiércol de vacuno, de residuos vegetales de 836.8 ml y de la mezcla de estiércol con residuos vegetales de 714.7 ml. Donde, concluyeron que el mejor tratamiento es el estiércol y los residuos vegetales como alternativa para el aprovechamiento de estos residuos en la producción de biogás.

Esta diferencia se debe a que el principal sustrato para la producción de biogás es el estiércol de ganado vacuno como lo sostiene Barrena *et al.*, (2017). Pero los inóculos de harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) es un seleccionador de batería metagenómicas, por su lado la melaza ayuda acelerar la digestión anaeróbica Helguero *et al.*, (2018). Entonces el inóculo harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y melaza son aceleradores en la producción de biogás a partir de estiércol de ganado.

Los parámetros ambientales y fisicoquímicos han sido controlados para un adecuado producción de biogás debido a que estos tienen relación directa con la temperatura del biodigestor como lo sostiene Mamani *et al.* (2021) y Onen *et al.*, (2022). Otro factor importante en la digestión anaeróbica es el pH cuyo rango de trabajo en la investigación fue de 6.5 a 7.0, como lo trabajaron Dhungana and Lohani, (2022) y Dareioti *et al.*, (2021), empleando estiércol de vacuno con valores de pH de (6.5 a 7.5) el cual consideran que es óptimo para producir biogás. Ya que este rango permite el crecimiento de las bacterias metanogénicas (Chica, 2022).

Así también, León *et al.*, (2019), trabajaron con un contenido de sólidos totales 11% y el 13% con resultados de 1.527 m<sup>3</sup> /día de biogás a una escala piloto, en un tiempo de retención hidráulica 21 días. Del mismo modo se trabajó con relación (estiércol: agua) asociado a inóculos de melaza y harina de tara (*Caesalpinia spinosa*), con un contenido de sólidos totales de 13.3% él se obtuvo una producción de biogás de 0.00285 m<sup>3</sup> /día en un tiempo de digestión anaerobia de 43 días y cuyo inicio de producción se evidencio al día siguiente de a ver cargado los biodigestores. De estos datos se deduce para tener funcionamiento de los biodigestores se recomienda que la mezcla este diluida, el cual permitirá que se tenga un mejor contacto entre las bacterias metalogénicas y el sustrato (Moncayo, 2013).

Por último, la calidad del biogás se ve reflejado en la concentración de sus componentes: Metano (50% a 70%), dióxido de carbono (30% y 45%) y trazas de otros gases Atelge *et al.*, (2021), en este contexto la concentración de metano obtenido en la mezcla relación (1:5) estiércol: agua asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y 300 mL (v/v) melaza) es de 76.9 %. Cuyo resultado muestra que la calidad de biogás es superior a los obtenidos por Murillo *et al.* (2022), el cual obtuvieron 31.6% CH<sub>4</sub> a partir de mezclas de estiércol agua sometido a una temperaturas mesofílica de 35 °C , durante un tiempo de retención hidráulico de 20 días. Así mismo Sharma *et al.*, (2022), evaluaron sustratos estiércol agua asociada a inóculos, a dos condiciones de temperatura mesófila y psicrófila en donde como resultados obtuvieron concentraciones de metano de 62,33 % al 69,16 % y 65,21 % al 69,15 %, respectivamente.

Con los resultados obtenido en la investigación permite la valorización de los residuos orgánicos como el estiércol en la producción de biogás. Debido a que, el proceso anaeróbico es una alternativa para la gestión de residuos orgánicos a nivel local (Reyes y Barrenechea, 2022).

Entonces la concentración de los inóculos puede ser utilizados en otras investigaciones a nivel piloto o industrial. Con esto se contribuye a una alternativa en la producción de energía renovable a partir de la biomasa para impulsar la transición energética como el desarrollo social, económico y ambiental (Mazurkiewicz, 2022).

## V. CONCLUSIONES

El sistema de producción de biogás desarrollado fue de bajo costo y fácil montaje cuyos componentes fueron un biodigestor de 3L un gasómetro del mismo volumen, los cuales fueron sometidos a dos sistemas térmicos, uno con calefacción eléctrica, mientras que el segundo fue a un sistema parabólico solar. En los cuales se obtuvieron una diferencia de producción promedio de biogás de 8.7 mL/día entre ambos sistemas. De estos datos se induce que no es económicamente favorable producir biogás en condiciones controladas ya que demanda más gasto para la instalación, equipos y energía eléctrica; mientras que el sistema de calefacción solar es más viable ya que se aprovecha la energía solar para optimizar la producción de biogás.

Se demostró que el T1 para ambos sistemas se consiguió mayor producción promedio biogás con un equivalente de 731.6 mL/día con respecto al controlado y 736.3mL/ día para el solar, dicha mezcla estuvo compuesto por relación estiércol: agua (1:5) asociada a los inóculos (estiércol 400 g (p/p), 2000 mL (v/v) de agua de lluvia, 30 g (p/p) harina de tara (*caesalpinia spinosa*), 300 mL (v/v) melaza). En ambos sistemas se evaluaron todo el ciclo de vida de la biodigestión que fue de 43 días, lo cual se consideran inocuos son óptimo para aplicar a escalas piloto o industrial.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y ambientales son fundamentales tener en cuenta para que los biodigestores tengan un óptimo funcionamiento. Por ello se determinó que los tratamientos con sistema de calefacción controlado se en contraban en un rango mesófilo de (25°C -35°C), mientras que el sistema de calefacción solar tuvo a una temperatura promedio de 41.6 °C. Así mismo el pH de la mezcla en los biodigestores estuvo en entre 6.5 a 7, con un contenido de solidos totales de 13.29% a 39.2% siendo más eficiente a 13% ya que la mezcla esta más diluido en consecuencia las bacterias metanogénicas tienen un mayor contacto con el sustrato, y por ende se obtuvo mayor producción de biogás.

La calidad del biogás es superior al rango establecido en otras investigaciones debido a que, el sustrato estiércol agua (1:5) mezclada a los inóculos con harina de tara (30g) y melaza (300 mL), tuvo un 76.9% de CH<sub>4</sub>. Lo cual permite la producción de biogás con una alta concentración de metano que en futuras aplicaciones pueden ser enfocadas al uso residencial o industrial impulsando al desarrollo económico social y ambiental.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de recipientes con tapón hermético para que no existan fugas de biogás durante la ejecución del experimento.

Se recomienda utilizar equipos para regular la temperatura ya que las bacterias metanogénicas son sensibles a cambios bruscos de temperatura.

Para futuras investigaciones, aplicar esta metodología con sistema de calefacción solar, ya que es más viable por ser menos costoso y se puede aprovechar la energía solar. Así mismo producir biogás a mayor escala con relación estiércol: agua de (1: 5) asociada a los inóculos de harina de tara (*Caesalpinia spinosa*) y melaza.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbassi, A., D. Brockmann, E. Trably, C. Dumas, J.P. Delgenès, J.P. Steyer, and R. Escudé. 2012. "Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation". *Bioresource Technology* 111 (1): 55–61. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.01.174
- Atelge, M. R., H. Senol, M. Djaafri, T. A. Hansu, D. Krisa, A. Atabani, C. Eskicioglu, and H. Muratçobano. 2021. "A Critical Overview of the State-of-the-Art Methods for Biogas Purification and Utilization Processes". *Sostenibilidad* 13 (20):1-39 DOI: 10.3390/su132011515
- Castro, R., M.M. Solís, V. Chicatto, y A. Oba. 2020. "Producción de Biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)". *Revista internacional de contaminación ambiental* 36 (3): 529-539. DOI: 10.20937/RICA.53545
- Balseca, A. D., y C. J. Bastidas Cabrera. 2011. *Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café*. Tesis de Grado. Escuela Agrícola Panamericana. Morazán (Honduras).
- Barrena G, M., T. O. Gamarra, & Q. J. Maicelo. 2010. "Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento". *Santiaguino*, 3 (1): 86-92. DOI:10.32911/as. 2010.v3.n1.425
- Barrena, M., O. Gamarra, M. Milla, T. Fellenberg, y C. Ordinola. 2017. "Optimización de la producción de biogás a escala de laboratorio a partir de estiércol de bovino, lactosuero y totora (*Scirpus californicus*)". *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable* 3 (2): 60-66. DOI: 10.25127/indes.20153.209
- Bragachini, M., G. Urrets, F. Ustarroz, y M. Bragachini. 2010. *El biogás*. Concepción (Uruguay): INTA PRECOP.
- Carrasco, J. L. 2015. *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético*. Tesis de Grado. Universidad de Chile. Santiago (Chile).
- Chica Medrano, S. M. (2022). *Generación con biogás para pequeñas granjas porcícolas*. Tesis de Grado. Universidad de Antioquia. Medellín (Colombia).

