



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Lizet Rocio Belsuzarri Poma (0000-0001-6271-0022)

Asesor:

Olga Vadimovna Kostenko De Caparo (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2024

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 08 de abril del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Noé Ordóñez Machicao
Miembro: Mg. Roxana Yanett Díaz Vega
Miembro: Mg. Jimmy Castillo Becerra

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“ESTUDIO DEL POTENCIAL DEL GLICEROL ALCALINO DE LA INDUSTRIA PESQUERA COMO CO-SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”**

Presentada por la bachiller:

- **Lizet Rocio Belsuzarri Poma**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Olga Vadimovna Kostenko

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Lizet Rocio Belsuzarri Poma			Nota (en letras): 16 (DIECISÉIS)	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado Sobresaliente ( )	-	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. Noé Ordóñez Machicao**  
Presidente



**Mg. Roxana Yanett Díaz Vega**  
Miembro 1



**Mg. Jimmy Castillo Becerra**  
Miembro 2



**Mg. Olga Vadimovna Kostenko**  
Asesor

**ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN<sup>1</sup>**

Lima, 18 de Abril del 2024

Señor,  
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Universidad Científica del Sur  
Presente. –**

De nuestra consideración,

Yo: Lizet Rocio Belsuzarri Poma, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con la asesora de tesis, Olga Vadimovna Kostenko, declaramos que este informe final de tesis titulado: Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás, sustentado para obtener el título de Ingeniería Ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos <sup>2</sup>, que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

**Lizet Rocio Belsuzarri Poma**  
DNI: 74280286

**Mg. Olga Vadimovna Kostenko**  
DNI:

<sup>1</sup> En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

<sup>2</sup> Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

## INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

**Título del documento evaluado.** Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás

**Autores.** Lizet Rocio Belsuzarri Poma

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 2406429291).

**Resultado de la evaluación.** 8%

**Revisado por.** Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras, se excluyeron citas.



## DEDICATORIA

El presente trabajo está dirigido a mi familia, quienes han sido mi sostén durante mi trayectoria universitaria y en mi vida general. También quiero reconocer a todas las personas especiales que me acompañaron durante este tiempo, contribuyendo tanto a mi desarrollo profesional como personal.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y al personal de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur por confiar en mí y permitirme llevar a cabo todo el proceso de investigación en las instalaciones de la institución.

Asimismo, deseo agradecer a la empresa Tecnológica de Alimentos, en especial a la Ing. Enith Sifuestes, por brindarme las facilidades necesarias para iniciar el estudio.

Por último, quiero manifestar mi más sincero agradecimiento a las Ing. Ingrid y Mg. Olga Vadimovna, cuyos conocimientos y apoyo constante me han permitido desarrollar y concluir este trabajo.

## Tabla de Contenido

<b>I.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
<b>II.</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
3.1.	Digestión anaerobia.....	13
3.1.1.	Proceso de la digestión anaerobia.....	13
3.2.	Factores determinantes en el proceso de la digestión anaerobia.....	14
3.2.1.	Tipo de sustrato:.....	15
3.2.2.	Temperatura:.....	16
3.2.3.	pH de la operación:.....	17
3.2.4.	Relación carbono/nitrógeno (C/N):.....	17
3.2.5.	Sólidos totales:.....	17
3.2.6.	Sólidos volátiles:.....	17
3.3.	Co-digestión anaeróbica.....	18
3.4.	Biogás.....	18
3.4.1.	Composición del biogás:.....	19
3.4.2.	Uso del biogás:.....	19
<b>III.</b>	<b>OBJETIVO E HIPÓTESIS.....</b>	<b>20</b>
4.1.	Objetivo general.....	20
4.2.	Objetivos específicos.....	20
4.3.	Hipótesis.....	20
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>

IV.	.....	21
5.1.	<b>Materiales</b> .....	21
5.2.	<b>Lugar del montaje experimental</b> .....	23
5.3.	<b>Duración de la experimentación</b> .....	23
5.4.	<b>Obtención de las muestras</b> .....	24
5.5.	<b>Tratamientos</b> .....	24
5.6.	<b>Caracterización de sustratos</b> .....	25
5.6.1.	<b>Sólidos Totales (ST)</b> .....	26
5.6.2.	<b>Sólidos Volátiles (SV)</b> .....	27
5.6.3.	<b>Humedad (H)</b> .....	27
5.7.	<b>Elaboración del montaje experimental “Batch Test” para la producción del biogás</b> 28	
5.8.	<b>Medición de parámetros de operación y control</b> .....	30
5.8.1.	<b>Temperatura</b> .....	30
5.8.2.	<b>pH</b> .....	30
5.8.3.	<b>Concentración del CH<sub>4</sub> en el biogás</b> .....	31
5.9.	<b>Análisis estadístico</b> .....	32
VI.	<b>RESULTADOS</b> .....	34
6.1.	<b>Caracterización de los tratamientos</b> .....	34
6.2.	<b>Comportamiento del pH</b> .....	35
6.3.	<b>Comportamiento de la temperatura</b> .....	38

6.4. Concentración de metano en el biogás .....	40
VII. DISCUSIÓN.....	44
VIII. CONCLUSIONES .....	50
IX. RECOMENDACIONES .....	51
X. REFERENCIAS .....	52
XI. ANEXO .....	57

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla N° 1. Principales factores determinantes en la digestión anaeróbica .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla N° 2. Origen de los residuos orgánicos.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla N° 3. Composición del biogás .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla N° 4. Materiales y equipos utilizados para la caracterización de sustratos .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla N°5. Materiales utilizados para la construcción de los biodigestores .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla N° 6 Composición de los tratamientos .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla N° 7. Métodos por emplear en el análisis de las muestras de los sustratos .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla N° 8. Peso de las muestras trabajadas en el Laboratorio .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N° 9 Valores de los ST, SV y H de cada tratamiento.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla N° 10. Promedio de la variación semanal de pH por tratamiento.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla N° 11. Correlación de pearson entre el pH de cada tratamiento y el tiempo de la digestión anaeróbica.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N° 12. Promedio de la variación semanal de la temperatura (°C) por tratamiento .</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N° 13. Correlación de pearson entre la temperatura de cada tratamiento y el tiempo de la digestión anaeróbica .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla N° 14. Promedio de la variación semanal de la concentración de CH<sub>4</sub> en el biogás por tratamiento .....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Esquema general de las fases de la digestión anaeróbica .....	13
Ilustración N° 2. Lugar del montaje experimental.....	23
Ilustración N° 3. Distribución de los tratamientos con sus repeticiones .....	24
Ilustración N° 4. Esquema del biodigestor .....	29
Ilustración N° 5. Ubicación de los biodigestores .....	30
Ilustración N° 6. Sistema de desplazamiento del CH <sub>4</sub> .....	31
Ilustración N° 7. Variación semanal del pH por tratamiento a lo largo de nueve semanas..	37
Ilustración N° 8. Variación semanal de la temperatura por tratamiento a lo largo de nueve semanas.....	39
Ilustración N° 9. Variación semanal de la concentración de CH <sub>4</sub> por tratamiento a lo largo de nueve semanas .....	42

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la generación de biogás. Se organizaron cuatro ensayos utilizando biodigestores tipo batch, cada uno con distintas concentraciones de glicerol alcalino proveniente de pescado: el tratamiento control (C) con un 0% de glicerol alcalino de pescado, el tratamiento 1 (T1) con 3%, tratamiento 2 (T2) con 6% y el tratamiento 3 (T3) con 9%. Antes de iniciar la biodigestión, se caracterizó los sustratos de cada tratamiento donde se analizó los sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y el potencial de hidrógeno (pH); además durante el proceso de la biodigestión se registraron semanalmente el pH, temperatura y concentración de metano (CH<sub>4</sub>) cada dos días a lo largo de un período de nueve semanas. Los resultados obtenidos fueron que los cuatro tratamientos tuvieron un aumento de concentración de CH<sub>4</sub>: el tratamiento control aumentó a 71%; el tratamiento T1 aumentó de 54% a 64%; el tratamiento T2 aumentó de 73% a 85%; y finalmente el tratamiento T3 aumento de 62% a 70%.

Al realizar las pruebas estadísticas, se comprobó que el tratamiento T2 presentó una diferencia significativa ( $p=0.00$ ) a comparación con el tratamiento control, lo cual determina que si existe un valor agregado del glicerol alcalino de pescado como co-sustrato para el proceso de producción de biogás.

Palabras claves: glicerol alcalino de pescado, co-sustrato, biogás

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the potential of alkaline glycerol from the fishing industry as a co-substrate in biogas production. Four trials were organized using batch-type biodigesters, each with different concentrations of alkaline glycerol from fish: control treatment (C) with 0% alkaline fish glycerol, treatment 1 (T1) with 3%, treatment 2 (T2) with 6 % and treatment 3 (T3) with 9%. Before starting the biodigestion, the substrates of each treatment were characterized where the total solids (ST), volatile solids (SV) and hydrogen potential (pH) were analyzed; In addition, during the biodigestion process, the pH, internal temperature, and methane (CH<sub>4</sub>) concentration were measured weekly for a period of nine weeks. The results obtained were that the four treatments had an increase in methane concentration: the control treatment increased to 71%; treatment T1 increased from 54% to 64%; treatment T2 increased from 73% to 85%; and finally, the T3 treatment increased from 62% to 70%.

When carrying out the statistical tests, it was verified that the T2 treatment presented a significant difference ( $p=0.00$ ) compared to the control treatment, which determines that if there is an added value of alkaline fish glycerol as a co-substrate for the process of biogas production.

Keywords: alkaline fish glycerol, co-substrate, biogas

## I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

A nivel nacional, se observa un importante impulso hacia la adopción de fuentes de energía renovable, como se evidencia en la aprobación de la política energética de Perú 2010-2040 (D.S Nº 064-2010-EM). Esta política tiene como metas la diversificación de la matriz energética, otorgando especial atención al uso de fuentes renovables, la eficiencia energética, la reducción de los impactos ambientales y las emisiones de carbono en el marco de desarrollo sostenible (DGEE, 2010).

El sector pesquero en el Perú es un pilar importante para nuestra economía debido a la generación de empleo y el desarrollo de manufactura. Según la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP) aproximadamente se crean 110.000 puestos de trabajo cada año provenientes solamente de la producción de aceite y harina de pescado (América Económica, 2018). Dada la importancia del sector, se debe lograr una sostenibilidad, eso implica alejarse del concepto de manejo de residuos enfocado en la disposición final y adoptar la idea de la conversión de un “residuo” a “materia prima secundaria” (Graziani, 2018). Uno de los principales procesos de la industria pesquera es la refinación de aceite de pescado donde se genera una multitud de subproductos ricos en contenido orgánico como el glicerol alcalino (Ward, 2012). Actualmente, al no existir muchas opciones viables para usar este subproducto como materia prima en otros procesos, el glicerol alcalino debe de disponerse como “residuo” en rellenos a un costo considerablemente alto (Ásgeirsson, 2015) y ocasionan un gran impacto al medio ambiente a producir altas concentración de gases de efecto invernadero (Graziani, 2018).

No obstante, el glicerol alcalino se caracteriza por tener un material orgánico con alto poder energético y alta durabilidad. Estas características lo vuelven interesante para la degradación

anaeróbica debido a su alta producción de  $\text{CH}_4$ , bajos requerimientos de nutrientes, mínima generación de lodos y ahorro de energía (Cremones et al, 2016). Por tal razón, la digestión anaeróbica resulta una práctica atractiva para lograr el manejo de residuos a través de la regulación de la contaminación ambiental y el aprovechamiento del  $\text{CH}_4$  como fuente de energía renovable (Cárdenas et al, 2016).