- Dareiotti, M. A., A. I. Vavouraki, K.Tsigkou, and M. Kornaros. 2021. “Assessment of Single- vs . Two-Stage Process for the Anaerobic Digestion of Liquid Cow Manure and Cheese Whey”. *Energies* 14 (17) . 5423. DOI: 10.3390/en14175423
- De la Cruz Lapa, P. 2004. “Aprovechamiento integral y racional de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en la tintorería”. *Revista del Instituto de Investigaciones de la de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 7(14), 64-73.
- Dhungana, B., and S. P. Lohani. 2022. “Anaerobic Co-Digestion of Food Waste with Livestock Manure at Ambient Temperature : A Biogas Based Circular Economy and Sustainable Development Goals”. *Sustainability* 14 (6) : 3307. DOI: 10.3390/su14063307
- Fajardo, E. E., y S. C. Sarmiento. 2007. *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).
- Fabara, T. A., y B. S. Núñez. 2020. *Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor anaerobio con sistema de calentamiento basado en energías alternativas proyectado para la producción de biogás*. Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Quiro (Ecuador).
- Gámez, C., M. Lozano, C. A. Cervera-gonzález, y J. A. Quintero. 2022. “Producción de biogás a partir de procesos de digestión y codigestión anaerobia usando estiércol de cerdo y residuos vegetales”. *RedBioLAC* 6 (1), 34-39.
- Guerra, J., R.Garay, E.Cornejo, y M. Medina. 2012. *Producción de biogás a nivel laboratorio, utilizando residuos agroindustriales (Torta de piñon, cáscara de arroz y rumen de ganado vacuno)*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto (Perú).
- Guasumba, S. J., P. M.Tafur, L.Tipanluisa, E.Ocaña, y J. E. Pérez. 2019. “Producción eficiente de biogás mediante calentamiento del sustrato con energía solar térmica de baja temperatura”. *Científica* 23 (1): 3-12.
- Helguero, A., L. Bustillos, y J. Hernani. 2018. “Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol”. *Revista Estudiantil AGRO-VET* 2 (2): 185–191.

- Hernández, J. 2014. *Diseño de un sistema de aprovechamiento energético de biogás a partir de los residuos generados por el ganado vacuno*. Tesis de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona (España).
- Kabaivanova, L., P. Petrova, V. Hubenov, & I. Simeonov. 2022. “Biogas Production Potential of Thermophilic Anaerobic Biodegradation of Organic Waste by a Microbial Consortium Identified with Metagenomics”. *Life* 12 (5): 1-16. DOI: 10.3390/life12050702
- Kriauciunas, D., T. Žvirblis, K. Kilikevicien, A. Kilikevicius, J. Matijošius, A. Rimkus, and D. Vainorius. 2021. “Impact of Simulated Biogas Compositions (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) on Vibration, Sound Pressure and Performance of a Spark Ignition Engine” *Energies* 14 (21) : 7037. DOI: 10.3390/en14217037
- León A., C., Rodríguez, y G. A. Mendoza Arevalo. 2019 . “Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás , Biol y Biosol” *Arnaldoa* 26 (3): 1017–1032. DOI: 10.22497/arnaldoa.263.26311
- Lius, G., R. Zhang, H. M. Mashad, & R. Dong. 2009. “Effect of feed to inoculum ratios on biogás yields of food and green wastes”. *Bioresource technology*, 100(21), 5103-5108.
- Londoño, H. 2017. *Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón*. Tesis de Grado. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín (Colombia).
- Makul, N., R. Fediuk, M. Amran, M. S. Al-akwaa, K. Pralat, D. Nemova, K. Petropavlovskii, T. Novichenkova, V. Petropavlovskaya, and M. Sulman. 2021. “Utilization of Biomass to Ash : An Overview of the Potential Resources for Alternative”. *Energies* 14 (21): 1–23. DOI: 10.3390/ma14216482
- Mamani, J., F. Llumipanta, S. Ramos, J. Rea, J. Alucho, y F. Llanos 2021. “Sistemas de producción de biogás”. *Agroindustrial Science* 11 (2): 239–247.
- Manuel, J., y R. Chávez .2022. “Estimación del potencial energético técnico a partir de biomasa residual agroindustrial y pecuario en el Perú”. *Revista de innovación y transformación productiva* 3(1): 1-15.

- Mazurkiewicz, J. 2022. “Energy and Economic Balance between Manure Stored and Used as a Substrate for Biogas Production”. *Energies* 15 (2). DOI: 10.3390/en15020413
- Moncayo, G. 2013. *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás. Ciudad de Baviera (Alemania): AQUALIMPIA ENGINEERING E.K.*
- Murillo, M., L. Uribe-Lorío, P. Fuentes-Schweizer, D. Vidaurre-Barahona, L. Brenes-Guillén, I. Jiménez, T. Arguedas, W. Liao, and L. Uribe. 2022. “Biogas Production and Microbial Communities of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Co-Digestion of Animal Manures and Food Wastes in Costa Rica”. *Energies* 15 (9): 1-18. DOI: 10.3390/en15093252
- Olano, 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 Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Amazonas (Perú).
- Onen Cinar, S., A. Nsair, N. Wiczorek, & K. Kuchta. 2022. “Long-Term Assessment of Temperature Management in an Industrial Scale Biogas Plant”. *Sustainability* 14 (2): 1-17. DOI: 10.3390/su14020612
- Orobio, B., P. Lozada, L. Rebellón, L. Cleves, C.Franco, W.López, & J. Andrade. 2014. “Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal”. *Revista UDCA*. 17(2).
- Pukalskas, S., D. Kriauciūnas, A. Rimkus, and D. Barta. 2021. “Analysis of the influence of CO<sub>2</sub> concentration on a spark ignition engine fueled with biogas”. *Applied Sciences* 11 (14): 6379. DOI:10.3390/app11146379
- Parajuli, P. 2011. *Biogas measurement techniques and the associates*. Master Thesis. University of Jyväskylä. Fabianinkatu (Finland).
- Sharma, A. K., P. K. Sahoo, M. Mukherjee, & A. Patel. 2022. “clean technologies Assessment of Sustainable Biogas Production from Co-Digestion of Jatropha De-Oiled Cake and Cattle Dung Using Floating Drum Type Digester under Psychrophilic and Mesophilic Conditions”. *Clean technologies* 4 (2): 529–541. DOI: 10.3390/cleantechnol4020032

- Varnero, M. T. 2015. “Biogás y Biodigestores de pequeña y mediana escala Biodigestión anaeróbica”. 7° *Encuentro Red BioLAC Universidad de Chile*. Santiago (Chile).
- Valderrama, M. S. 2021. *Influencia del estiércol de cerdo y los efluentes del proceso húmedo del café, sobre la producción de biogás a nivel de laboratorio*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).
- Verastegui Hernandez, C. Y. (2019). *Producción de biogás por codigestión de estiércol de ganado bovino, lactosuero y cáscara de papaya*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).

## ANEXOS

### Anexo 1. Registro de datos de volumen de biogás producido

**Tabla 14**

*Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 07:00 horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>6</sub>	
1	110	80	97	95.7	47	98.0	100	81.7	75	160	0	78.3	88	0.0	76	54.7	60	0	0	20.0	0	0	18	6.0	19.2
2	155	213	146	171.3	216	186	60	154.0	186	90	105	127.0	60	0.0	125	61.7	88	23	0	37.0	0	20	86	35.3	20.8
3	240	170	184	198.0	175	265	135	191.7	230	125	80	145.0	90	195	100	128.3	110	80	0	63.3	35	0	65	33.3	19.5
4	495	250	440	395.0	315	217	195	242.3	213	160	25	132.7	180	150	145	158.3	150	65	30	81.7	0	80	70	50.0	21.6
5	315	720	390	475.0	420	155	200	258.3	380	125	100	201.7	200	130	178	169.3	185	90	80	118.3	88	120	95	101.0	26.6
6	912	585	310	602.3	288	257	660	401.7	260	170	135	188.3	165	205	199	189.7	147	160	140	149.0	50	156	160	122.0	23.6
7	1035	760	505	766.7	330	280	455	355.0	270	155	150	191.7	245	185	155	195.0	155	135	125	138.3	110	95	120	108.3	23.8
8	1358	1045	575	992.7	480	590	350	473.3	312	580	240	377.3	335	285	200	273.3	245	170	140	185.0	220	135	100	151.7	19.3
9	860	826	643	776.3	526	718	434	559.3	680	345	215	413.3	620	175	255	350.0	480	205	195	293.3	210	120	168	166.0	18.7
10	1075	780	880	911.7	623	330	448	467.0	872	415	195	494.0	340	440	280	353.3	340	305	220	288.3	440	180	105	241.7	20.9
11	915	1150	962	1009.0	700	520	814	678.0	450	325	300	358.3	510	325	315	383.3	510	225	217	317.3	330	310	150	263.3	20.5
12	1040	995	880	971.7	556	850	717	707.7	655	540	460	551.7	830	510	360	566.7	355	430	300	361.7	622	170	220	337.3	19.8
13	1215	1180	965	1120.0	1023	640	564	742.3	735	484	265	494.7	970	400	580	650.0	595	660	505	586.7	500	335	160	331.7	23.0
14	1620	1030	1070	1240.0	950	600	430	660.0	860	713	340	637.7	760	880	675	771.7	955	570	405	643.3	428	512	360	433.3	21.0
15	1545	1018	865	1142.7	1016	760	870	882.0	918	595	425	646.0	1275	600	725	866.7	1045	520	812	792.3	580	650	255	495.0	20.6
16	1330	930	970	1076.7	1170	613	755	846.0	785	426	370	527.0	1100	870	740	903.3	1005	730	665	800.0	845	480	416	580.3	21.7
17	1045	1280	1015	1113.3	1215	970	955	1046.7	860	605	550	671.7	1320	1080	1150	1183.3	875	1060	716	883.7	735	655	610	666.7	22.4
18	1585	940	785	1103.3	1222	755	1005	994.0	970	780	610	786.7	1250	1055	830	1045.0	1230	840	755	941.7	780	500	370	550.0	24.8
19	1620	1130	815	1188.3	1105	1020	828	984.3	1040	960	770	923.3	1055	1180	1010	1081.7	955	1018	805	926.0	840	710	540	696.7	22.5
20	1450	720	980	1050.0	1415	1024	900	1113.0	1450	880	728	1019.3	1020	970	1045	1011.7	1055	1220	900	1058.3	995	812	470	759.0	23.9
21	1710	1015	700	1141.7	1347	913	1035	1098.3	1135	1060	655	950.0	1145	1325	1120	1196.7	945	1000	820	921.7	1118	1075	818	1003.7	21.7
22	1220	1044	955	1073.0	1140	795	1200	1045.0	1000	1280	935	1071.7	1500	1177	805	1160.7	1425	940	1035	1133.3	1230	870	780	960.0	21.4
23	1150	1220	715	1028.3	1240	785	1015	1013.3	938	1040	820	932.7	1340	1085	880	1101.7	1110	1013	960	1027.7	1035	950	1170	1051.7	24.1
24	1105	1010	920	1011.7	1255	900	930	1028.3	1160	875	640	891.7	1015	975	1040	1010.0	1355	970	855	1060.0	1115	1230	1050	1131.7	23.4
25	940	1075	760	925.0	1218	695	1085	999.3	1070	770	540	793.3	1338	1130	810	1092.7	1080	1040	1130	1083.3	1340	1040	880	1086.7	22.7

26	1010	1100	825	978.3	1150	938	1010	1032.7	984	930	600	838.0	1508	755	1075	1112.7	1175	1215	780	1056.7	1515	915	670	1033.3	21.6
27	1025	1034	1130	1063.0	1057	855	955	955.7	700	580	760	680.0	1515	1174	760	1149.7	1035	1280	955	1090.0	1080	1350	945	1125.0	22.0
28	1270	955	670	965.0	950	890	720	853.3	936	880	540	785.3	1060	1015	913	996.0	1048	1130	880	1019.3	1175	1080	1020	1091.7	19.2
29	985	1025	1012	1007.3	1280	950	736	988.7	1050	760	650	820.0	1140	980	955	1025.0	1270	920	1085	1091.7	1067	1220	960	1082.3	22.2
30	1030	940	800	923.3	1050	935	640	875.0	845	615	580	680.0	1118	865	1040	1007.7	1150	1000	865	1005.0	1250	1140	835	1075.0	20.1
31	815	635	520	656.7	650	500	1085	745.0	738	1035	645	806.0	830	580	760	723.3	850	1100	955	968.3	965	875	750	863.3	21.3
32	635	723	660	672.7	810	635	580	675.0	675	520	480	558.3	665	470	540	558.3	630	780	705	705.0	750	600	890	746.7	22.1
33	1040	535	600	725.0	700	575	970	748.3	530	385	565	493.3	715	820	637	724.0	760	570	610	646.7	625	760	575	653.3	17.4
34	580	415	475	490.0	640	325	500	488.3	380	870	520	590.0	655	390	475	506.7	670	400	465	511.7	700	460	625	595.0	21.9
35	375	295	325	331.7	475	540	365	460.0	460	400	613	491.0	435	795	275	501.7	375	1010	515	633.3	950	390	370	570.0	20.6
36	400	385	195	326.7	500	435	350	428.3	700	365	350	471.7	500	480	360	446.7	510	360	425	431.7	360	278	455	364.3	19.4
37	245	255	125	208.3	325	400	415	380.0	390	280	185	285.0	285	190	225	233.3	355	390	275	340.0	415	330	340	361.7	18.3
38	195	200	78	157.7	270	250	310	276.7	255	325	245	275.0	155	235	300	230.0	415	205	170	263.3	290	180	290	253.3	20.4
39	285	55	35	125.0	128	180	213	173.7	190	255	135	193.3	218	180	145	181.0	210	160	90	153.3	300	70	160	176.7	21.3
40	160	135	0	98.3	90	115	170	125.0	340	100	0	146.7	120	70	60	83.3	155	100	140	131.7	280	135	200	205.0	22.2
41	70	45	0	38.3	76	210	90	125.3	155	58	110	107.7	80	0	100	60.0	200	65	70	111.7	170	67	160	132.3	19.8
42	48	0	30	26.0	0	155	120	91.7	90	30	75	65.0	65	55	50	56.7	120	15	40	58.3	80	30	80	63.3	20.7
43	60	20	18	32.7	63	113	80	85.3	160	16	0	58.7	107	30	80	72.3	60	20	38	39.3	120	10	105	78.3	18.4

**Tabla 15***Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 13: horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>6</sub>	
1	75	200	183	152.7	200	155	85	146.7	198	320	90	202.7	100	0.0	155	85.0	0.0	120	70	63.3	0.0	0.0	150	50.0	31.5
2	88	150	460	232.7	275	189	228	230.7	44	150	175	123.0	75	80	210	121.7	0.0	45	88	44.3	0.0	0.0	185	61.7	43.5
3	406	345	265	338.7	500	145	310	318.3	228	360	100	229.3	195	145	410	250.0	0.0	60	136	65.3	80	0.0	225	101.7	37.0
4	385	183	500	356.0	220	305	212	245.7	450	125	218	264.3	300	270	194	254.7	25	100	33	52.7	65	95	100	86.7	41.3
5	570	475	613	552.7	340	195	450	328.3	400	210	340	316.7	240	345	205	263.3	125	180	100	135.0	30	125	210	121.7	40.5
6	425	915	845	728.3	625	475	315	471.7	475	315	290	360.0	412	275	197	294.7	100	125	155	126.7	145	70	125	113.3	47.8
7	482	450	730	554.0	500	385	467	450.7	115	320	280	238.3	540	355	275	390.0	170	155	135	153.3	190	245	160	198.3	41.6
8	520	600	360	493.3	1075	215	670	653.3	365	250	265	293.3	345	565	380	430.0	305	200	195	233.3	280	205	175	220.0	48.1
9	325	1050	570	648.3	900	880	327	702.3	475	195	340	336.7	450	730	528	569.3	280	185	150	205.0	230	180	185	198.3	34.5
10	1000	605	785	796.7	1185	420	690	765.0	225	485	270	326.7	650	470	580	566.7	355	205	330	296.7	315	205	225	248.3	39.4
11	837	1018	680	845.0	930	725	415	690.0	638	282	350	423.3	598	488	985	690.3	315	480	285	360.0	438	375	290	367.7	40.7
12	1520	930	760	1070.0	780	1275	660	905.0	780	450	523	584.3	915	540	773	742.7	560	425	457	480.7	225	355	300	293.3	42.3
13	1350	1134	935	1139.7	1050	750	680	826.7	980	674	345	666.3	1050	870	510	810.0	715	570	340	541.7	345	290	260	298.3	46.7
14	1985	1090	1110	1395.0	785	1170	940	965.0	920	575	690	728.3	1210	980	670	953.3	635	724	510	623.0	275	485	350	370.0	41.4
15	1420	1125	1300	1281.7	950	1030	1075	1018.3	620	330	475	475.0	1190	1015	828	1011.0	805	930	700	811.7	465	325	530	440.0	40.7
16	2145	1340	1075	1520.0	1230	840	1140	1070.0	1275	730	675	893.3	1025	1120	945	1030.0	780	1140	948	956.0	650	550	705	635.0	51.3
17	1700	1235	1118	1351.0	1150	950	730	943.3	1020	850	920	930.0	1375	1060	835	1090.0	955	850	1035	946.7	788	700	885	791.0	46.1
18	1250	1560	1035	1281.7	1510	1055	947	1170.7	1250	1030	860	1046.7	1430	860	970	1086.7	1070	1160	830	1020.0	525	635	780	646.7	34.2
19	1588	1120	970	1226.0	1710	970	1010	1230.0	1075	960	735	923.3	1030	1510	1160	1233.3	828	1020	780	876.0	890	720	935	848.3	39.8
20	1155	1350	1060	1188.3	1430	1380	1135	1315.0	1060	1165	800	1008.3	1775	990	1000	1255.0	1285	930	1065	1093.3	720	975	1060	918.3	46.5
21	1486	1640	1170	1432.0	1230	1150	1070	1150.0	1230	1055	905	1063.3	2350	1050	750	1383.3	1155	1053	1016	1074.7	1070	1185	915	1056.7	44.5
22	1560	1060	880	1166.7	1455	820	1320	1198.3	950	1270	1015	1078.3	1440	1225	870	1178.3	1385	1260	890	1178.3	1350	1035	840	1075.0	42.6

23	1460	1150	1215	1275.0	1095	1440	1160	1231.7	1470	1085	960	1171.7	1210	1078	1564	1284.0	1538	1020	1200	1252.7	1218	1370	1085	1224.3	38.9
24	2100	1080	910	1363.3	1280	1000	690	990.0	1680	976	1040	1232.0	1340	1200	1044	1194.7	1190	1275	1380	1281.7	1454	955	1100	1169.7	42.3
25	1175	1240	1120	1178.3	1050	1260	900	1070.0	1200	1170	880	1083.3	1780	1170	975	1308.3	1380	1130	1055	1188.3	1345	1080	980	1135.0	40.5
26	1230	800	1010	1013.3	1135	1055	1085	1091.7	1105	780	1015	966.7	1370	730	1440	1180.0	1775	955	820	1183.3	1260	1130	1050	1146.7	41.8
27	1040	1100	750	963.3	1085	947	1275	1102.3	1090	855	912	952.3	1055	1250	1180	1161.7	1035	1035	1035	1035.0	1440	975	800	1071.7	43.8
28	1115	1065	970	1050.0	1200	750	1115	1021.7	1145	958	730	944.3	1124	800	1068	997.3	1280	1280	1280	1280.0	1155	1230	1165	1183.3	45.1
29	1030	770	1000	933.3	1138	840	960	979.3	925	780	845	850.0	1043	1010	1170	1074.3	955	955	955	955.0	1070	730	960	920.0	37.9
30	985	855	715	851.7	935	765	880	860.0	1050	940	990	993.3	920	1025	1145	1030.0	1070	815	900	928.3	985	1040	880	968.3	29.7
31	970	570	760	766.7	730	810	690	743.3	810	740	520	690.0	685	840	785	770.0	835	680	755	756.7	780	840	620	746.7	46.4
32	740	825	600	721.7	1230	925	745	966.7	600	715	637	650.7	715	575	695	661.7	655	1185	540	793.3	930	680	755	788.3	40.3
33	630	760	540	643.3	640	700	520	620.0	680	540	730	650.0	550	630	825	668.3	748	580	500	609.3	665	700	545	636.7	30.6
34	755	440	1030	741.7	755	570	425	583.3	430	645	510	528.3	640	455	500	531.7	675	465	735	625.0	580	600	470	550.0	39.4
35	540	500	360	466.7	470	515	335	440.0	385	510	340	411.7	360	265	320	315.0	455	260	435	383.3	480	530	360	456.7	42.3
36	375	270	180	275.0	550	400	280	410.0	425	365	270	353.3	410	320	215	315.0	320	385	510	405.0	375	455	450	426.7	38.7
37	280	380	300	320.0	370	255	345	323.3	513	240	310	354.3	270	455	195	306.7	500	215	380	365.0	510	380	530	473.3	46.0
38	170	215	185	190.0	270	160	140	190.0	320	180	150	216.7	155	230	213	199.3	340	135	415	296.7	295	275	245	271.7	44.3
39	315	120	170	201.7	415	312	213	313.3	255	320	110	228.3	80	120	160	120.0	270	95	230	198.3	375	180	410	321.7	44.8
40	135	60	130	108.3	260	155	55	156.7	134	135	215	161.3	55	40	135	76.7	165	230	155	183.3	185	215	210	203.3	39.7
41	75	0	75	50.0	170	75	0	81.7	90	160	120	123.3	120	0	65	61.7	85	120	98	101.0	118	160	145	141.0	45.1
42	27	0	0	9.0	80	40	30	50.0	175	0	80	85.0	35	90	42	55.7	65	75	100	80.0	105	60	75	80.0	47.3
43	40	35	105	60.0	120	15	0	45.0	120	27	100	82.3	10	56	23	29.7	113	110	75	99.3	120	45	100	88.3	42.8