No obstante, las investigaciones relacionadas a la digestión anaeróbica utilizando el glicerol alcalino de la industria pesquera aún son muy limitada (ReSource International, 2016). Santibañez et al (2011) reportó que la acción única del glicerol no constituye un sustrato adecuado para obtener altos rendimiento en la generación de biogás. Sin embargo, a una concentración de 3%, aumenta la generación de biogás en co-digestión con estiércol de cerdo o aguas residuales. Castrillón et al (2013) informaron la inhibición del experimento de biorreactor continuo a una concentración de glicerol al 15% en co-digestión con estiércol, no obstante, a una concentración de 5% y 10% se obtuvieron resultados satisfactorios.

Basándonos en lo anteriormente mencionado, se hace evidente la importancia de llevar a cabo la investigación actual, la cual tiene como objetivo evaluar el potencial del glicerol alcalino obtenido como subproducto en el proceso productivo de una empresa nacional. De esta modo, se posible demostrar que traves de la digestión anaeróbica se puede abordar tanto los problemas ambientales como los económicos asociados a la disposición final de este residuo en vertederos. Así mismo, se podrá añadir valor a este residuo al utilizarlo como insumo para la generación de energía renovable.

**II. MARCO TEÓRICO**

**3.1. Digestión anaerobia**

Según Díez (2016) la digestión anaerobia es un proceso biológico donde la materia orgánica se descompone en productos gaseosos conocidos como “biogás” compuesto por CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.; y en digestato, una mezcla de productos minerales como N, P, K, Ca, etc. y compuestos degradados dificultosamente mediante la acción de un grupo específico de microorganismos en ausencia de oxígeno.

**3.1.1. Proceso de la digestión anaerobia**

La digestión anaerobia se segmenta en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, como se observa en la Ilustración N°1.

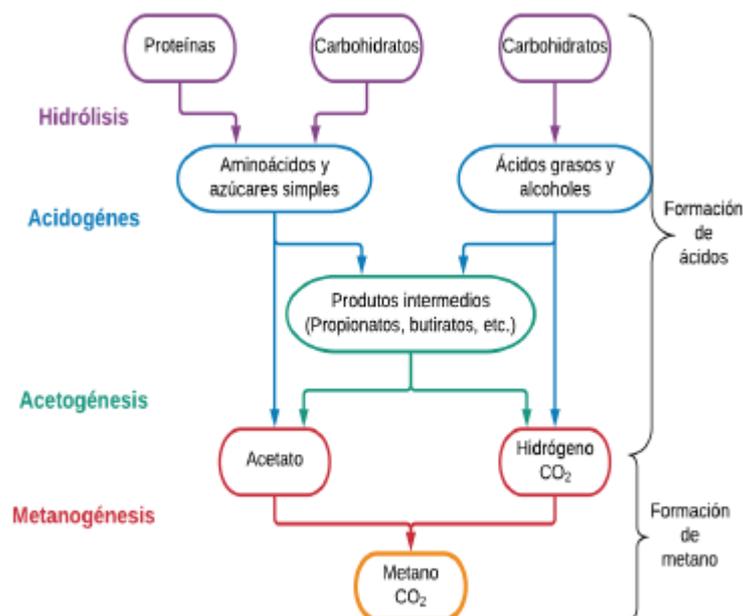


Ilustración 1. Esquema general de las fases de la digestión anaeróbica

Fuente: Adaptado por Instituto nacional de innovación agraria (2020)

- a. **Hidrólisis o liquefacción:** Parra et al (2019) indica que “la hidrólisis convierte cadenas complejas de moléculas como proteínas, carbohidratos y lípidos en compuestos

solubles como aminoácidos, azúcares, alcoholes; a través de la acción de bacterias hidrolíticas, permitiendo que atraviesen la pared celular” (p.150)

- b. **Acidogénesis:** Las bacterias metanogénicas utilizan directamente los compuestos orgánicos solubles tales como ácido acético, ácido fórmico e hidrógeno; así como compuesto orgánicos más simples como ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, ácido láctico y etanol que serán oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente fase del proceso (Moreno, 2011).

Además, según Moreno (2011) “en esta fase, las bacterias metanogénicas se encargan de eliminar cualquier presencia de oxígeno disuelto en el sistema” (p.21)

- c. **Acetogénesis:** También conocida como acidogénesis intermediaria (Lorenzo et al, 2005). Según Moreno (2011) indica que “algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénesis, como el hidrógeno ( $H_2$ ) y ácido acético. No obstante, otros como el etanol, los ácidos grasos volátiles y ciertos compuestos aromáticos necesitan ser convertidos en productos más simples como acetato ( $CH_3COO^-$ ) e hidrógeno ( $H_2$ )” (p.21)
- d. **Metanogénesis:** Según Lorenzo et al (2005) indica que “durante la fase metabólica, el metano ( $CH_4$ ) se genera a partir de sustratos que contiene uno o dos átomos de carbono unidos por enlace covalente como por ejemplo el acetato,  $H_2/CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas” (p.37)

### 3.2. Factores determinantes en el proceso de la digestión anaerobia

Según Moreno (2011) diversos estudios evalúan la eficacia de un sistema anaeróbico basándose en la velocidad de generación de metano ( $CH_4$ ) debido a que la metanogénesis se considera una fase crítica del proceso. Por consiguiente, varios factores influyen en la

cantidad y la calidad de la producción del biogás durante la digestión anaeróbica (Lorenzo et al, 2005). La tabla N° 1 se muestran los principales factores determinantes.

**Tabla N° 1. Principales factores determinantes en la digestión anaeróbica**

Sustrato	Proceso	Digestor
Tipo de sustrato	Temperatura del proceso	Condiciones anaeróbicas
Relación C/N	Valor de acidez (pH)	Dimensionamiento y diseño
Presencia de inhibidores	Velocidad de carga volumétrica	
	Contenido de sólidos	
	Agitación- mezclado	

Fuente: Adaptada de Bolaños (2019)

### 3.2.1. Tipo de sustrato:

Según Moreno (2011), “los distintos tipos de materias primas que pueden emplearse en la digestión anaeróbica pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, doméstico y otros” (p.29), como se especifica en la tabla N°2

**Tabla N° 2. Origen de los residuos orgánicos**

Tipo de residuos	Ejemplos
Residuos de origen animal	Estiércol, guano, residuos de pescados
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, forrajes en mal estado
Residuos de origen humano	Heces, basura
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, etc
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, malezas acuáticas, jacintos

Fuente: Adaptada de Moreno (2011)

Los atributos bioquímicas que presenten estos residuos deben ser adecuados para favorecer el crecimiento y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. En términos generales, según Moreno (2011) “los sustratos pueden clasificarse en cuatro clases, considerando aspectos como la apariencia física, grado de dilución, grado de concentración y características cuantitativas como el porcentaje de ST, SV y demanda química de oxígeno (DQO)” (p.32)

### 3.2.2. Temperatura:

Uno de los principales factores de supervivencia de los microorganismos durante la digestión anaeróbica es la temperatura (Kiros et al, 2016). Existe tres rangos en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilico (menos 25 °C), mesófilo (entre 20 °C y 40 °C) y termófilo (más de 40 °C). Las temperaturas termófilas son beneficiosas en el proceso de conversión; sin embargo, es el más difícil de controlar y necesita más energía para mantener la temperatura constante del reactor (Lopez et al, 2014). La variación de

temperatura puede afectar el crecimiento microbiano y reducirá la generación de biogás de forma significativa (Kiros et al, 2016).

### **3.2.3. pH de la operación:**

El rango óptimo de pH para la coexistencia de microorganismos acidogénicos y metanogénicos es entre 6.8 a 7.4 (Lopez et al, 2014). La velocidad de incremento de los microorganismos es afectada significativamente por el cambio de pH (Chunlan et al, 2015) debido a que para las bacterias metanogénicas es tóxico los niveles de concentración de los ácidos grasos volátiles y del ácido nítrico, ya que las formas no ionizadas de estos compuestos pueden atravesar fácilmente las membranas de la células, afectando el potencial de la membrana. En conclusión, el comportamiento del digester se encuentra afectado cuando el pH es inferior a 6 o superior a 8 (López et al, 2014).

### **3.2.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N):**

El indicador que representa la disponibilidad de desarrollarse las bacterias metalogénicas es la relación carbono y nitrógeno debido a que estos elementos son vitales para su formación y crecimiento (Bolaños, 2019).

### **3.2.5. Sólidos totales:**

Se encuentra compuesto por agua y una parte sólida denominada sólidos totales (ST). El contenido porcentual de ST en la mezcla introducida en el digester es crucial para garantizar la eficacia del proceso de la digestión anaerobia (Moreno, 2011).

### **3.2.6. Sólidos volátiles:**

Son una fracción de los ST que se libera cuando se volatiliza a una temperatura de 600 °C durante dos horas. Los SV contienen componentes orgánicos que, en teoría, deberían ser convertidos en CH<sub>4</sub> (Moreno, 2011).

### 3.3. Co-digestión anaeróbica

La mezcla homogénea de dos a más sustratos se denomina co-digestión anaeróbica. Su aplicación proporciona una mejora ante las desventajas que presenta la digestión anaeróbica brindando un balance de nutrientes a partir de los sustratos, lo cual promueve la estabilidad del proceso y produce un digestato con mayor contenido de nutrientes para ser usado como fertilizantes (Lopez et al, 2014), además que genera una mejora una viabilidad económica a las plantas de digestión anaeróbica debido a que se genera una mayor producción de CH<sub>4</sub> (Bolaños, 2019).

En la investigación titulada “Anaerobic Co-digestion of Canned Seafood Wastewater with Glycerol Waste for Enhanced Biogas Production” por Panpong et al (2014) cuyo objetivo era identificar el porcentaje de glicerol de pescado que optimiza la producción de CH<sub>4</sub>, por ello se realizaron tratamientos con residuos de glicerol al 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10%. La experimentación se desarrolló en biodigestores de 1000 mL, donde el biogás se recopilaba diariamente mediante el método de desplazamiento de agua. Los resultados revelaron que el rendimiento máximo de CH<sub>4</sub> se alcanzó con un 1% de glicerol, lo que representó un incremento del 108% en comparación con el tratamiento de control.

### 3.4. Biogás

El biogás es un tipo de gas que se puede producir forma natural en áreas como los vertederos o pantanos mediante un proceso llamado desgasificación. También puede obtenerse a través de la metanización voluntaria de la materia resultante de la digestión anaeróbica (Ortiz, 2017)

### 3.4.1. Composición del biogás:

El biogás está compuesto por diversos gases principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ , en un 50% - 75%), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , entre 25% - 45%) y otros gases (Bolaños, 2019); su composición principalmente dependerá del material digerido y del funcionamiento del proceso (Lopez et al, 2014). La composición teórica del biogás se encuentra en la Tabla N°3.

**Tabla N° 3. Composición del biogás**

Gas	Total (%)
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 – 75
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 – 45
Vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	1 -2
Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )	- 0,3
Nitrógeno ( $\text{N}_2$ )	1 - 5
Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )	0 - 3
Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,1 – 0,5
Oxígeno ( $\text{O}_2$ )	0,1 – 1,0

Fuente: Adaptada de Diez (2016)

### 3.4.2. Uso del biogás:

La composición del biogás varía dependiendo del tipo de sustrato utilizado y de las condiciones de operación del biodigestor (Parra et al, 2019); sin embargo, según lo indicado en la tabla N°2, el biogás tiene una alta proporción de  $\text{CH}_4$  (entre el 50% y el 70%) lo que le otorga una alta capacidad calorífica de  $5.750 \text{ kcal/m}^3$ . Estas cualidades lo hacen ideal para su uso en la generación de energía en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo así generar electricidad, calor incluso servir como biocarburantes (Diez, 2016).

### III. OBJETIVO E HIPÓTESIS

#### 4.1. Objetivo general

Evaluar el potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás.

#### 4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de los sustratos al inicio y final del proceso de producción de biogás.
- Determinar la variación de la temperatura y el pH durante el proceso de digestión anaeróbica en función a la composición de las mezclas con glicerol alcalino.
- Determinar la generación de metano ( $\text{CH}_4$ ) en función a la composición de las mezclas con glicerol alcalino.

#### 4.3. Hipótesis

**Ho:** El glicerol alcalino de la industria pesquera tiene potencial como co-sustrato en la producción de biogás frente al tratamiento control.