**Tabla 16**

*Registro de datos del sistema de calefacción solar bajo el cilindro parabólico de policarbonato a las 18:00 horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>6</sub>	
1	62	160	90	104.0	172	50	118	113.3	85	138	110	111.0	50	130	84	88.0	0	0	50	16.7	0	0	58	19.3	20.4
2	73	184	320	192.3	100	105	173	126.0	270	100	122	164.0	73	186	115	124.7	50	0	78	42.7	0	0	80	26.7	26.0
3	175	315	220	236.7	216	175	297	229.3	200	195	160	185.0	48	125	135	102.7	20	66	58	48.0	0	60	156	72.0	25.8
4	250	400	375	341.7	128	424	300	284.0	318	115	198	210.3	197	140	164	167.0	75	45	100	73.3	90	100	125	105.0	21.4
5	302	510	185	332.3	627	485	522	544.7	250	300	145	231.7	62	100	185	115.7	65	78	125	89.3	115	270	138	174.3	22.8
6	400	350	525	425.0	240	545	380	388.3	297	260	160	239.0	177	200	198	191.7	205	190	150	181.7	140	105	160	135.0	22.4
7	775	465	660	633.3	375	460	512	449.0	175	356	128	219.7	215	165	186	188.7	185	264	100	183.0	70	134	197	133.7	20.7
8	510	765	675	650.0	515	600	355	490.0	565	275	176	338.7	318	280	300	299.3	240	318	186	248.0	97	175	268	180.0	24.1
9	720	1040	514	758.0	242	295	365	300.7	185	425	384	331.3	428	200	215	281.0	255	195	217	222.3	110	140	155	135.0	21.5
10	1170	955	1150	1091.7	138	390	470	332.7	280	536	400	405.3	520	330	290	380.0	300	415	275	330.0	160	250	130	180.0	22.7
11	980	1260	1250	1163.3	305	558	385	416.0	675	327	388	463.3	680	670	595	648.3	486	405	165	352.0	155	235	125	171.7	22.1
12	1305	1270	750	1108.3	525	420	610	518.3	725	550	278	517.7	755	560	460	591.7	330	490	198	339.3	135	368	230	244.3	22.2
13	1545	1040	955	1180.0	905	675	460	680.0	688	885	575	716.0	955	830	655	813.3	450	380	420	416.7	280	375	165	273.3	23.4
14	1358	1112	800	1090.0	975	718	905	866.0	694	713	473	626.7	1138	758	500	798.7	730	814	540	694.7	510	274	230	338.0	21.0
15	1957	1450	780	1395.7	915	820	890	875.0	565	495	630	563.3	1415	1085	825	1108.3	810	545	624	659.7	675	195	415	428.3	23.2
16	1575	1032	864	1157.0	988	975	1065	1009.3	934	640	715	763.0	1250	970	1037	1085.7	980	835	700	838.3	700	470	735	635.0	25.9
17	1725	1510	970	1401.7	700	1115	1480	1098.3	755	500	642	632.3	1115	1050	936	1033.7	1160	670	445	758.3	830	665	950	815.0	26.1
18	2150	1017	855	1340.7	645	1280	1338	1087.7	1105	680	520	768.3	1350	1125	750	1075.0	1018	720	695	811.0	670	745	880	765.0	24.8
19	1593	1230	1055	1292.7	1112	1300	1095	1169.0	1150	730	680	853.3	1290	880	1155	1108.3	1260	914	850	1008.0	985	1025	1180	1063.3	23.2
20	1380	1180	670	1076.7	1075	1320	1645	1346.7	1216	1030	1040	1095.3	1725	1100	880	1235.0	1050	1025	765	946.7	1120	970	960	1016.7	22.5
21	1650	1320	930	1300.0	1115	1314	1156	1195.0	1150	1030	810	996.7	1790	1480	1050	1440.0	1435	1250	845	1176.7	840	1100	1035	991.7	24.1
22	1355	935	1185	1158.3	1180	1250	1340	1256.7	1336	1252	940	1176.0	1675	1450	970	1365.0	1350	1035	1015	1133.3	1180	970	1200	1116.7	21.2

23	1221	1115	815	1050.3	1036	1182	1250	1156.0	1470	1012	880	1120.7	1520	970	1230	1240.0	1520	1320	900	1246.7	1325	1150	1090	1188.3	23.2
24	1140	1335	740	1071.7	834	1035	1416	1095.0	1050	755	550	785.0	1650	1270	1085	1335.0	1440	1260	1118	1272.7	1045	968	1112	1041.7	21.5
25	1280	1160	930	1123.3	1015	1195	1330	1180.0	1242	1017	725	994.7	1438	1560	1085	1361.0	1310	1145	1055	1170.0	1200	1370	1015	1195.0	22.3
26	1505	1018	620	1047.7	915	820	1425	1053.3	1020	840	560	806.7	1300	1060	1360	1240.0	1570	1020	875	1155.0	1450	1136	1240	1275.3	21.7
27	1270	1250	1080	1200.0	740	970	1200	970.0	930	600	750	760.0	1310	1110	960	1126.7	1250	765	940	985.0	1270	1252	930	1150.7	22.3
28	855	1040	760	885.0	670	850	1187	902.3	935	760	640	778.3	1170	875	1160	1068.3	1360	1045	720	1041.7	1078	1136	750	988.0	21.4
29	1075	1160	880	1038.3	960	735	1025	906.7	1140	620	575	778.3	1050	1170	755	991.7	1180	885	1035	1033.3	1160	1020	1055	1078.3	21.7
30	970	945	645	853.3	935	935	935	935.0	940	605	755	766.7	1160	920	890	990.0	850	1175	935	986.7	1270	1100	820	1063.3	21.9
31	740	615	575	643.3	765	765	765	765.0	675	475	580	576.7	780	830	650	753.3	670	820	510	666.7	840	670	710	740.0	24.2
32	670	725	480	625.0	580	610	530	573.3	547	505	435	495.7	530	680	750	653.3	780	1240	750	923.3	670	740	560	656.7	22.5
33	1135	560	370	688.3	500	370	455	441.7	390	400	260	350.0	610	770	670	683.3	570	710	460	580.0	540	455	450	481.7	19.5
34	400	490	500	463.3	325	430	300	351.7	425	315	340	360.0	475	530	490	498.3	600	460	640	566.7	720	340	400	486.7	20.6
35	370	430	475	425.0	260	270	425	318.3	315	275	225	271.7	712	440	370	507.3	485	380	365	410.0	475	210	530	405.0	21.1
36	432	355	290	359.0	435	317	255	335.7	250	360	355	321.7	395	265	510	390.0	312	520	230	354.0	350	460	370	393.3	24.1
37	275	200	310	261.7	350	255	195	266.7	170	250	195	205.0	285	238	255	259.3	260	355	165	260.0	280	510	230	340.0	20.6
38	165	130	215	170.0	275	195	370	280.0	300	160	240	233.3	310	375	195	293.3	325	240	213	259.3	190	340	150	226.7	25.7
39	125	55	118	99.3	150	90	200	146.7	245	218	170	211.0	180	150	140	156.7	190	200	170	186.7	210	270	75	185.0	21.6
40	80	95	40	71.7	220	125	140	161.7	165	140	90	131.7	80	125	65	90.0	215	180	155	183.3	315	170	125	203.3	22.4
41	45	0	55	33.3	155	70	110	111.7	80	110	155	115.0	105	90	45	80.0	160	120	100	126.7	185	80	30	98.3	23.8
42	0	25	60	28.3	100	45	60	68.3	55	60	116	77.0	55	0	120	58.3	75	35	60	56.7	105	55	0	53.3	20.7
43	28	60	40	42.7	120	17	35	57.3	140	115	70	108.3	30	17	70	39.0	105	85	44	78.0	140	15	25	60.0	21.8