**Ha:** El glicerol alcalino de la industria pesquera no tiene potencial como co-sustrato en la producción de biogás frente al tratamiento control.

#### IV. METODOLOGÍA

El estudio llevado a cabo adopta un enfoque cuasi-experimental de naturaleza cuantitativa. El diseño experimental está constituido por un grupo de control (C) junto con un grupo experimental (T1, T2 y T3) que conformaban un total de 12 biodigestores según lo descrito en la Tabla N°6. A lo largo de un período de 90 días, se procedió a la medición de parámetros como el pH, la temperatura y la concentración de metano (CH<sub>4</sub>) en cada biodigestor.

##### 5.1. Materiales

En la tabla N°4 se detallan los materiales y equipos que se utilizaron para la caracterización de los sustratos

**Tabla N° 4. Materiales y equipos utilizados para la caracterización de sustratos**

Materiales y equipos	Unidades
Balanza analítica	1
Estufa (105 °C)	1
Mufla (550 °C)	1
Crisol	12
Jarra graduada	4
Beaker 1000 mL	4
Pipeta graduada de 20 mL	4
Pera de succión	1

Fuente: Elaboración propia (2022)

En la tabla N°5 se describen los elementos empleados en la construcción de los biodigestores.

**Tabla N°5. Materiales utilizados para la construcción de los biodigestores**

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>
Bidones con tapa de 8 L	12
Llaves de paso y abrazadera	24
Arandelas de bronce 1 pul	48
Cinta teflón	4
Empaquetaduras plásticas	48
Aplicador de silicona	1
Silicona negra de alta resistencia	5
Formador de empaquetaduras	4
Taladro y accesorios	1

Fuente: Elaboración propia (2022)

Los materiales, reactivos y equipos que se necesitarán para el montaje de la medición de CH<sub>4</sub> serán los siguientes:

- Agua destilada
- Fenolftaleína
- Soporte universal
- Balanza analítica
- Vidrio de reloj
- Beaker 1000 L
- Jeringa de 100 mL
- Solución de hidróxido de sodio
- Frasco de suero de 1 L

- Varilla de vidrio

## 5.2. Lugar del montaje experimental

El montaje experimental se realizó en el invernadero de la Universidad Científica del Sur (UCSUR) ubicada en el distrito de Villa el Salvador de la provincia y departamento de Lima. En el distrito de Villa El Salvador, el mes más caluroso del año es febrero, con una temperatura media de 27.3 °C, mientras que el mes más frío es agosto, con una temperatura media de 18.3 °C.

Ilustración N° 2. Lugar del montaje experimental



Fuente: Elaboración propia (2020)

## 5.3. Duración de la experimentación

El proyecto se llevó a cabo durante un período de 90 días, ya que se desarrolló bajo condiciones mesofílicas entre los meses de noviembre del 2020 a enero del 2021 coincidiendo con la temporada de primavera y verano en la ubicación del proyecto

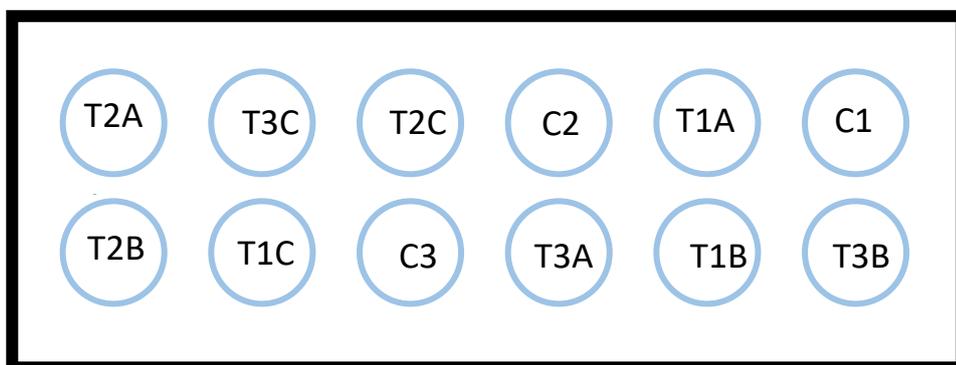
**5.4. Obtención de las muestras**

El glicerol alcalino fue utilizado como co-sustrato en la presente investigación se obtuvo por parte de una empresa pesquera localizada en la carretera Panamericana Sur Km. 60.5, Pucusana- Lima. El agua residual fue utilizada como sustrato y el lodo residual como inoculo; ambos fueron obtenidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la misma empresa pesquera.

**5.5. Tratamientos**

Se llevaron a cabo tres tratamientos experimentales y un grupo control, cada uno con tres repeticiones según como indica Cárdenas (2016), es decir se realizó 12 biodigestores como unidades experimentales cuya distribución se detalla en la ilustración N°3. Al inicio del proyecto, se cargaron los tratamientos con las materias primas de forma ordenada. Posteriormente, una vez que todos los biodigestores estuvieron cargados y sellados, se realizaron el cambio de posición de manera aleatoria a los biodigestores. Las abreviaturas mencionadas en la ilustración N°3 se especifican en la tabla N°6.

Ilustración N° 3. Distribución de los tratamientos con sus repeticiones



Fuente: Elaboración propia (2022)

Para la presente investigación, la composición de los tratamientos varió entre el rango del 0% al 9% de concentración de glicerol como co-sustrato, siendo el tratamiento control el que

no posea el glicerol como co-sustrato. Los grupos experimentales fueron: el tratamiento 1 (T1) con un porcentaje al 3% de glicerol; el Tratamiento 2 (T2), 6% de glicerol; y el tratamiento 3, 9% de glicerol como se indica en la tabla N°6.

Los porcentajes asumidos para la presente investigación se toman de referencia de otras investigaciones como el de Cremonez et al (2016) donde utilizó como co-sustrato el glicerol a concentraciones de 0%, 1%, 3% y 5%; también de Panpong et al (2014) en el cual utilizó glicerol alcalino de pescado a diferentes concentraciones desde el 0% hasta el 10%; y el de Konkrad et al (2014) que utilizó glicerol residual en 3%, 6% y 9%; en donde indica que una concentración mayor al 10% no habría un cambio significativo en el tratamiento.

Tabla N° 6 Composición de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Repeticiones	Abreviatura
<b>Control (C)</b>	0% de glicerol	3	C1, C2, C3
<b>Tratamiento 1 (T1)</b>	3% de glicerol	3	T1A, T1B, T1C
<b>Tratamiento 2 (T2)</b>	6% de glicerol	3	T2A, T2B, T3C
<b>Tratamiento 3 (T3)</b>	9% de glicerol	3	T3A, T3B, T3C

Fuente: Elaboración propia (2022)

## 5.6. Caracterización de sustratos

El sustrato es la biomasa total que fue sometida al proceso de digestión anaeróbica. Para obtener las muestra iniciales se extrajo medio litro del sustrato de cada tratamiento, excluyendo las repeticiones, utilizando una jarra graduada y se colocó en un frasco de vidrio por cada tratamiento para su posterior análisis en el laboratorio de la de la Universidad

Científica del Sur. En la tabla N°7, se observa los parámetros analizados en las muestras de los sustratos

**Tabla N° 7. Métodos por emplear en el análisis de las muestras de los sustratos**

Parámetro	Método de análisis	Referencia
Sólidos Totales (ST)	Método gravímetro	APHA, 2012
Sólidos Volátiles (SV)	Método gravímetro	APHA, 2012
Humedad (H)	Método gravímetro	APHA, 2012

Fuente: Adaptado de APHA (2012)

El análisis de los parámetros fisicoquímicos: ST, SV y H se realizó al inicio del tiempo de evaluación establecido. Esto permitió estudiar, comparar y evaluar todas las repeticiones de los diferentes tratamientos (Cremones et al, 2016).

### 5.6.1. Sólidos Totales (ST)

La metodología empleada para determinar ST se encuentra en la Tabla N°7.

Para la determinación de los ST se homogenizo la muestra y se colocó una alícuota de 20 mL de la muestra al crisol previamente pesado. Se realizaron tres repeticiones por cada muestra. Una vez preparada las muestras, los crisoles se calentaron en la estufa a 105 °C por 24 horas. Luego se registró la variación del peso de la muestra. La siguiente fórmula se utilizó para calcular los ST:

$$\text{Ecuación 1: } ST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{1000(A-B)}{ml \text{ de la muestra}}$$

Donde:

A= peso del crisol+ el residuo seco (mg)

B= peso del crisol

### 5.6.2. Sólidos Volátiles (SV)

La metodología que se utilizará para la determinación de SV se encuentra en la Tabla N°7.

Para calcular los SV, se calcinaron las muestras secadas durante el proceso de cuantificación de ST en una mufla a una temperatura de 550 °C por dos horas. Antes de retirar la muestra de la mufla, esta se enfrió hasta la temperatura ambiente. La siguiente fórmula se empleó para calcular los SV.

$$\text{Ecuación 2: } SV \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{1000(A-B)}{ml \text{ del residuo seco}}$$

Donde:

A= peso del crisol+ el residuo seco (mg)

B= peso del crisol+ el residuo calcinado (mg)

### 5.6.3. Humedad (H)

La metodología empleada para determinar el contenido de humedad se encuentra en la tabla N°7.

Para el cálculo de H resultado del mismo proceso que se realizó para la cuantificación de ST, pero en este caso se calculó el contenido de agua en la muestra. Se aplicó la ecuación 3 para calcular la humedad.

$$\text{Ecuación 3: } H \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{1000(A-B)}{ml \text{ de la muestra}}$$

Donde:

A= peso de la muestra fresca + peso del crisol (mg)

B= peso del crisol+ el residuo seco (mg)

## 5.7. Elaboración del montaje experimental “Batch Test” para la producción del biogás

La metodología que se utilizó para la elaboración de biodigestores tipo Batch se basó en la investigación realizada por Carhuancho (2012) en la Universidad Nacional Agraria La Molina; además se consideraran las recomendaciones de Moreno (2011). Los materiales que se utilizaron están detallados en la tabla N°5.

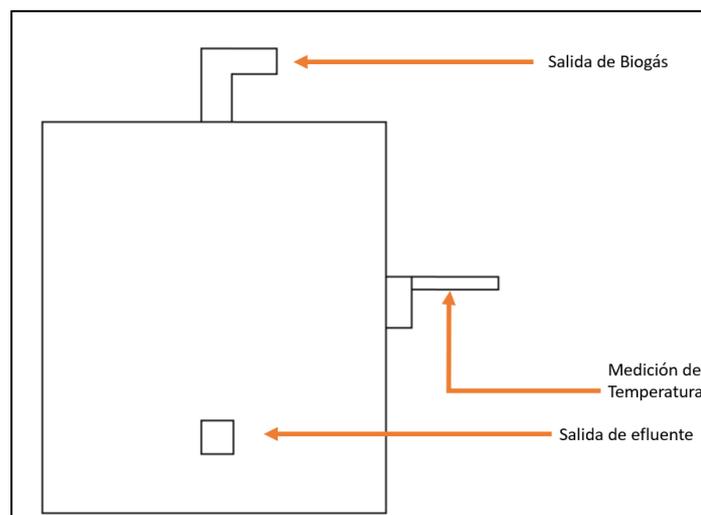
Los pasos que se siguieron para la construcción de los biodigestores son los siguientes:

- I. Se utilizó bidones de 8 L los cuales serán los biodigestores. Se procedió a realizar un orificio con la ayuda de un taladro en la tapa del bidón por donde se conectó la válvula para la salida del biogás.
- II. Se perforaron dos orificios adicionales en un lateral del bidón, uno de ellos en el tercio inferior, en donde se colocó el termómetro. El otro orificio fue en el cuarto inferior del biodigestor, se cerró de manera hermética la válvula de salida del efluente para efectuar las mediciones de pH.
- III. Una vez perforados los orificios, se instalaron las contratuercas, arandelas de bronce con roscas y empaquetaduras para permitir la fijación de las llaves de salida del biogás y del efluente. Se aplicó un formador de empaquetaduras para garantizar que no existan fugas.
- IV. Se empleó un tapón perforado, insertado desde el interior hacia el exterior, para la colocación de los termómetros, evitando así la fuga del sustrato metabolizado.
- V. Se realizó la instalación de la válvula de la salida del biogás y efluente, así mismo se instaló el termómetro en el tapón perforado.

- VI. Se aplicó cinta de teflón en las uniones de todos los accesorios mencionados anteriormente, seguido de un sellado con silicona para prevenir posibles fugas. Antes de llenar los biodigestores, se llevó a cabo una prueba de llenado con agua para detectar cualquier posible fuga. En la Ilustración N°4 se observa el biodigestor terminado.
- VII. Finalmente, en la Ilustración N°5 se observa el lugar donde los biodigestores se ubicaron durante la experimentación

Se decidió dejar el 40% del volumen del biodigestor libre para la producción de biogás, el dato fue basado en el trabajo realizado de Cremonez et al (2016).

Ilustración N° 4. Esquema del biodigestor



Fuente: Elaboración propia (2023)

Ilustración N° 5. Ubicación de los biodigestores



Fuente: Elaboración propia (2020)

## **5.8. Medición de parámetros de operación y control**

Durante el proceso de digestión anaeróbica, se consideró empezar a monitorear la temperatura, el pH y la concentración de metano en el biogás a los 06 días de la instalación de los biodigestores. Las mediciones se llevaron a cabo de manera interdiaria en el horario de 10 a.m. a 11 a.m. Se realizó una agitación a los biodigestores previo a la realización de las mediciones.

### **5.8.1. Temperatura**

La medición de la temperatura se llevó a cabo las lecturas directamente desde la pantalla digital de los termómetros instalados en los biodigestores.

### **5.8.2. pH**

La evaluación del pH se realizó empleando un potenciómetro. Se retiró 20mL de la muestra obtenida del biodigestor y se introdujo directamente el potenciómetro en la muestra hasta obtener una lectura constante del mismo.

### 5.8.3. Concentración del CH<sub>4</sub> en el biogás

El volumen del CH<sub>4</sub> fue medido mediante el método de desplazamiento de agua (Cárdenas et al, 2016). La metodología que se utilizó es bajo el supuesto que el CH<sub>4</sub> y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son los únicos componentes de la mezcla que se encuentren en el biogás (Cremonese et al, 2016).

El procedimiento implicó extraer 100mL de biogás utilizando una jeringa de 100mL de capacidad y pasarla lentamente a través del sistema de desplazamiento de líquido. La ilustración N°6 muestra que este sistema de desplazamiento consistió en un recipiente o frasco de suero de 1L conteniendo una solución concentrada de hidróxido de sodio (NaOH) en un rango de 15 – 20 g/L con unas gotas de fenolftaleína como indicador de saturación (Alvarado et al, 2016).

A medida que el biogás atraviesa la solución alcalina, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) queda retenido en la sustancia alcalina convirtiéndose en carbonato y, quedando absorbido dentro de la solución. Únicamente el gas CH<sub>4</sub> genera un desplazamiento del líquido equivalente al volumen de CH<sub>4</sub> contenido en el biogás (López, 2003).

Ilustración N° 6. Sistema de desplazamiento del CH<sub>4</sub>



Fuente: Elaboración propia (2020)

## 5.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico IBM SPSS Statistics 21. La investigación es de carácter experimental que consiste en cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. El diseño es completamente aleatorio, utilizando los biodigestores como unidades experimentales

Para analizar la evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de digestión anaerobia, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- 1- El análisis de correlación de Pearson con un nivel de confianza al 95%, para ello se considera a los valores donde  $p < 0.05$  como significativos y por consiguiente que si existe una relación entre la temperatura o pH con respecto al tiempo.
- 2- Se determina el grado de correlación existente de acuerdo con lo siguiente:
  - Entre 0 y 0.10: correlación inexistente
  - Entre 0.10 y 0.29: correlación débil
  - Entre 0.30 y 0.50: correlación moderada
  - Entre 0.50 y 1.0: correlación fuerte

Para analizar la diferencia de la concentración de metano ( $\text{CH}_4$ ) entre los tratamientos se realizó lo siguiente:

- 1- La prueba de normalidad, en este caso por tener 36 muestras, se realizará la prueba de Kolmogorov- Smirnov. En caso el valor de  $p > 0.05$  significa que se tiene una distribución normal lo que es un requisito para la aplicación de la prueba ANOVA; en caso tenga el valor de  $p < 0.05$  significa que se requiera realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

- 2- En caso se obtenga una distribución normal se utilizará el análisis de varianza (ANOVA) para un factor con un nivel de confianza al 95%, para ello se considera a los valores donde  $p < 0.05$  como significativos lo cual indicaría que si existen diferencias entre las medias de los tratamientos.
- 3- Análisis de Levene
- 4- Prueba de Tukey para determinar específicamente que tratamientos se diferencian entre sí (Bakieva, 2012).

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de los tratamientos

En el laboratorio se realizó la caracterización del sustrato. Los resultados obtenidos de los pesos del crisol, el peso de la muestra seca y el peso de la muestra calcinada de cada tratamiento se observa en la tabla N°8.

**Tabla N° 8. Peso de las muestras trabajadas en el Laboratorio**

Tratamiento	Repetición	Peso del crisol (g)	Peso de la muestra fresca +Crisol (g)	Peso muestra seca +crisol (g)	Peso muestra calcinada + crisol (g)
<b>C</b>	R1	16,9413	36,6642	18,2334	17,4511
	R2	17,2163	37,1131	18,5161	17,581
	R3	17,0011	37,5814	18,0224	17,2624
<b>T1</b>	R1	16,5483	32,2638	18,5639	16,9594
	R2	14,9488	32,9946	17,7625	15,5486
	R3	17,3508	32,402	19,3765	17,6387
<b>T2</b>	R1	17,9456	37,8157	22,0102	18,6623
	R2	17,2277	36,8911	21,3609	17,8162
	R3	16,964	36,894	21,0472	17,387
<b>T3</b>	R1	17,215	36,9588	22,1465	17,7372
	R2	17,5895	37,1104	22,5098	18,5118
	R3	20,2936	40,0697	24,7007	20,9167

Fuente: Elaboración propia (2022)

Los valores obtenidos en la tabla N°8, se procedió a realizar los cálculos utilizando las ecuaciones N°1, N°2 y N°3 para la obtención de los ST, SV y H de cada uno de los tratamientos que se detallan en la tabla N°9.

Respecto a los valores obtenido sobre el porcentaje de los ST, se observa que el tratamiento T3 fue el que obtuvo un mayor porcentaje con un promedio de 24%; mientras que los tratamientos T1, T2 y C fueron de 14%, 20% y de 6%.

Respecto a los valores obtenidos sobre el porcentaje de SV, el tratamiento T3 fue el que obtuvo un porcentaje con un promedio de 20%; mientras que los tratamientos T1, T2 y C fueron de 11%, 18% y de 4%

**Tabla N° 9 Valores de los ST, SV y H de cada tratamiento**

Tratamiento	Repetición	Humedad		Sólidos totales		Sólidos volátiles	
		%	g/L	%	g/L	%	g/L
C	R1	93%	921,54	7%	69,61	4%	39,12
	R2	93%	929,85	7%	69,99	5%	46,76
	R3	95%	977,95	5%	51,07	4%	39,70
T1	R1	87%	875,00	13%	126,78	10%	100,23
	R2	84%	831,61	16%	150,69	12%	119,70
	R3	87%	871,28	13%	121,29	12%	111,89
T2	R1	80%	790,28	20%	203,23	17%	167,40
	R2	79%	786,51	21%	206,66	18%	177,24
	R3	80%	792,34	20%	204,16	18%	183,01
T3	R1	75%	744,62	25%	246,58	22%	220,47
	R2	75%	745,03	25%	246,02	20%	199,90
	R3	78%	768,45	22%	220,36	19%	189,20

Fuente: Elaboración propia (2022)

## 6.2. Comportamiento del pH

Los resultados del pH fueron registrados de manera interdiaria (lunes, miércoles y viernes) durante nueve semanas se registraron en el anexo 2. En la tabla N° 10 se muestran los promedios de cada tratamiento por repetición y por semana.

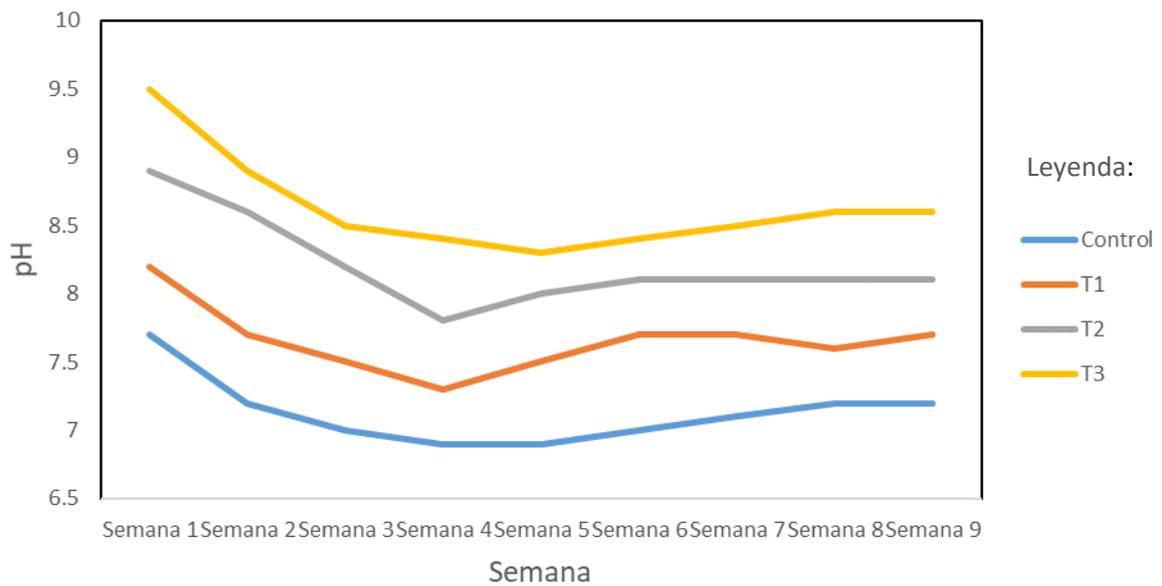
**Tabla N° 10. Promedio de la variación semanal de pH por tratamiento**

	<b>Control</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>Semana 1</b>	7,7	8,2	8,9	9,5
<b>Semana 2</b>	7,2	7,7	8,6	8,9
<b>Semana 3</b>	7	7,5	8,2	8,5
<b>Semana 4</b>	6,9	7,3	7,8	8,4
<b>Semana 5</b>	6,9	7,5	8	8,3
<b>Semana 6</b>	7	7,7	8,1	8,4
<b>Semana 7</b>	7,1	7,7	8,1	8,5
<b>Semana 8</b>	7,2	7,6	8,1	8,6
<b>Semana 9</b>	7,2	7,7	8,1	8,6

Fuente: Elaboración Propia (2022)

En la ilustración N°7 exhibe la variación del pH por cada uno de los tratamientos. Se observa de manera general que todos los tratamientos (control, T1, T2 y T3) sufren una disminución de pH durante el tiempo. El tratamiento control inicio con un pH de 7.7 disminuyendo a 7.2; se experimentó una situación análoga con el T1, T2 y T3, que iniciaron con un rango de 8.2 a 9.5 disminuyendo hasta 7.7, 8.1 y 8.6 respectivamente.