**Tabla 17**

*Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 07:00 horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C	PT°C	
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>6</sub>			
1	170	75	40	95.0	95	25	160	93.3	170	160	20	116.7	150	0	135	95.0	0	0	160	53.3	140	75	0	71.7	27.1	29.2	28
2	140	195	84	139.7	125	90	320	178.3	90	195	60	115.0	110	55	200	121.7	40	0	90	43.3	125	100	0	75.0	26.1	27.4	27
3	210	490	125	275.0	300	100	325	241.7	200	180	165	181.7	40	100	280	140.0	146	280	130	185.3	166	195	45	135.3	25.1	26.8	26
4	470	310	270	350.0	270	205	140	205.0	245	230	155	210.0	180	155	195	176.7	90	170	175	145.0	80	60	100	80.0	26.5	26.8	27
5	625	370	430	475.0	510	380	215	368.3	310	265	285	286.7	410	180	305	298.3	155	165	200	173.3	215	340	195	250.0	27.4	27.5	27
6	560	700	350	536.7	440	625	365	476.7	375	420	200	331.7	490	315	260	355.0	305	215	190	236.7	365	315	200	293.3	26.1	28.5	27
7	670	755	560	661.7	665	325	460	483.3	465	340	280	361.7	300	505	475	426.7	285	410	270	321.7	255	270	180	235.0	27.2	26.5	27
8	915	840	735	830.0	305	670	295	423.3	585	400	455	480.0	295	370	560	408.3	355	545	310	403.3	500	375	155	343.3	26.5	25.2	26
9	1080	905	840	941.7	710	320	530	520.0	690	280	490	486.7	685	475	325	495.0	525	275	465	421.7	620	550	480	550.0	27.1	27.2	27
10	1230	1025	965	1073.3	470	525	695	563.3	700	395	580	558.3	540	585	485	536.7	500	470	390	453.3	710	690	290	563.3	25.4	27.1	26
11	1125	1220	770	1038.3	815	600	830	748.3	690	400	580	556.7	795	410	525	576.7	395	630	410	478.3	650	450	675	591.7	28.8	27.6	28
12	1325	1070	1180	1191.7	795	525	940	753.3	760	510	460	576.7	500	630	665	598.3	710	455	370	511.7	670	530	395	531.7	27.3	27.1	27
13	1675	1190	1240	1368.3	995	730	700	808.3	955	830	580	788.3	730	485	390	535.0	580	390	400	456.7	595	605	700	633.3	27.2	27.5	28
14	1120	1650	980	1250.0	1125	615	960	900.0	870	1005	620	831.7	645	815	750	736.7	945	550	690	728.3	745	570	475	596.7	26.7	26.4	27
15	1365	1170	1040	1191.7	1045	1075	1090	1070.0	755	960	780	831.7	965	785	800	850.0	600	805	710	705.0	840	585	660	695.0	25.3	25.1	25
16	1750	955	1100	1268.3	1350	970	960	1093.3	1020	760	605	795.0	780	1035	945	920.0	955	680	765	800.0	670	880	920	823.3	27.1	25.3	26
17	1575	1150	860	1195.0	1200	800	1035	1011.7	970	1035	845	950.0	1110	955	840	968.3	790	1215	980	995.0	790	865	890	848.3	25.2	26.4	26
18	1210	1055	925	1063.3	1060	1265	1180	1168.3	1140	1080	880	1033.3	1080	1210	935	1075.0	1160	1085	900	1048.3	805	955	740	833.3	25.5	26.4	26
19	1400	988	1010	1132.7	1420	1080	850	1116.7	1260	900	750	970.0	1320	1145	1025	1163.3	1045	1240	1010	1098.3	785	900	1135	940.0	25.5	26.1	26
20	1170	1090	1160	1140.0	1315	1170	1000	1161.7	1180	980	1030	1063.3	1255	1035	765	1018.3	1360	980	870	1070.0	1015	1140	860	1005.0	27.3	27.1	27
21	1260	1180	775	1071.7	1350	900	1020	1090.0	1315	1160	805	1093.3	985	1305	1180	1156.7	1135	1000	1055	1063.3	1145	955	1260	1120.0	26.6	25.9	26
22	1315	980	925	1073.3	1110	1240	1115	1155.0	1180	735	965	960.0	1340	1100	975	1138.3	1240	930	1125	1098.3	980	1380	1100	1153.3	27.1	27.1	27
23	1450	1025	1015	1163.3	1220	1010	1000	1076.7	1285	942	1015	1080.7	1080	1260	1030	1123.3	1055	1415	950	1140.0	1050	1140	1235	1141.7	26.8	26.4	27
24	1510	630	1095	1078.3	1136	945	930	1003.7	1050	805	880	911.7	1415	940	780	1045.0	1300	1110	1035	1148.3	1200	945	1035	1060.0	26.6	25.9	26
25	1380	965	935	1093.3	1255	1100	960	1105.0	955	700	580	745.0	1000	950	1070	1006.7	1085	1235	870	1063.3	1180	1050	920	1050.0	26.8	26.1	26

26	990	1025	865	960.0	1115	1005	1055	1058.3	840	600	618	686.0	1400	1050	890	1113.3	1350	1080	1150	1193.3	1315	1070	1155	1180.0	27.1	26.8	27
27	1025	870	930	941.7	870	930	1175	991.7	765	565	500	610.0	1250	855	1085	1063.3	1250	942	900	1030.7	1215	955	875	1015.0	25.7	26.1	26
28	965	910	1010	961.7	1085	740	920	915.0	1085	815	620	840.0	960	1280	1115	1118.3	1035	1140	1070	1081.7	1085	1035	750	956.7	27.0	26.4	27
29	935	1115	1035	1028.3	965	870	1015	950.0	800	675	650	708.3	1065	780	950	931.7	1195	925	1135	1085.0	945	870	1045	953.3	26.3	27.1	27
30	1055	940	980	991.7	855	905	940	900.0	740	700	590	676.7	975	1045	1000	1006.7	1005	1055	970	1010.0	980	890	900	923.3	26.7	25.2	26
31	825	680	715	740.0	670	695	730	698.3	680	620	470	590.0	755	835	715	768.3	830	510	755	698.3	680	580	770	676.7	26.8	25.7	26
32	655	485	1025	721.7	700	435	840	658.3	755	600	550	635.0	800	670	530	666.7	650	370	480	500.0	760	375	690	608.3	27.2	30.2	29
33	800	560	475	611.7	530	345	300	391.7	590	525	455	523.3	575	750	470	598.3	730	455	630	605.0	570	415	375	453.3	26.2	25.5	26
34	540	375	400	438.3	370	510	415	431.7	650	475	535	553.3	740	620	555	638.3	410	380	512	434.0	800	380	465	548.3	26.8	26.4	27
35	435	425	530	463.3	420	400	275	365.0	435	400	378	404.3	450	550	385	461.7	475	515	400	463.3	490	510	280	426.7	26.3	26.9	27
36	255	310	215	260.0	355	280	325	320.0	480	335	320	378.3	285	315	250	283.3	510	420	275	401.7	570	275	315	386.7	26.4	26.9	27
37	375	240	360	325.0	370	255	290	305.0	345	270	200	271.7	300	240	178	239.3	355	160	185	233.3	630	410	195	411.7	26.6	26.2	26
38	230	155	160	181.7	290	200	310	266.7	235	185	155	191.7	225	155	213	197.7	275	215	135	208.3	275	325	100	233.3	27.1	26.9	27
39	160	115	185	153.3	220	160	185	188.3	300	215	108	207.7	170	110	155	145.0	250	135	175	186.7	345	180	52	192.3	26.4	26.3	26
40	70	130	165	121.7	145	0	90	78.3	195	120	98	137.7	215	0	80	98.3	180	65	105	116.7	245	90	65	133.3	26.1	27.2	27
41	120	0	55	58.3	100	60	45	68.3	100	60	40	66.7	90	25	140	85.0	155	0	110	88.3	155	155	0	103.3	25.4	26.5	26
42	80	55	0	45.0	70	0	15	28.3	150	35	17	67.3	110	0	165	91.7	215	35	45	98.3	110	90	0	66.7	27.8	28.3	28
43	45	35	25	35.0	55	40	20	38.3	80	50	26	52.0	65	18	120	67.7	120	0	40	53.3	145	55	15	71.7	26.9	27.6	27