Ilustración N° 7. Variación semanal del pH por tratamiento a lo largo de nueve semanas



Fuente: Elaboración Propia (2022)

En la tabla N°11 muestra que la correlación del pH de los tratamientos y el tiempo del proceso de la digestión anaerobia es negativa ( $C = -0.4$ ,  $T1 = -0.273$ ,  $T2 = -0.584$  y  $T3 = -0.557$ ), esto indica que el pH disminuye a medida que transcurren los días. Los tratamientos T2 y T3 tienen un grado de correlación fuerte cuyo valor ( $r$ ) es más cercano a  $-1$  que a  $0$ , esto sugiere que existe una dependencia lineal más fuerte entre el pH y el tiempo a comparación con tratamientos C y T1. El tratamiento T1 ( $p = 0.178$ ) no existe una correlación entre el pH y el tiempo de la digestión anaerobia, en cambio los tratamientos C ( $p = 0.043$ ), T2 ( $p = 0.002$ ) y T3 ( $p = 0.003$ ) si presentan una correlación entre el pH y el tiempo.

**Tabla N° 11. Correlación de pearson entre el pH de cada tratamiento y el tiempo de la digestión anaeróbica**

Tratamiento	Variación de pH		
	r	p	N
C	-0,4	0,043	36
T1	-0,273	0,178	36
T2	-0,584	0,002	36
T3	-0,557	0,003	36

r: correlación de pearson; p= nivel de significancia (<0.05); N: número de muestras.

Fuente: Elaboración Propia (2022)

### 6.3. Comportamiento de la temperatura

Los resultados de la temperatura fueron registrados de manera interdiaria (lunes, miércoles y viernes) durante nueve semanas se registraron en el anexo 3. En la tabla N° 12 se muestran los promedios de cada tratamiento por repetición y por semana.

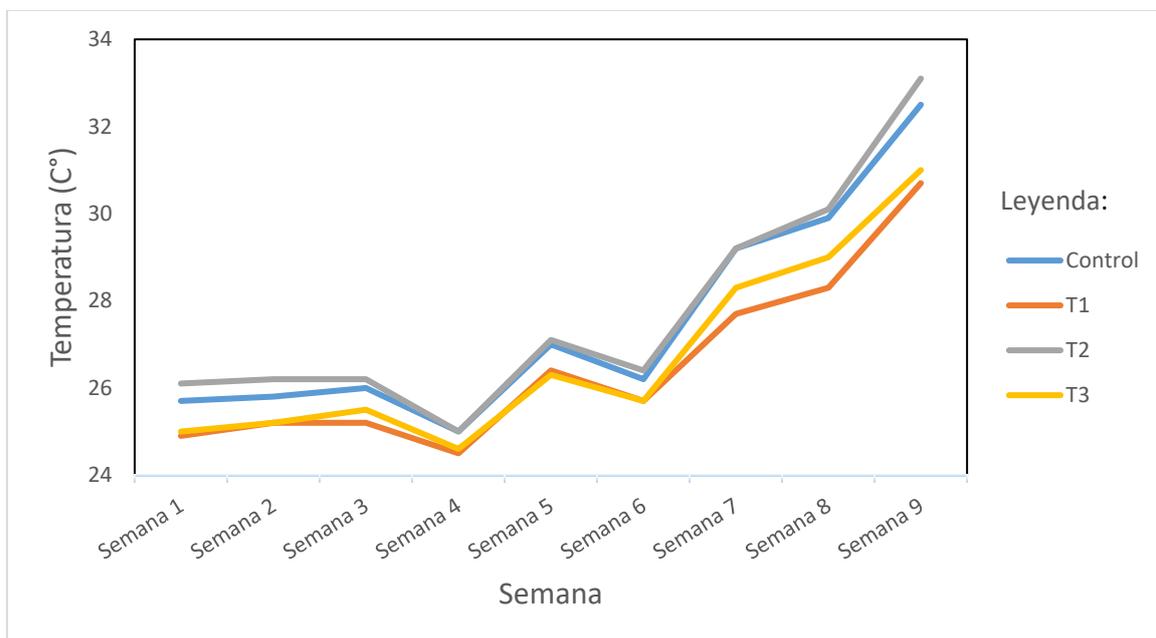
**Tabla N° 12. Promedio de la variación semanal de la temperatura (°C) por tratamiento**

	C	T1	T2	T3
<b>Semana 1</b>	25,7	24,9	26,1	25
<b>Semana 2</b>	25,8	25,2	26,2	25,2
<b>Semana 3</b>	26	25,2	26,2	25,5
<b>Semana 4</b>	25	24,5	25	24,6
<b>Semana 5</b>	27	26,4	27,1	26,3
<b>Semana 6</b>	26,2	25,7	26,4	25,7
<b>Semana 7</b>	29,2	27,7	29,2	28,3
<b>Semana 8</b>	29,9	28,3	30,1	29
<b>Semana 9</b>	32,5	30,7	33,1	31

Fuente: Elaboración propia (2022)

En la ilustración N°8 exhibe la variación del pH por cada uno de los tratamientos. Se evidencia que los tratamientos control, T1, T2 y T3 sufren un aumento de temperatura durante el paso de las semanas. El tratamiento control inicio con una temperatura de 25.7 °C aumentando a 32.5 °C; caso similar ocurrió con los tratamientos T1, T2 y T3 con un rango de 24.9 °C a 26 °C aumentando a 30.7 °C, 33.1 °C y 31 °C.

Ilustración N° 8. Variación semanal de la temperatura por tratamiento a lo largo de nueve semanas



Fuente: Elaboración propia (2022)

En la tabla N°13 muestra que la correlación de la temperatura de los tratamientos y el tiempo del proceso de la digestión anaerobia es positiva (C= 0.769, T1= 0.804, T2= 0.744 y T3= 0.797), indica que la temperatura aumenta a medida que transcurren los días. Los tratamientos T1 y T3 tienen un valor de correlación (r) más cercano a 1 que a 0, esto implica que existe una correlación lineal más pronunciada entre la temperatura y el tiempo de la digestión anaerobia en contraste con los tratamientos C y T2. Los tratamientos C, T1, T2 y T3

(p=0) si presentan un grado de correlación fuerte entre la temperatura y el tiempo de la digestión anaerobia.

**Tabla N° 13. Correlación de pearson entre la temperatura de cada tratamiento y el tiempo de la digestión anaeróbica**

Tratamiento	Variación de temperatura		
	r	p	N
<b>C</b>	0,769	0	36
<b>T1</b>	0,804	0	36
<b>T2</b>	0,744	0	36
<b>T3</b>	0,797	0	36

r: correlación de Pearson; p= nivel de significancia (<0.05); N: número de muestras.

Fuente: Elaboración propia (2022)

#### **6.4. Concentración de metano en el biogás**

En el anexo 4 se muestran los resultados de la concentración de CH<sub>4</sub> que fueron registrados de manera interdiaria (lunes, miércoles y viernes) durante nueve semanas. En la tabla N° 14 se muestran los promedios de cada tratamiento por repetición y por semana.

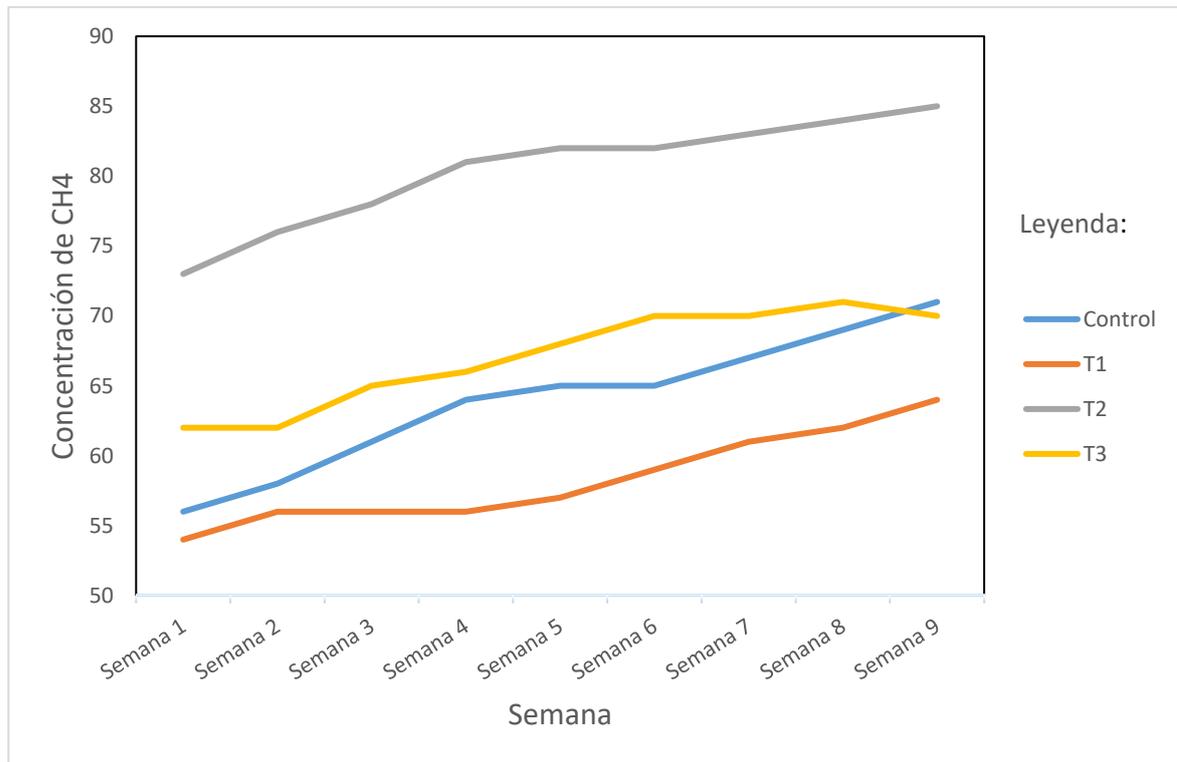
**Tabla N° 14. Promedio de la variación semanal de la concentración de CH<sub>4</sub> en el biogás por tratamiento**

	<b>Control</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>Semana 1</b>	56	54	73	62
<b>Semana 2</b>	58	56	76	62
<b>Semana 3</b>	61	56	78	65
<b>Semana 4</b>	64	56	81	66
<b>Semana 5</b>	65	57	82	68
<b>Semana 6</b>	65	59	82	70
<b>Semana 7</b>	67	61	83	70
<b>Semana 8</b>	69	62	84	71
<b>Semana 9</b>	71	64	85	70

Fuente: Elaboración propia (2022)

En la ilustración N°9 se exhibe la variación de la concentración de CH<sub>4</sub> por cada tratamiento. Se evidencia que los tratamientos control, T1, T2 y T3 sufren un aumento de concentración de CH<sub>4</sub> durante el paso de las semanas. El tratamiento control inició con una concentración de 56% aumentando a 71%; T1 aumentó de 54% de concentración de CH<sub>4</sub> a 64%; T2 inició con una concentración de 73% a 85%; y finalmente T3 aumentó de 62% a 70%.

Ilustración N° 9. Variación semanal de la concentración de CH<sub>4</sub> por tratamiento a lo largo de nueve semanas



Fuente: Elaboración propia (2022)

En el anexo N° 5, se observa los resultados de la prueba de normalidad en donde se obtuvo un nivel de significancia de 0.200 ( $p=0.200$ ) lo cual significa una distribución normal lo cual indica que se realiza una prueba paramétrica como la prueba del ANOVA

Además, en el anexo N°5, se observa los resultados del análisis estadístico de ANOVA de un factor a obteniendo un nivel de significancia de cero ( $p=0.00$ ) lo que significa lo que existe diferencias entre los tratamientos.

Los resultados de la prueba Tukey son presentados en la tabla N°15, en donde se observa que al comparar el tratamiento control con el tratamiento T2 si hubo diferencias significativas ( $p=0.00$ ); sin embargo, al comparar el control con los tratamientos T3 y T1 no hubo diferencias ( $p=0.364$  y  $p=0.025$  respectivamente). Al comparar T1 con T2 y T3 si

presento diferencias significativas (ambas  $p=0.00$ ); T2 con T3 si presento diferencias significativas ( $p=0.00$ )

Tabla N°15. Resultado de la prueba Tukey sobre la concentración de CH<sub>4</sub> durante las nueve semanas

Tratamiento		p
<b>Control</b>	T1	0.025
	T2	0.000
	T3	0.364
<b>T1</b>	Control	0.025
	T2	0.00
	T3	0.00
<b>T2</b>	Control	0.00
	T1	0.00
	T3	0.00
<b>T3</b>	Control	0.364
	T1	0.00
	T2	0.00

p = nivel de significancia (<0.05).