**Tabla 18**

*Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 13:00 horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C	PT°C	
	R1	R2	R3	PT1	R1	R2	R3	PT2	R1	R2	R3	PT3	R1	R2	R3	PT4	R1	R2	R3	PT4	R1	R2	R3	PT6			
1	250	65	125	146.7	120	95	210	141.7	140	160	95	131.7	90	105	140	111.7	80	30	0	36.7	110	0	0	36.7	31.5	29.8	31
2	175	115	260	183.3	210	130	190	176.7	220	155	110	161.7	115	150	200	155.0	175	115	0	96.7	95	200	155	150.0	32.6	33.7	33
3	300	250	240	263.3	475	210	355	346.7	155	205	160	173.3	270	230	180	226.7	265	230	40	178.3	80	140	170	130.0	34.1	34.6	34
4	530	200	190	306.7	205	300	417	307.3	290	270	200	253.3	400	340	235	325.0	240	170	60	156.7	250	115	150	171.7	31.6	31.2	31
5	710	375	425	503.3	312	415	275	334.0	420	190	240	283.3	575	520	430	508.3	395	255	55	235.0	170	125	360	218.3	34.3	34.5	34
6	685	290	330	435.0	400	380	340	373.3	275	320	260	285.0	685	390	520	531.7	475	420	100	331.7	105	80	495	226.7	34.5	34.8	35
7	790	415	820	675.0	630	265	500	465.0	318	220	225	254.3	360	455	460	425.0	410	580	145	378.3	100	90	525	238.3	34.9	34.7	35
8	560	835	525	640.0	555	415	670	546.7	270	380	540	396.7	610	370	275	418.3	375	445	180	333.3	125	155	270	183.3	35.0	34.9	35
9	950	560	1010	840.0	775	355	800	643.3	520	245	360	375.0	740	710	625	691.7	355	510	120	328.3	220	190	540	316.7	29.1	29.9	30
10	1100	605	858	854.3	595	715	660	656.7	730	680	310	573.3	820	640	915	791.7	565	480	155	400.0	176	260	390	275.3	31.4	33.8	33
11	850	910	730	830.0	860	580	1010	816.7	870	805	445	706.7	935	875	700	836.7	490	375	195	353.3	345	390	620	451.7	34.7	33.7	34
12	1290	785	1050	1041.7	1030	835	855	906.7	700	895	546	713.7	875	640	680	731.7	400	775	220	465.0	625	455	630	570.0	32.3	31.2	32
13	1570	1055	1230	1285.0	960	1280	730	990.0	890	815	635	780.0	1080	895	930	968.3	545	410	325	426.7	750	575	490	605.0	33.5	34.2	34
14	2135	1160	1100	1465.0	1255	990	1115	1120.0	1045	720	940	901.7	975	1010	935	973.3	970	685	340	665.0	685	800	575	686.7	32.5	33.8	33
15	1460	980	1305	1248.3	1190	890	850	976.7	915	940	760	871.7	1120	870	865	951.7	690	950	480	706.7	910	755	790	818.3	34.8	33.4	34
16	1220	1610	1070	1300.0	1370	1045	950	1121.7	1130	1050	990	1056.7	940	1175	1015	1043.3	860	745	550	718.3	870	960	720	850.0	34.9	34.7	35
17	1475	1220	970	1221.7	1540	985	1225	1250.0	1235	880	1115	1076.7	1135	990	975	1033.3	780	680	490	650.0	1150	930	705	928.3	35.0	34.8	35
18	1150	1380	1270	1266.7	1480	870	1115	1155.0	920	1280	1005	1068.3	1080	995	930	1001.7	910	965	435	770.0	970	850	925	915.0	32.1	32.6	32
19	1460	940	1035	1145.0	1610	795	1055	1153.3	1520	1180	850	1183.3	1265	1185	985	1145.0	860	1055	620	845.0	990	1065	700	918.3	33.1	32.3	33
20	1580	1150	855	1195.0	1400	810	1280	1163.3	1230	1250	1020	1166.7	1450	1255	1150	1285.0	965	900	580	815.0	890	970	775	878.3	33.2	32.2	33
21	1200	1560	1035	1265.0	1618	1170	1035	1274.3	1040	900	1315	1085.0	1280	1125	1165	1190.0	1000	970	770	913.3	830	700	660	730.0	31.6	32.3	32
22	1150	1250	1380	1260.0	1060	1060	1275	1131.7	1390	970	1125	1161.7	1510	1240	1040	1263.3	970	1025	820	938.3	970	850	1180	1000.0	34.5	34.7	35
23	1440	1170	1150	1253.3	1330	1250	1080	1220.0	1270	1050	1120	1146.7	1350	1100	1315	1255.0	1175	980	1025	1060.0	1080	790	945	938.3	33.4	34.9	34
24	1230	870	1420	1173.3	1075	945	1220	1080.0	855	1380	990	1075.0	1150	1320	900	1123.3	1280	1035	1220	1178.3	800	1255	1020	1025.0	35.0	34.9	35
25	1055	1025	955	1011.7	1420	1200	1190	1270.0	1350	1155	1080	1195.0	1280	1030	1090	1133.3	1370	1020	735	1041.7	1430	930	900	1086.7	33.3	34.5	34

26	1335	750	1350	1145.0	1530	755	1275	1186.7	1195	1050	1140	1128.3	1055	905	710	890.0	1180	950	1140	1090.0	1190	1300	1155	1215.0	31.4	33.9	33
27	1180	1200	1025	1135.0	1255	1325	955	1178.3	1415	915	840	1056.7	855	780	1200	945.0	1055	870	920	948.3	1220	1045	840	1035.0	33.7	34.2	34
28	950	1170	840	986.7	1055	935	1040	1010.0	940	1140	1320	1133.3	970	530	1480	993.3	1230	1190	900	1106.7	1040	850	960	950.0	35.0	34.9	35
29	1040	930	1100	1023.3	970	900	830	900.0	880	955	925	920.0	1025	1085	785	965.0	940	760	855	851.7	955	730	1075	920.0	33.7	34.5	34
30	920	745	810	825.0	1120	755	970	948.3	1035	770	800	868.3	920	740	880	846.7	1180	920	850	983.3	1180	970	880	1010.0	28.5	28.6	29
31	730	560	1050	780.0	825	475	610	636.7	755	580	920	751.7	925	425	655	668.3	755	475	650	626.7	830	550	620	666.7	35.0	34.8	35
32	540	645	435	540.0	530	655	714	633.0	540	370	550	486.7	455	630	440	508.3	485	635	625	581.7	655	980	370	668.3	33.6	34.9	34
33	310	480	640	476.7	655	375	455	495.0	660	450	355	488.3	630	500	325	485.0	640	317	570	509.0	435	440	540	471.7	29.2	31.1	30
34	550	710	550	603.3	740	400	640	593.3	375	240	270	295.0	275	330	180	261.7	370	500	340	403.3	510	325	300	378.3	33.2	34.1	34
35	425	320	370	371.7	470	270	340	360.0	520	275	140	311.7	700	170	360	410.0	505	275	180	320.0	340	255	180	258.3	35.0	33.9	34
36	370	155	240	255.0	312	140	270	240.7	400	315	55	256.7	320	205	220	248.3	545	380	225	383.3	420	155	255	276.7	34.5	34.9	35
37	255	220	185	220.0	275	215	125	205.0	440	155	120	238.3	190	65	120	125.0	280	120	70	156.7	280	120	120	173.3	34.0	33.7	34
38	290	120	120	176.7	195	95	200	163.3	280	430	214	308.0	260	120	175	185.0	165	180	105	150.0	500	95	170	255.0	34.5	34.1	34
39	180	75	50	101.7	255	40	76	123.7	180	130	185	165.0	75	25	215	105.0	215	60	45	106.7	245	40	205	163.3	33.7	34.2	34
40	80	105	0	61.7	155	120	25	100.0	40	80	40	53.3	43	85	80	69.3	170	345	0	171.7	190	0	65	85.0	35.0	34.6	35
41	95	45	0	46.7	95	75	0	56.7	120	25	100	81.7	0	20	45	21.7	105	220	0	108.3	120	0	140	86.7	34.2	34.8	35
42	120	18	0	46.0	40	38	17	31.7	55	0	70	41.7	0	48	0	16.0	80	100	15	65.0	68	15	110	64.3	33.7	34.5	34
43	38	35	10	27.7	55	105	0	53.3	100	0	18	39.3	0	30	15	15.0	125	40	5	56.7	135	10	60	68.3	34.1	34.7	34

**Tabla 19***Registro de datos con sistema de calefacción controlado a las 18:00 horas*

N° DÍAS	T1(mL)				T2(mL)				T3(mL)				T4(mL)				T5(mL)				T6(mL)				T°C	PT°C	
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	PT <sub>1</sub>			
1	85	205	125	138.3	180	60	145	128.3	185	0	100	95.0	100	0	90	63.3	55	30	0	28.3	105	0	70	58.3	24.3	25.1	25
2	235	155	70	153.3	298	190	85	191.0	225	85	140	150.0	170	40	195	135.0	90	60	0	50.0	40	0	95	45.0	25.1	25.2	25
3	317	225	190	244.0	200	375	195	256.7	190	138	95	141.0	335	180	315	276.7	25	175	45	81.7	50	10	125	61.7	27.5	28.4	28
4	635	318	240	397.7	585	185	200	323.3	340	115	135	196.7	290	345	160	265.0	155	250	125	176.7	100	45	65	70.0	28.5	29.8	29
5	470	650	400	506.7	455	320	350	375.0	260	280	160	233.3	425	380	280	361.7	220	192	160	190.7	215	60	150	141.7	28.1	30.5	29
6	420	280	275	325.0	510	425	325	420.0	520	170	385	358.3	210	415	270	298.3	375	210	135	240.0	170	30	95	98.3	28.3	30.6	29
7	610	325	530	488.3	745	605	530	626.7	220	415	200	278.3	545	230	480	418.3	245	420	205	290.0	235	55	100	130.0	27.9	29.2	29
8	825	540	750	705.0	620	513	480	537.7	345	526	335	402.0	470	510	380	453.3	615	380	340	445.0	350	120	180	216.7	29.3	31.1	30
9	745	865	765	791.7	595	735	630	653.3	575	280	290	381.7	580	185	475	413.3	480	220	375	358.3	375	110	245	243.3	25.9	26.1	26
10	895	670	1155	906.7	845	700	580	708.3	430	300	415	381.7	700	570	585	618.3	590	460	560	536.7	300	135	190	208.3	26.9	28.6	28
11	1060	785	1075	973.3	750	880	670	766.7	850	760	620	743.3	675	690	555	640.0	380	520	415	438.3	650	240	285	391.7	27.2	26.9	27
12	1290	1085	1230	1201.7	1025	905	475	801.7	965	830	480	758.3	775	500	390	555.0	465	490	645	533.3	850	300	490	546.7	26.7	27.7	27
13	1450	1255	960	1221.7	845	1210	780	945.0	1035	990	640	888.3	705	817	615	712.3	590	280	575	481.7	685	450	290	475.0	26.5	28.1	27
14	1570	1130	1360	1353.3	1180	920	945	1015.0	780	1100	660	846.7	955	790	780	841.7	640	590	735	655.0	880	360	570	603.3	28.7	27.3	28
15	1280	975	1475	1243.3	980	1240	1070	1096.7	1120	860	1055	1011.7	970	1090	705	921.7	715	550	375	546.7	930	280	750	653.3	28.3	30.1	29
16	1485	1510	1040	1345.0	1380	1060	1230	1223.3	1222	760	475	819.0	1130	1200	980	1103.3	1060	745	950	918.3	665	475	1120	753.3	29.4	28.3	29
17	1180	1370	1220	1256.7	1255	1545	1128	1309.3	900	965	850	905.0	1340	1010	865	1071.7	980	680	970	876.7	970	325	875	723.3	29.3	31.4	30
18	1310	1230	1415	1318.3	1055	1235	1035	1108.3	1105	1260	790	1051.7	1260	1230	1155	1215.0	1135	930	895	986.7	1060	510	730	766.7	30.3	31.2	31
19	1605	1110	1235	1316.7	1170	1330	970	1156.7	1180	870	846	965.3	1530	1450	985	1321.7	935	1235	1080	1083.3	985	675	900	853.3	26.7	27.9	27
20	1560	955	1010	1175.0	1230	970	1340	1180.0	1275	965	1000	1080.0	1360	1215	1300	1291.7	1100	900	1220	1073.3	830	980	1195	1001.7	27.3	26.9	27
21	1195	1285	1025	1168.3	1250	915	1120	1095.0	1160	1250	780	1063.3	1285	1410	1075	1256.7	1255	1015	1315	1195.0	870	970	775	871.7	26.3	27.1	27
22	1215	880	1315	1136.7	1180	1055	985	1073.3	1080	1075	935	1030.0	1135	1035	1215	1128.3	1345	1285	1145	1258.3	780	1010	915	901.7	27.5	27.1	27
23	1320	1150	1255	1241.7	1065	1220	1115	1133.3	940	875	1055	956.7	1410	1260	1180	1283.3	1115	1195	1090	1133.3	1145	980	1085	1070.0	25.5	26.5	26