Fuente: Elaboración propia (2022)

## VII. DISCUSIÓN

### Características del sustrato

Según el manual del biogás (2011), los sustratos pueden ser categorizados basándose en características cuantitativas como el porcentaje de ST, SV y DQO. Además, sugieren los sustratos de categoría 1 pueden experimentar una degradación efectiva en digestores de tipo Batch que tienen como características más del 20% de ST. La Tabla N°9 muestra que los tratamientos T2 y T3 cumplen con esta condición, sugiriendo que al incluir un 6% y 9% de glicerol alcalino de pescado en la composición del sustrato, este puede degradarse en un digestor tipo Batch, tal como se llevó a cabo en la presente investigación.

Konrad et al (2014) menciona que los SV se hace referencia a la materia orgánica presente en el sustrato susceptible de transformación del biogás, ya que a mayor concentración de SV es mayor el rendimiento de biogás. En referencia a los resultados obtenidos en la tabla N°9, se observa que los T2 y T3 tienen un mayor porcentaje de SV (18% y 21% respectivamente) al inicio del proceso de digestión anaeróbica, en referencia a lo anteriormente citada, se puede indicar que T2 y T3 son los tratamientos con materia orgánica presente en el sustrato para producir biogás; sin embargo no se puede determinar cuánto del porcentaje de SV se llegó a transformar debido a que no se realizó las mediciones de SV al finalizar los 90 días del proceso de digestión anaeróbica.

### Variación de pH

Durante las nueve semanas, el pH de los tratamientos descendió dentro de un intervalo de 7.2 a 8.6 a comparación de sus valores iniciales (7.7 a 9.5) según como se indica en la tabla N°10.

En el estudio titulado "Adaptación de inóculos durante el arranque de la digestión anaerobia con residuos sólidos orgánicos" realizado por Nakasima et al. (2017), se observó que en los primeros siete días, ambos biodigestores experimentaron una disminución en el pH. Sin embargo, a partir del octavo día, se observó una estabilización del pH. Al comparar estos hallazgos con los datos obtenidos en nuestro estudio, se destaca que los cuatro tratamientos analizados presentaron un descenso en el pH a partir del octavo día. Cabe señalar que no podemos determinar si hubo una disminución previa a esta medición, ya que la recopilación de datos comenzó en el sexto día desde la instalación de los biodigestores. Según el manual de biogás de Moreno (2011), el proceso de formación de biogás debe desarrollarse satisfactoriamente, manteniendo un pH que no descienda por debajo de 6.0 ni sobrepase los 8.0. Esto se debe a que dicho rango es fundamental para el adecuado desarrollo de la metanogénesis, que constituye una etapa limitante en el proceso.

Al comparar nuestros resultados con lo anteriormente descrito, se evidencia que los tratamientos T1, T2 y T3 iniciaron con un pH mayor a 8.0 (8.2; 8.9 y 9.5) sin embargo durante las nueve semanas el pH de los tratamientos T1 y T2 disminuyeron hasta tener un pH dentro del rango descrito (7.7 y 8.1 respectivamente). Solamente el tratamiento T3 se mantuvo con un pH alto (8.6) lo cual según Moreno en el manual de biogás (2011) pudo haber favorecido la formación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que es un inhibidor del crecimiento microbiano afectando la producción de biogás

En un estudio realizado por Panpong et al (2014) bajo el título “Anaerobic Co-digestion of Canned Seafood Wastewater with Glycerol Waste for Enhanced Biogas Production” se realizó una experimentación similar utilizando como co-sustrato al glicerol del sector pesquero a diferentes concentraciones, se obtuvo como resultado que en los tratamientos con mayor porcentaje de glicerol a lo largo de la experimentación su pH disminuyó drásticamente de 8.30 a 4.8; mientras que sus tratamientos con menor porcentaje de glicerol disminuyó hasta estar dentro del rango de la neutralidad. En comparación con los resultados obtenidos, el T1 y T2 tuvo un comportamiento similar a lo descrito anteriormente; sin embargo, estadísticamente cuando se aplica la correlación indica que el T1 no varía de acuerdo con el paso de tiempo, todo lo contrario, sucede con el T2, que si presenta una variación con el paso del tiempo que es lo que se espera en un proceso de digestión anaeróbica.

En una investigación titulada "Efecto de la Temperatura en la Producción de Biogás en un Biorreactor tipo Batch a través de la Descomposición Anaeróbica de Residuos Sólidos Orgánicos" llevada a cabo por Martínez et al. (2014), se implementó un control sobre la variación del pH el cual consistió en medir el pH del sustrato, y en caso el pH estuviera por debajo de 6.5, se le añadió hidróxido de sodio líquido (NaOH) a una concentración de 1N; mientras que, si el pH superaba los 7.5, se incorporó ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 1N, con la finalidad de asegurar la generación de biogás. No obstante, en nuestra investigación, no se controló la variable del pH, esto se puede observar en los resultados obtenidos en el tratamiento T3, donde el pH fluctúa entre 8.3 y 9.6

Por otro lado, un estudio titulado “Produção de biogás pelo uso de glicerol em diferentes resíduos agroindustriais” de Cremonez et al (2016) indican que, según el tipo de sustrato, una concentración mayor de glicerol conlleva a respuestas más favorables con relación a los

residuos más solubles y propensos a la acidificación. Esto se debe a que el glicerol puede asegurar la capacidad de amortiguación que requiere el medio para evitar fluctuaciones bruscas del pH, debido a que el aditivo contiene pH elevado y una gran disponibilidad de alcalinidad en forma de hidróxido de sodio.

### **Variación de la temperatura**

A lo largo de las nueve semanas, la temperatura de los tratamientos aumento a un rango de 30.7 °C a 32.5 °C a comparación de sus valores iniciales (24.9 °C a 26.1 °C) según como se indica en la tabla N°12

De acuerdo con el manual de biogás de Moreno (2011), los microorganismos anaeróbicos pueden funcionar dentro de tres rangos de temperatura. A partir de los hallazgos de este estudio, se puede inferir que los microorganismos anaeróbicos se desarrollaron en el rango mesofílico, que oscila entre los 25 °C- a 35 °C.

En la tabla N°12 se observa que, durante las últimas semanas, la temperatura de los cuatro tratamientos comienza a estabilizarse. Según lo explicado por Alvarado et al. (2016) indica que cuando la temperatura se vuelve constante es debido a la estabilidad del pH del biodigestor, lo que indica que el substrato dentro del biodigestor se está acabando, disminuyendo la producción del biogás producto a que los microorganismos anaeróbicos mueren. Esto se ve reflejado en la tabla N° 14 donde la concentración de CH<sub>4</sub> comienza a estabilizarse durante las últimas semanas.

Se puede observar que la temperatura guarda una relación directa con la dinámica del proceso; cualquier variación significativa en la temperatura se traduce en un desequilibrio del proceso, lo que origina una inhibición en generación de CH<sub>4</sub> en el biogás. Por ello, es fundamental mantener la temperatura del proceso estable durante el tiempo en el que se desarrolle el experimento

### Concentración de metano (CH<sub>4</sub>)

A lo largo de las nueve semanas, la concentración de CH<sub>4</sub> en el biogás de los tratamientos aumento de tener una concentración de CH<sub>4</sub> dentro de un rango inicial de 56% a 75%; sin embargo, en las últimas semanas aumento a un rango de 64% a 85% porcentaje de CH<sub>4</sub> según como se indica en la tabla N°14

En la tesis de titulación “Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo batch para excretas provenientes de ganado vacuno y equino en la Universidad Científica del Sur” de Luna (2018) realizó la medición de concentración de CH<sub>4</sub> bajo la misma metodología utilizada en la presente investigación y obtuvo que sus tratamientos comienzan de tener una tendencia ascendente al quinto día de puesta en marcha sus biodigestores, caso similar ocurrió con los resultados obtenidos, debido a que desde la primera medición que fue realizada seis días después del montaje comienza a ver un incremento en la concentración de CH<sub>4</sub>.

Los resultados de la investigación “Utilización de glicerina residual de producción de biodiesel como cosustrato para la producción de biogás” de Indiveri et al (2011) se obtuvo que los tratamientos que tenían como cosustrato la glicerina residual producía biogás de manera inmediata y producían más biogás frente a los controles; comparando con nuestros resultados observamos que solo el tratamiento T2 logra superar la concentración de CH<sub>4</sub> producido por el control; esto se confirma con el análisis estadístico de Tukey que se aplicó a los resultados debido a que se obtuvo que no había diferencias significativas de la concentración de CH<sub>4</sub> entre el tratamiento control con los tratamientos T1 y T3; solo con el tratamiento T2 si presento diferencias.

En la investigación de Cremones et al (2016) se obtuvo que la mayor concentración de CH<sub>4</sub> fue en los tratamientos con aguas residual de procesamiento de azúcar y de aguas residual

de procesamiento de yuca con un porcentaje de glicerol al 5%; similar a nuestra experimentación donde nuestro resultado favorable fue el tratamiento T2 que contenía un porcentaje de glicerol al 6%.

La concentración de  $\text{CH}_4$  del tratamiento T3 pudo haberse visto afectado por el pH alto que presento durante su proceso de digestión anaeróbica

## VIII. CONCLUSIONES

- El comportamiento de pH tuvo una correlación negativa respecto con el tiempo de la digestión anaerobia; lo cual indica que, a mayor tiempo el pH comenzara a disminuir. El grado de correlación del pH varía por cada tratamiento, teniendo que solo el tratamiento T2 y T3 tuvieron una fuerte correlación.
- El comportamiento de la temperatura tuvo una correlación positiva respecto con el tiempo de la digestión anaeróbica, lo cual indica que, a mayor paso del tiempo, la temperatura comenzara a aumentar. Los cuatro tratamientos tuvieron un fuerte grado de correlación respecto al comportamiento de la temperatura.
- El glicerol alcalino de pescado tiene una influencia en la co-digestión con el agua residual como sustrato; se pudo comprobar mediante la concentración de CH<sub>4</sub> en donde el tratamiento 2 (glicerol alcalino de pescado al 6%) obtuvo diferencias significativas con el tratamiento control

## IX. RECOMENDACIONES

- Evaluar la relación de carbono y nitrógeno como parámetro de caracterización inicial del sustrato para determinar su degradabilidad para su transformación en biogás-
- Evaluar los parámetros de ST y SV de cada tratamiento al finalizar el proceso de digestión anaeróbica para determinar la cantidad del sustrato que llegó a transformarse en biogás.
- Evaluar los parámetros de pH y la temperatura de cada tratamiento al iniciar el proceso de digestión anaeróbica para tener claridad del comportamiento de estos parámetros.
- Investigar la variación de generación de metano bajo la situación de un pH controlado (valores declarados dentro de la fase de metanogénesis) versus los valores obtenidos en la presente investigación.
- Implementar un agitador mecánico dentro los biodigestores para optimizar la agitación.
- Revisar constantemente las conexiones empalmadas de los biodigestores para evitar el ingreso de oxígeno al sistema y la fuga del biogás al ambiente; y así evitar obtener alteración de datos.