24	1080	755	1140	991.7	1184	1182	1440	1268.7	1085	1000	735	940.0	1280	1375	975	1210.0	1400	1108	1220	1242.7	850	1156	985	997.0	31.8	30.5	31
25	1227	1105	1255	1195.7	855	1225	1088	1056.0	1016	960	1195	1057.0	1405	1184	1030	1206.3	1135	1290	970	1131.7	1195	1340	1035	1190.0	27.2	27.9	28
26	1210	968	1018	1065.3	1240	1170	915	1108.3	1235	950	880	1021.7	1155	1500	870	1175.0	1245	880	955	1026.7	1225	1185	840	1083.3	26.5	26.8	27
27	1060	985	940	995.0	940	940	1070	983.3	1065	1420	780	1088.3	1255	1045	1155	1151.7	1055	915	1150	1040.0	1095	1000	977	1024.0	31.3	30.9	31
28	1355	1050	770	1058.3	1085	755	950	930.0	915	1170	1040	1041.7	935	1135	1235	1101.7	870	1080	875	941.7	940	1060	1200	1066.7	32.6	32.8	33
29	975	1045	855	958.3	1245	1055	840	1046.7	920	860	930	903.3	1180	840	1075	1031.7	955	880	1060	965.0	1035	955	750	913.3	29.4	29.8	30
30	1050	1035	870	985.0	1035	940	890	955.0	1035	1017	825	959.0	970	800	955	908.3	930	900	1120	983.3	920	850	975	915.0	27.1	27.5	27
31	735	550	425	570.0	718	585	613	638.7	855	650	425	643.3	625	435	710	590.0	530	725	670	641.7	730	450	675	618.3	24.2	24.6	24
32	580	960	630	723.3	520	670	935	708.3	675	870	750	765.0	485	725	560	590.0	690	530	815	678.3	520	680	415	538.3	29.4	29.8	30
33	635	385	415	478.3	455	420	390	421.7	540	570	340	483.3	525	450	640	538.3	455	365	625	481.7	468	360	560	462.7	29.1	26.2	28
34	480	455	275	403.3	630	375	240	415.0	713	375	280	456.0	370	400	275	348.3	400	295	415	370.0	615	250	320	395.0	27.4	27.6	28
35	375	235	340	316.7	340	255	305	300.0	420	318	510	416.0	255	220	340	271.7	470	415	320	401.7	390	150	270	270.0	26.3	27.1	27
36	355	415	190	320.0	300	410	175	295.0	255	240	180	225.0	155	140	285	193.3	310	180	220	236.7	255	200	240	231.7	29.1	29.6	29
37	240	150	255	215.0	195	200	340	245.0	160	190	55	135.0	80	35	120	78.3	185	65	145	131.7	312	130	345	262.3	28.5	29.1	29
38	160	60	120	113.3	120	65	180	121.7	85	125	135	115.0	45	20	50	38.3	160	125	215	166.7	160	40	180	126.7	30.5	31.2	31
39	55	25	80	53.3	160	55	220	145.0	25	120	40	61.7	105	0	30	45.0	210	30	65	101.7	240	20	60	106.7	27.3	27.9	28
40	155	55	40	83.3	225	145	50	140.0	0	105	28	44.3	60	0	15	25.0	120	0	40	53.3	125	0	120	81.7	26.4	26.7	27
41	90	0	20	36.7	80	30	130	80.0	47	80	7	44.7	35	8	0	14.3	40	0	35	25.0	85	0	105	63.3	29.3	30.1	30
42	35	18	5	19.3	130	0	70	66.7	20	110	0	43.3	78	17	40	45.0	110	18	60	62.7	75	12	80	55.7	31.2	29.9	31
43	15	40	0	18.3	100	18	40	52.7	12	77	25	38.0	45	0	25	23.3	75	40	25	46.7	50	0	100	50.0	28.3	29.1	29

## **Análisis estadístico para ver si los datos se ajustan a la normalidad**

```
df1 = read.xlsx("DATOS.xlsx", sheet = 3) # son todos los datos
```

```
df2 = read.xlsx("DATOS.xlsx", sheet = 1)# solo controlado
```

```
df3 = read.xlsx("DATOS.xlsx", sheet = 2)# solo solar
```

NORMALIDAD (SHAPIRO (<50); KOLGOMOROV-SMIRNOV (>50))

H0 = HAY NORMALIDAD (P>0.05)

H1 = NO HAY NORMALIDAD (P<0.05)

- No hay normalidad para la producción de biogás considerando ambos sistemas

Prueba de normalidad de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov)

Data: df1\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS

D = 0.091822, p-value < 2.2e<sup>-16</sup>

- No hay normalidad para la producción de biogás con calefacción controlado

Prueba de normalidad de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov)

Data: df2\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS

D = 0.090192, p-value < 2.2e<sup>-16</sup>

- No hay normalidad para la producción de biogás con calefacción solar

Prueba de normalidad de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov)

Data: df3\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS

D = 0.094471, p-value < 2.2e<sup>-16</sup>

## **Cuál es el mejor tratamiento para el sistema de calefacción controlado (Kruskal-Wallis)**

Data: df2\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS by df2\$TRATAMIENTO

Kruskal-Wallis chi-cuadrado = 51.123, df = 5, p-value = 8.161e<sup>-10</sup>

- Test de conover para comparación múltiple de medias o medianas

Letras diferentes indican diferencias significativas  $\Pr(>|q|) < 0,05$

Tratamientos	mediana	Q25	Q75	grupo
T1	785	285.0	1087.5	a
T2	670	292.5	1032.5	ab
T3	575	225.0	920.0	bcd
T4	625	230	987.5	bc
T5	490	193.5	930.0	cd
T6	500	170.0	880.0	d

### Cuál es el mejor tratamiento para el sistema de calefacción solar (Kruskal-Wallis)

Data: df3\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS by df3\$TRATAMIENTO

Kruskal-Wallis chi-cuadrado = 57.834, df = 5, p-value = 3.403e-11

Letras diferentes indican diferencias significativas  $\Pr(>|q|) < 0,05$

Tratamientos	mediana	Q25	Q75	grupo
T1	760	317.5	1062.5	a
T2	627	296.0	970.0	ab
T3	495	240.0	780.0	cd
T4	620	200.0	1033.5	abc
T5	510	170.0	951.5	bcd
T6	428	160.0	877.5	d

### Diferencias entre los sistemas (t de student)

H0 = NO HAY DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS (P>0.05)

H1 = SI HAY DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS (P<0.05)

➤ No hay diferencias según el tipo de calefacción (Intervalo de confianza del 95%)

Data: df1\$MEDICIÓN.DE.BIOGAS by df1\$SISTEMA.DE.CALEFACCIÓN

t = 0.708, df = 4640.5, p-value = 0.479

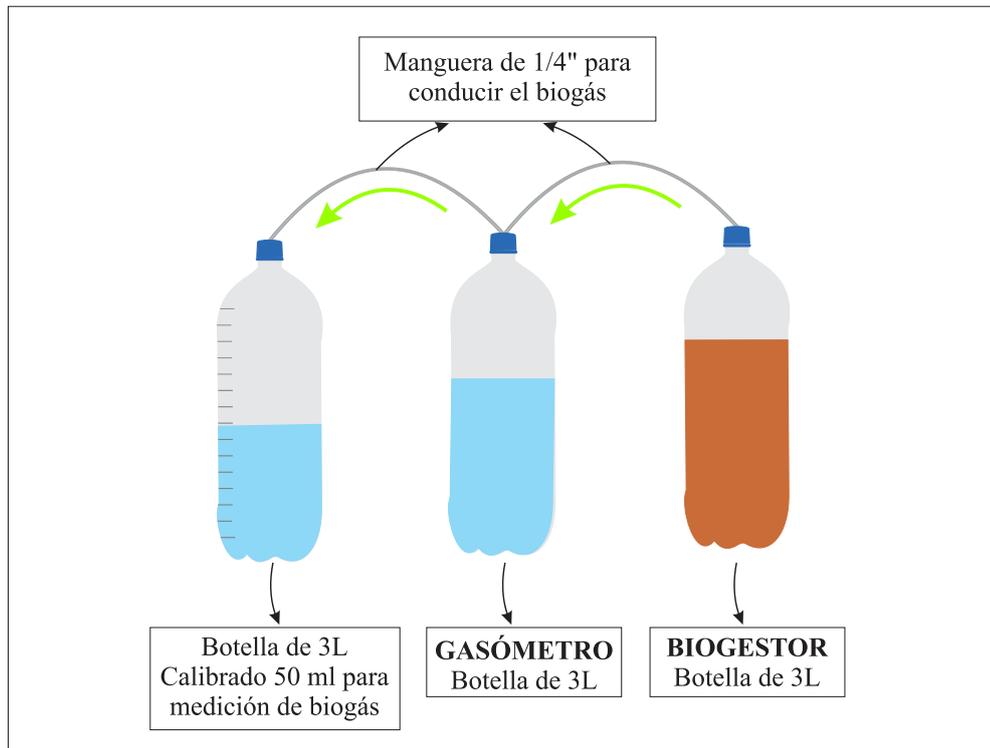
Estimaciones de muestra: medida del grupo solar = 610.8587 y medida del grupo controlado = 619.6464

**Tabla 20***Datos de irradiación kW/ m<sup>2</sup> y temperatura °C*

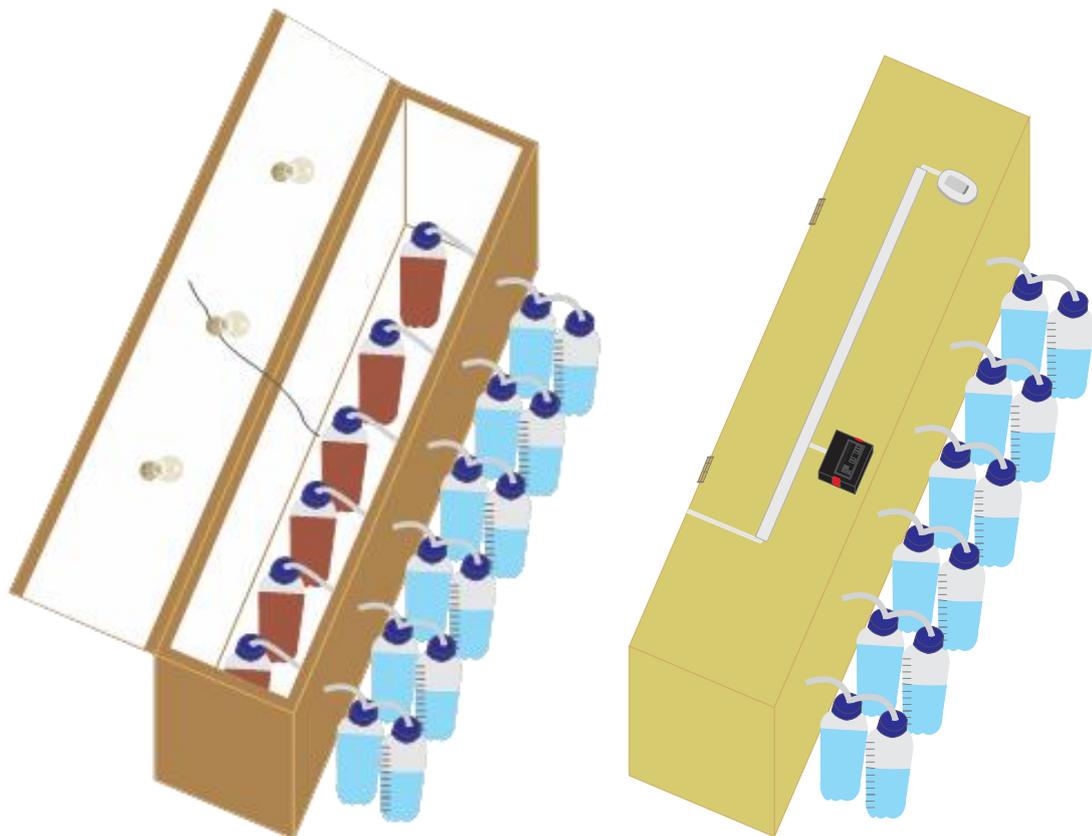
DÍAS EVALUADOS	Irradiación kW/m <sup>2</sup>	Temperatura (°C) 07:00 horas	Temperatura (°C) 13:00 horas	Temperatura (°C) 06:00 horas
8/06/2021	3.10	19.2	31.5	20.4
9/06/2021	3.99	20.8	43.5	26
10/06/2021	4.88	19.5	37	25.8
11/06/2021	5.15	21.6	41.3	21.4
12/06/2021	6.13	23.8	40.5	22.8
13/06/2021	5.29	23.6	47.8	22.4
14/06/2021	5.94	26.6	41.6	20.7
15/06/2021	6.59	19.3	48.1	24.1
16/06/2021	2.89	18.7	34.5	21.5
17/06/2021	3.91	20.9	39.4	22.7
18/06/2021	2.72	20.5	40.7	22.1
19/06/2021	3.82	19.8	42.3	22.2
20/06/2021	2.12	23.7	46.7	23.4
21/06/2021	5.41	21	41.4	21
22/06/2021	4.85	20.6	40.7	23.2
23/06/2021	6.97	21.7	51.3	25.9
24/06/2021	6.66	22.4	46.1	26.1
25/06/2021	7.03	24.8	34.2	24.8
26/06/2021	6.42	22.5	39.8	23.2
27/06/2021	2.21	23.9	46.5	22.5
28/06/2021	4.92	21.7	44.5	24.1
28/06/2021	2.00	21.4	42.6	21.2
30/06/2021	3.03	24.1	38.9	23.2
1/07/2021	5.49	23.4	42.3	21.5
2/07/2021	7.35	22.7	40.5	22.3
3/07/2021	7.64	21.6	41.8	21.7
4/07/2021	7.73	22	43.8	22.3
5/07/2021	7.67	19.2	45.1	21.4
6/07/2021	7.56	22.2	37.9	21.7
7/07/2021	6.43	20.1	29.7	21.9
12/07/2021	3.58	21.3	46.4	24.2
13/07/2021	3.74	22.1	40.3	22.5
14/07/2021	5.89	17.4	30.6	19.5
15/07/2021	4.27	21.9	39.4	20.6
16/07/2021	2.87	20.6	42.3	21.1
17/07/2021	3.39	19.4	38.7	24.1
18/07/2021	3.97	18.3	46	20.6
19/07/2021	4.24	20.4	44.3	25.7
20/07/2021	5.41	21.3	44.8	21.6
21/07/2021	4.33	22.2	39.7	22.4
22/07/2021	3.77	19.8	45.1	23.8
23/07/2021	5.91	20.7	47.3	20.7
24/07/2021	6.02	18.4	42.8	21.8

## Anexo 2. Equipos experimentales

Sistema de calefacción solar



Sistema de calefacción controlado con termostato STC-1000



**Anexo 3.**

**Figura 34**

*Figuras del Experimento*



**Ilustración 1** *pH de agua de lluvias*



**Ilustración 2** *pH de la miel utilizada*



**Ilustración 3** *pH de la tara (Caesalpinia spinosa)*



**Ilustración 4** *Estiércol de ganado vacuno*



**Ilustración 5** *Pesado del estiércol de vacuno*



**Ilustración 6** *Medición de la melaza utilizada*



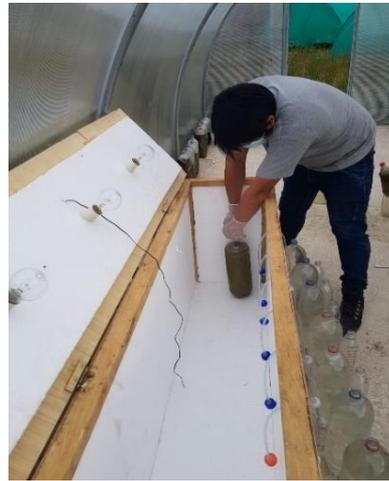
**Ilustración 7** *Cargando los biodigestores (Caesalpinia spinosa)*



**Ilustración 8** *Pesado de la tara (Caesalpinia)*



**Ilustración 9** *Construcción del sistema de biodigestores colección controlada*



**Ilustración 10** *Instalación de los*



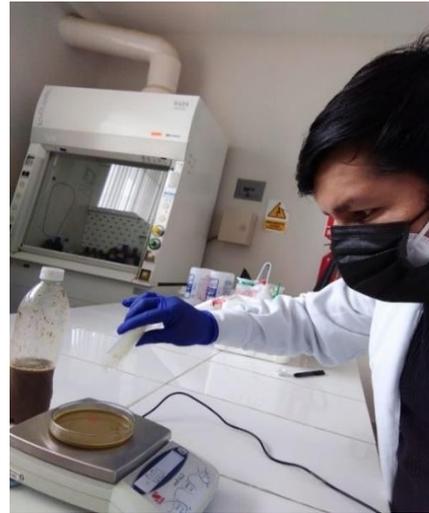
**Ilustración 11** *Recolección de la tara (Caesalpinia spinosa)*



**Ilustración 12** *Termómetro para controlar la °T*



**Ilustración 13** *Recolección de datos*



**Ilustración 14** *Medición de sólidos totales*



**Ilustración 15** *Medición del metano CH<sub>4</sub>*



**Ilustración 16** *Equipo para medir el metano CH<sub>4</sub>*



**Ilustración 17** *Balanza analítica para la distribución de las variables*



**Ilustración 18** *Equipo termostato STC-1000*