## X. REFERENCIAS

- Alvarado, Jose; Numpaque, H; Martinez, S. (2016). *Efecto de la temperatura en la producción de biogás en un biorreactor tipo Batch a través de la descomposición anaerobia de residuos sólidos orgánicos*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/321229255\\_Efecto\\_de\\_la\\_Temperatura\\_en\\_la\\_Produccion\\_de\\_Biogas\\_en\\_un\\_Bioreactor\\_tipo\\_Batch\\_a\\_traves\\_de\\_la\\_Descomposicion\\_Anaerobica\\_de\\_Residuos\\_Sólidos\\_Organicos](https://www.researchgate.net/publication/321229255_Efecto_de_la_Temperatura_en_la_Produccion_de_Biogas_en_un_Bioreactor_tipo_Batch_a_traves_de_la_Descomposicion_Anaerobica_de_Residuos_Sólidos_Organicos)
- América Económica. (28 de octubre de 2018). *Sector pesca en Perú es el más dinámico en los primeros 8 meses del 2018*. Recuperado de: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/sector-pesca-en-peru-es-el-mas-dinamico-en-los-primeros-8-meses-del-2018>
- APHA. AWWA. WPCF. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23rd Edition. Recuperado de: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Bakieva, Margarita; González José Such; & Jornet, Jesús M (2012). *SPSS: Pruebas paramétricas*. Recuperado de: <https://www.uv.es/innovamide/spss/0702b.wiki>
- Bolaños, Paul. (2019). "Determinación del potencial de biogás para generación eléctrica en la comunidad de Yuracucito". Tesis de Pregado. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Cárdenas, L; Parra, B; Torres, P & Vásquez, C (2016). *Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano – PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016008>

Carhuancho, T (2012). *Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1769>

Castrillon, L; Fernandez-Nava, Y; Ormaechea, P & Marañom, E. (2013). *Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR*. *Bioresource Technology*. vol. 127, pp. 312-317. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.080>

Chunlan, Mao; Yongzhong, Feng; Xiaojiao, Wang & Guangzin, Ren. "Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion". 2015 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

Cremones, P; Bonassa, G; Teleken, J; Sampaio, S & Rossi, E (2016). *Produção de biogás pelo uso de glicerol em diferentes resíduos agroindustriais*. *Acta Iguazu*. 5. 195. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/314278210\\_Producao\\_de\\_biogas\\_pelo\\_uso\\_de\\_glicerol\\_em\\_diferentes\\_residuos\\_agroindustriais](https://www.researchgate.net/publication/314278210_Producao_de_biogas_pelo_uso_de_glicerol_em_diferentes_residuos_agroindustriais)

DGEE. (2010). *Dirección general de eficiencia energética. Obtenido de Aprueban política energética del Perú 2010 – 2040*. Recuperado de: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf>

Diez, Héctor. (2016). "Cálculo de la estimación de biogás generado a partir de residuos agroindustriales en el principado de Asturias". Tesis de Postgrado. Universidad de León

González, M., Pérez, S., Wong, A., Bello, R., & Yañez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la. *Revista Argentina de microbiología*, 229-235.

Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina*. Caracas: CAF. Recuperado de: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>

Indiveri, M.; Pérez, P.; Van Stralen, N.; Oliva, A.; Nuñez Mc Leod, J.; Llamas, S. (2011). *Utilización de glicerina residual de producción de biodiesel como cosustrato para la producción de biogás*. Recuperado de: <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/utilizacion-glicerina-residual.pdf>

Kiros, Hagos; Jianpeng, Zong; Dongxue, Li; Chang, Liu & Xiaohua, Lu (2016) “*Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives*” Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.184>

Konrad, Odorico; Koch, Fabio; Lumi, Marluce; Tonetto, Jaqueline; Bezama, Alberto (2014). *Potencial of biogas production from swine manure supplemented with glycerine waste*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500004>

López, Ana Maria & Ruiz, Cristina. (2014). *Evaluación de la Producción de biogás a partir del buchón de agua mediante codigestión anaerobia con estiércol bovino*. Tesis de Pregrado. Universidad EAFIT. Medellín

López, G (2003). *Método no convencional de medición de gases en la digestión anaerobia. estimación del porcentaje de metano presente en el biogás*. Recuperado de: <http://cidc.udistrital.edu.co/investigaciones/documentos/revistacientifica/rev5/vol1/Metodo%20Med%20gases.pdf>

- Lorenzo Acosta, Yaniris & Obaya Abreu, Ma Cristina. *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XXXIX, no. 1, 2005, pp.35-48. Redalyc, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Luna, Ignacio (2018). *Potencial energético del biogás producido en biodigestores tipo batch para excretas provenientes de ganado vacuno y equino en la Universidad científica del Sur*. Tesis de pregrado. Universidad Científica del Sur. Lima
- Moreno, M. T. V. (2011). *Manual de biogás*. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras Para La Electrificación Rural Con Energías Renovables,” 64(6), 145. Recuperado de: <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Nakasima, M; Taboada, P; Aguilar, Q; Velázquez, N (2017). Adaptación de inóculos durante el arranque de la digestión anaerobia con residuos sólidos orgánicos. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100020>
- ONU (2013). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible*. Recuperado de: <http://onu.org.pe/ods-12/>
- Ortíz, J. (2017). *Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno en el cerro de Cancharani - Departamento del puno*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno.
- Parra, D.; Botero, M. & Botero, J. (2019). *Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos*. Recuperado de: [10.18273/revuin.v18n2-2019013](https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019013)
- Panpong, K; Srisuwan, G; O-Thong, S; Kongjan, P (2014). *Anaerobic-Co digestion of Canned Seafoof Watewater with glycerol waste for enhanced biogas production*. Recuperado

de: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.084>

ReSource International (2016). *Use of alkaline fish glycerin and spent bleaching earth from omega- 3 oil refining for biogas production*. Recuperado de: [http://www.resource.is/wp-content/uploads/2016/04/RSI\\_BMP\\_SBE\\_AFG\\_APRIL\\_2016\\_EU.pdf](http://www.resource.is/wp-content/uploads/2016/04/RSI_BMP_SBE_AFG_APRIL_2016_EU.pdf)

Santibañez, C; Varnero, M & Bustamante, M (2011). *Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: A review*. Chilean Journal of Agricultural Research. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/266608429\\_Residual\\_Glycerol\\_from\\_Bio\\_diesel\\_Manufacturing\\_Waste\\_or\\_Potential\\_Source\\_of\\_Bioenergy\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/266608429_Residual_Glycerol_from_Bio_diesel_Manufacturing_Waste_or_Potential_Source_of_Bioenergy_A_Review)

Tecnología de Alimentos S.A (2018). *Reporte de Sostenibilidad 2018*. Recuperado de: [https://www.tasa.com.pe/userfiles/cms/pagina/documento/reporte\\_tasa\\_2018\\_web.pdf](https://www.tasa.com.pe/userfiles/cms/pagina/documento/reporte_tasa_2018_web.pdf)

Ward, Alastair (2012). *Biogas potential of soapstock and bleaching earth* Biogas potential of soapstock and bleaching earth. Recuperado de: <https://docplayer.net/29842437-Biogas-potential-of-soapstock-and-bleaching-earth-alastair-james-ward-dca-report-no-004-january-2012.html>

## XI. ANEXO

### Anexo 1. Matriz de consistencia cuantitativa

	<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable - Dimensiones</b>	<b>Metodología de investigación</b>
<b>General</b>	¿Se puede aprovechar el residuo de glicerol alcalino de pescado generados por la industria de harina de pescado para la producción de biogás?	Evaluar el potencial el glicerol alcalino de pescado como cosustrato en la producción de biogás	Ho: El glicerol alcalino de la industria pesquera tiene potencial como co-sustrato en la producción de biogás frente al tratamiento control	Variable x, independiente: Variación de la concentración de glicerol alcalino de pescado en cada tratamiento	1. Obtención del sustrato y del co-sustrato 2. Preparación de los 36 biodigestores 3. Preparación de las muestras 4. Determinación de los SV, ST y H de cada tratamiento 5. Colocación de las muestras en los diferentes biodigestores 6. Realización del monitoreo de Temperatura, pH y concentración de CH <sub>4</sub> durante nueve semanas 7. Realización de pruebas estadísticas correspondientes.
<b>Específico</b>	¿Cuál será las características fisicoquímicas de los sustratos al inicio del proceso de producción de biogás?	Determinar las características fisicoquímicas de los sustratos al inicio del proceso de producción de biogás.	Ha: El glicerol alcalino de la industria pesquera no tiene potencial como co-sustrato en la producción de biogás frente al tratamiento control	Variable y, dependiente. Características químicas de los sustratos de cada tratamiento	
	¿Cómo será la variación de la temperatura y el pH durante el proceso de digestión anaeróbica en función a los diferentes tratamientos con glicerol alcalino?	Determinar la variación de la temperatura y el pH durante el proceso de digestión anaeróbica en función a la composición de las mezclas con glicerol alcalino.		Indicadores: • pH • Temperatura • Concentración de CH <sub>4</sub>	
	¿Como será la producción de CH <sub>4</sub> obtenido de cada tratamiento?	Determinar la producción de CH <sub>4</sub> en función a la composición de las mezclas con glicerol alcalino.			

**Anexo 2.** Matriz de operacionalización de variables

Variable	Indicador	Tipo de variable
Nivel explicativo	concentración de glicerol alcalino de pescado por tratamiento	Tipo de variable: nominal
Variable independiente: Variación de la concentración de glicerol alcalino de pescado en cada tratamiento	Comportamiento del pH durante el tiempo	
Variable dependiente: Características químicas de los sustratos de cada tratamiento	Comportamiento del Temperatura durante el tiempo	
	concentración de metano por tratamiento	

### Anexo 3. Datos registrados interdiario. comportamiento del pH

		pH																
		Día	C1	C2	C3	CT	T1A	T1B	T1C	T1T	T2A	T2B	T2C	T2T	T3A	T3B	T3C	T3T
1	23/11/20	6	7.8	7.9	7.9	7.9	8.4	8.3	8	8.2	9.1	9	8.9	9.0	9.8	9.7	9.8	9.8
	25/11/20	8	7.7	7.8	7.5	7.7	8.4	8.2	8	8.2	9	8.7	8.8	8.8	9.6	9.1	9.5	9.4
	27/11/20	10	7.6	7.7	7.3	7.5	8.2	8	7.9	8.0	8.9	8.9	8.6	8.8	9.5	9.2	9.1	9.3
2	30/11/20	13	7.5	7.3	7.3	7.4	8	7.8	7.7	7.8	8.8	8.8	8.6	8.7	9.4	9.2	8.9	9.2
	02/12/20	15	7.4	7	7.3	7.2	7.8	7.5	7.5	7.6	8.7	8.7	8.4	8.6	9	9	8.6	8.9
	04/12/20	17	7.3	6.8	7.3	7.1	7.9	7.5	7.2	7.5	8.6	8.5	8.2	8.4	8.9	8.9	8.4	8.7
3	07/12/20	20	7.2	6.5	7.3	7.0	7.6	7.6	7.5	7.6	8.4	8.5	8.2	8.4	8.9	8.4	8.3	8.5
	09/12/20	22	7.2	6.7	7.2	7.0	7.7	7.6	7.5	7.6	8.3	8.1	8	8.1	8.7	8.5	8.3	8.5
	11/12/20	24	7.1	6.8	7.1	7.0	7.5	7.4	7.5	7.5	8.2	8	7.9	8.0	8.6	8.5	8.3	8.5
4	14/12/20	27	7.1	6.7	7	6.9	7.5	7.2	7.3	7.3	8	7.8	7.8	7.9	8.5	8.4	8.2	8.4
	16/12/20	29	7	6.7	6.9	6.9	7.4	7	7.4	7.3	7.8	7.9	7.7	7.8	8.6	8.4	8	8.3
	18/12/20	31	7	6.6	6.9	6.8	7.4	7.2	7.3	7.3	7.9	8	7.6	7.8	8.4	8.5	8.2	8.4
5	21/12/20	34	7	6.9	6.8	6.9	7.4	7.2	7.4	7.3	8.1	8	7.8	8.0	8.6	8.2	8.3	8.4
	23/12/20	36	7.2	6.9	6.9	7.0	7.5	7.5	7.6	7.5	8.1	8.1	7.9	8.0	8.5	8	8.2	8.2
	25/12/20	38	7.2	6.7	6.9	6.9	7.5	7.8	7.6	7.6	8.2	8.1	8	8.1	8.6	8.1	8.2	8.3
6	28/12/20	41	7.2	6.7	6.9	6.9	7.6	7.8	7.5	7.6	8.3	8	8.2	8.2	8.6	8.1	8.2	8.3
	30/12/20	43	7.3	6.7	7	7.0	7.6	7.9	7.5	7.7	8.1	8.1	8.1	8.1	8.8	8.2	8.2	8.4
	01/01/21	45	7.2	6.8	7.1	7.0	7.7	7.8	7.7	7.7	8.2	8.2	8	8.1	8.8	8.1	8.3	8.4
7	04/01/21	48	7.2	6.6	7	6.9	7.6	7.7	7.8	7.7	8.3	8.1	8.1	8.2	8.9	8.3	8.3	8.5
	06/01/21	50	7.3	7	7.1	7.1	7.5	7.7	7.7	7.6	8.2	8.2	8.1	8.2	9	8.2	8.3	8.5
	08/01/21	52	7.2	7.3	7	7.2	7.7	7.7	7.7	7.7	8.1	8	8.2	8.1	9	8.2	8.4	8.5
8	11/01/21	55	7.2	7.2	7.1	7.2	7.5	7.6	7.8	7.6	8.2	8.2	8.2	8.2	9.1	8.2	8.4	8.6
	13/01/21	57	7.2	7.4	7	7.2	7.3	7.7	7.5	7.5	8.2	8.1	8.1	8.1	9	8.4	8.3	8.6
	15/01/21	59	7.3	7	7	7.1	7.7	7.8	7.6	7.7	8	8.1	8.1	8.1	9.1	8.3	8.4	8.6
9	18/01/21	62	7.3	7	7	7.1	7.7	7.8	7.7	7.7	8.2	8.1	8	8.1	9.1	8.2	8.4	8.6
	20/01/21	64	7.3	7.2	7.1	7.2	7.7	7.8	7.5	7.7	8.2	8.1	8.1	8.1	9	8.3	8.4	8.6

#### Anexo 4. Datos registrados interdiario. comportamiento de temperatura (T)

		Temperatura (T)																
		Día	C1	C2	C3	CT	T1A	T1B	T1C	T1T	T2A	T2B	T2C	T2T	T3A	T3B	T3C	T3T
1	23/11/20	6	24.9	25.1	26.1	25.4	25.1	24.1	24.7	24.6	27.3	25.4	25.5	26.1	24.6	24.4	25.3	24.8
	25/11/20	8	25.7	25.9	26.6	26.1	25.7	24.8	25.2	25.2	27.3	25.8	26.1	26.4	25	25.1	25.6	25.2
	27/11/20	10	25.9	25.7	25.5	25.7	25.3	24.3	24.8	24.8	26	25.2	25.9	25.7	24.7	24.8	25.2	24.9
2	30/11/20	13	24.9	24.7	25	24.9	24.8	24.2	24.4	24.5	26.1	25	24.8	25.3	24.6	23.7	24.6	24.3
	02/12/20	15	26.3	26.5	27.1	26.6	26.2	25.8	25.2	25.7	27.6	26.8	27.4	27.3	25.8	25.8	26.3	26.0
	04/12/20	17	26.3	25.5	26	25.9	25.5	25.3	25	25.3	26	26.1	25.8	26.0	25.2	25.6	25.5	25.4
3	07/12/20	20	24.9	24.6	24.7	24.7	24.3	24.2	24.2	24.2	25.4	25.5	24.8	25.2	24.2	24.4	24.6	24.4
	09/12/20	22	26.1	25.6	25.7	25.8	25.3	25	25	25.1	25.6	25.5	25.7	25.6	25	25.1	25.5	25.2
	11/12/20	24	27.3	27.7	27.5	27.5	26.6	26	26	26.2	28	27.8	27.7	27.8	27	26.7	27.3	27.0
4	14/12/20	27	25.6	25.2	25.3	25.4	25.2	24.7	25.2	25.0	25.7	25.3	25.2	25.4	24.9	25.2	25.2	25.1
	16/12/20	29	24.6	24	24.2	24.3	23.7	23.6	23.4	23.6	24.6	24	24.2	24.3	23.4	23.6	23.8	23.6
	18/12/20	31	25.7	25.4	25.2	25.4	25.2	24.6	24.5	24.8	25.9	25.2	25.3	25.5	24.7	24.8	25.9	25.1
5	21/12/20	34	29.8	28.6	29.8	29.4	28.6	27.8	27.6	28.0	30.6	29.1	29.2	29.6	27.8	27.8	28.6	28.1
	23/12/20	36	25.6	25.1	25.1	25.3	25.9	25.8	25.9	25.9	25.8	25.2	25.2	25.4	25.6	25.6	25.1	25.4
	25/12/20	38	26.7	25.8	26.3	26.3	25.9	25	25.2	25.4	27	26	26.1	26.4	25	25.2	25.8	25.3
6	28/12/20	41	26.7	26.2	26.7	26.5	26.1	25.6	25.2	25.6	27	26.2	26.3	26.5	25.3	25.2	25.7	25.4
	30/12/20	43	26.1	25.6	26.1	25.9	25.4	25.8	25.8	25.7	26.8	25.6	25.7	26.0	25.8	25.8	24.8	25.5
	01/01/21	45	26.3	26.1	26.3	26.2	25.9	25.5	26.2	25.9	26.9	26.8	26.3	26.7	26.5	26.5	26	26.3
7	04/01/21	48	29.3	28.7	29.6	29.2	28	27.5	27	27.5	29.5	28.5	28.8	28.9	27.7	27	28.3	27.7
	06/01/21	50	27.8	27.3	28.1	27.7	27	26.3	26.3	26.5	28.5	26.9	27.6	27.7	28.4	26.3	27.2	27.3
	08/01/21	52	31.2	29.6	31.2	30.7	29.2	29	28.8	29.0	32.3	30.4	30.7	31.1	29	28.8	32.3	30.0
8	11/01/21	55	30.7	29.6	30.7	30.3	29.2	28.5	28	28.6	31.5	29.5	30.3	30.4	29	28.5	29.6	29.0
	13/01/21	57	30.7	29.2	29.7	29.9	28.8	28	28	28.3	31	28.7	30	29.9	28	28	31	29.0
	15/01/21	59	29.9	28.8	29.4	29.4	28.4	27.6	28	28.0	31	29	29.5	29.8	28	28.2	31	29.1
9	18/01/21	62	34.2	32.9	34.6	33.9	32.5	31.2	30.7	31.5	36	33.1	34.2	34.4	30	32.2	33.3	31.8
	20/01/21	64	30.5	31.2	31.4	31.0	30.6	30	29	29.9	33	30.5	31.7	31.7	30	30	30.6	30.2

### Anexo 5. Datos registrados interdiario: comportamiento de la producción del CH<sub>4</sub>

		producción del Metano (CH <sub>4</sub> )																
		Día	C1	C2	C3	CT	T1A	T1B	T1C	T1T	T2A	T2B	T2C	T2T	T3A	T3B	T3C	T3T
1	23/11/20	6	55	58	60	58	59	45	55	53	70	75	73	73	60	62	63	62
	25/11/20	8	55	56	59	57	58	47	58	54	72	73	74	73	64	62	61	62
	27/11/20	10	54	54	56	55	59	48	53	53	72	74	76	74	62	61	62	62
2	30/11/20	13	57	57	58	57	58	55	55	56	74	75	76	75	63	63	62	63
	02/12/20	15	58	56	58	57	58	52	58	56	75	76	77	76	64	61	60	62
	04/12/20	17	60	58	62	60	57	51	56	55	77	76	77	77	64	62	63	63
3	07/12/20	20	59	58	62	60	59	52	57	56	79	80	76	78	65	63	64	64
	09/12/20	22	61	60	61	61	61	48	60	56	79	79	75	78	67	63	65	65
	11/12/20	24	64	65	62	64	60	49	60	56	80	79	79	79	68	64	65	66
4	14/12/20	27	62	62	64	63	60	48	60	56	79	82	80	80	67	63	65	65
	16/12/20	29	64	63	65	64	59	52	58	56	81	83	79	81	68	65	64	66
	18/12/20	31	63	64	68	65	59	51	59	56	81	83	82	82	68	67	65	67
5	21/12/20	34	64	66	65	65	60	53	59	57	82	81	81	81	68	68	65	67
	23/12/20	36	67	66	63	65	59	52	59	57	82	81	81	81	68	68	67	68
	25/12/20	38	67	64	66	66	60	51	60	57	85	82	81	83	70	68	68	69
6	28/12/20	41	64	67	64	65	60	53	61	58	84	83	81	83	70	71	70	70
	30/12/20	43	64	68	65	66	60	54	62	59	82	81	82	82	71	69	70	70
	01/01/21	45	64	63	66	64	61	58	61	60	83	82	84	83	70	70	69	70
7	04/01/21	48	67	68	68	68	62	60	66	63	84	82	83	83	70	68	69	69
	06/01/21	50	66	67	68	67	59	59	62	60	85	82	83	83	71	70	70	70
	08/01/21	52	67	69	67	68	63	60	62	62	85	80	84	83	70	69	71	70
8	11/01/21	55	67	70	68	68	64	62	61	62	86	82	83	84	72	70	69	70
	13/01/21	57	67	69	69	68	60	65	63	63	85	83	83	84	71	71	72	71
	15/01/21	59	69	69	70	69	60	62	65	62	84	82	85	84	71	69	72	71
9	18/01/21	62	70	69	70	70	61	65	63	63	85	83	84	84	70	69	72	70
	20/01/21	64	70	72	73	72	64	65	66	65	86	85	85	85	70	69	72	70

**Anexo 6.** Datos obtenidos del SPSS para determinar comportamiento de la producción del CH<sub>4</sub> entre los tratamientos

A. Prueba de normalidad:

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CH4	,107	36	,200 <sup>*</sup>	,935	36	,036

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

B. ANOVA:

**ANOVA**

CH4

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2375,861	3	791,954	49,778	,000
Dentro de grupos	509,111	32	15,910		
Total	2884,972	35			

C. Prueba de normalidad de varianza:

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

CH4

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,368	3	32	,777

D. Prueba de Tukey:

**Pruebas post hoc**

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: CH4

HSD Tukey

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Control	Tratamiento 1	5,66667*	1,88029	,025	,5723	10,7611
	Tratamiento 2	-16,44444*	1,88029	,000	-21,5388	-11,3501
	Tratamiento 3	-3,11111	1,88029	,364	-8,2055	1,9833
Tratamiento 1	Control	-5,66667*	1,88029	,025	-10,7611	-,5723
	Tratamiento 2	-22,11111*	1,88029	,000	-27,2055	-17,0167
	Tratamiento 3	-8,77778*	1,88029	,000	-13,8722	-3,6834
Tratamiento 2	Control	16,44444*	1,88029	,000	11,3501	21,5388
	Tratamiento 1	22,11111*	1,88029	,000	17,0167	27,2055
	Tratamiento 3	13,33333*	1,88029	,000	8,2389	18,4277
Tratamiento 3	Control	3,11111	1,88029	,364	-1,9833	8,2055
	Tratamiento 1	8,77778*	1,88029	,000	3,6834	13,8722
	Tratamiento 2	-13,33333*	1,88029	,000	-18,4277	-8,2389

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°161-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA.**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 25 de septiembre del 2020

**VISTO:**

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás**, presentado por:

- **Lizet Rocio Belsuzarri Poma**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás** con N° de registro: **017-2020-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Olga Vadimovna Kostenko de Caparo** como asesora para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese.

*Documento firmado digitalmente*

**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**

Director Académico

Carrera de Ingeniería Ambiental

**Constancia N° 127-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2020**

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **017-2020-PRE11**

Título: **Estudio del potencial del glicerol alcalino de la industria pesquera como co-sustrato en la producción de biogás**

Investigador(a): **Lizet Rocio Belsuzarri Poma**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 14 de marzo del 2022**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 15 de setiembre de 2020



Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno  
Presidente

Comité Institucional de Ética en Investigación  
con Animales y Biodiversidad