



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL  
VACUNO Y ACEITE RESIDUAL EN LA CIUDAD  
DE MOQUEGUA**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER ANDREIN DAYWORD FLORES TORRES**

**ASESOR:**

**DR. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2022**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
Página de jurado .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Contenido .....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	viii
CONTENIDO DE FIGURAS .....	x
CONTENIDO DE APÉNDICES .....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2. Definición del problema .....	3
1.2.1. Problema general. ....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3

1.4. Justificación .....	4
1.4.1. Justificación económica.....	4
1.4.2. Justificación ambiental – social.....	4
1.5. Alcances y limitaciones .....	5
1.6. Variables.....	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente.....	5
1.6.3. Operacionalización de variables.....	5
1.7. Hipótesis de la investigación .....	6
1.7.1. Hipótesis general.....	6
1.7.2. Hipótesis específicas.....	6

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes regionales y locales.....	9
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. La región Moquegua.....	9
2.2.2. Aceite vegetal.....	9
2.2.3. Estiércol.....	10
2.2.4. Biogás.....	12
2.2.5. Biodigestores.....	15

2.2.6. Proceso de biodigestión.....	18
2.2.7. El biol.....	19

### **CAPÍTULO III**

#### **MÉTODO**

3.1. Tipo de la investigación.....	20
3.2. Diseño de la investigación.....	20
3.2.1. Diseño experimental.....	20
3.2.2. Diseño metodológico.....	20
3.3. Población y muestra.....	24
3.3.1. Población.....	24
3.3.2. Muestra.....	24
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	24
3.4.1. Técnica para la recolección de datos.....	24
3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos.....	24
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	25
3.5.1. Estadística descriptiva.....	25
3.5.2. Estadística inferencial.....	25
3.5.3. Estadística experimental.....	25

### **CAPÍTULO IV**

#### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Presentación de resultados.....	26
4.1.1. Resultado de la medición de producción de biogás.....	26

4.1.2. Resultados del análisis estadístico.....	31
4.2. Contrastación de hipótesis .....	47
4.2.1. Hipótesis general. ....	47
4.2.2. Hipótesis derivadas.....	47
4.3. Discusión de resultados .....	47

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones .....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
APÉNDICES.....	57
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	69

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de las variables de estudio.....	6
Tabla 2. Nutrientes del estiércol según especie animal.....	11
Tabla 3. Composición química del estiércol, por especie de animal en porcentaje (%).....	12
Tabla 4. Composición química del biogás .....	13
Tabla 5. Número de tratamientos con estiércol vacuno .....	22
Tabla 6. Resultados obtenidos a los cero días de retención en los biodigestores .	26
Tabla 7. Resultados obtenidos a los 15 días de retención en los biodigestores ....	27
Tabla 8. Resultados obtenidos a los 30 días de retención en los biodigestores ....	29
Tabla 9. Resultados del parámetro de potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención .....	31
Tabla 10. Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención.....	31
Tabla 11. Resultados del parámetro de pH a los 15 días de retención.....	33
Tabla 12. Análisis de varianza para pH a los 15 días de retención.....	33
Tabla 13. Resultados del parámetro de pH a los 30 días de retención.....	34
Tabla 14. Promedios de los resultados del parámetro de pH a los cero, quince y treinta días de retención. ....	35
Tabla 15. Análisis de varianza del potencial de hidrógeno a los cero, quince y treinta días de retención. ....	35
Tabla 16. Resultados del parámetro de volumen (L) a los cero días de retención..	37

Tabla 17. Resultados del parámetro de volumen (L) a los quince días de retención.....	38
Tabla 18. Análisis de varianza del volumen (L) a los quince días de retención ...	38
Tabla 19. Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen (L) a los quince días de retención. ....	39
Tabla 20. Resultados del volumen de producción a los treinta días de retención.	40
Tabla 21. Análisis de varianza para el volumen (L) de producción a los treinta días de retención .....	40
Tabla 22. Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen (L) a los treinta días. ....	41
Tabla 23. Promedios de los resultados del parámetro de volumen (L) a los cero, quince y treinta días de retención.....	42
Tabla 24. Análisis de varianza para el volumen a los cero, quince y treinta días de retención.....	43
Tabla 25. Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen a los cero, quince y treinta días de retención.....	43
Tabla 26. Escala de coloración de llama.....	45
Tabla 27. Resultados de la coloración de llama a los quince y treinta días .....	45

## CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Partes principales de un biodigestor .....	16
Figura 2. Diagrama del diseño metodológico a emplearse. ....	23
Figura 3. Comparación de medias para el parámetro de potencial de hidrógeno según en porcentaje de aceite residual.....	32
Figura 4. Comparación de medias para el parámetro de potencial de hidrógeno según el porcentaje de aceite residual a los 15 días de retención. ....	34
Figura 5. Comparación de medias del potencial de hidrógeno a los cero, quince y treinta días de retención. ....	36
Figura 6. Comparación de medias del volumen (L) de biogás obtenido a los quince días de retención. ....	39
Figura 7. Comparación de medias del volumen (L) de producción de biogás a los treinta días de retención. ....	42
Figura 8. Comparación de medias para el parámetro de volumen (L) a los cero, quince y treinta días de retención. ....	44

## CONTENIDO DE APÉNDICES

### Fotografías

	<b>Pág.</b>
Fotografía A1. Recolección del agua para el sistema de producción de biogás. ...	57
Fotografía A2. Recolección del agua en bidones para el sistema de producción de biogás. ....	57
Fotografía A3. Recolección del estiércol vacuno para el sistema de producción de biogás. ....	58
Fotografía A4. Colado del estiércol vacuno con la finalidad de uniformizar la mezcla. ....	58
Fotografía A5. Uniformización de la mezcla de agua y estiércol vacuno. ....	59
Fotografía A6. Instalación del sistema de producción de biogás.....	59
Fotografía A7. Sistema de producción de biogás a los cero días de retención .....	60
Fotografía A8. Evaluación del pH en los tres tratamientos a los cero días de retención.....	60
Fotografía A9. Sistema de producción de biogás a los quince días de retención .	61
Fotografía A10. Toma de muestras para la evaluación del pH en los tres tratamientos a los quince días de retención.....	61
Fotografía A11. Evaluación del pH en los tres tratamientos a los quince días de retención.....	62
Fotografía A12. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T1: (10 % aceite residual) - R2, a los quince días de retención.....	62

Fotografía A13. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>1</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>3</sub> , a los quince días de retención. ....	63
Fotografía A14. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>2</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>3</sub> , a los quince días de retención. ....	63
Fotografía A17. Sistema de producción de biogás a los treinta días de retención. ....	64
Fotografía A18. Evaluación del pH en los tres tratamientos a los treinta días de retención. ....	64
Fotografía A19. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>1</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>1</sub> , a los treinta días de retención. ....	65
Fotografía A20. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>1</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>2</sub> , a los treinta días de retención. ....	65
Fotografía A21. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>1</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>3</sub> , a los treinta días de retención. ....	66
Fotografía A23. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>2</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>3</sub> , a los treinta días de retención. ....	66
Fotografía A24. Prueba de generación de biogás y coloración de llama en el T <sub>3</sub> : (10 % aceite residual) – R <sub>1</sub> , a los treinta días de retención. ....	67

## Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla B1. Ficha para recolección de datos.....	68

## RESUMEN

Este trabajo de investigación intitulado “Producción de biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual en la ciudad de Moquegua”, se ejecutó en el Distrito de Samegua, con el objetivo de producir biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual a diferentes concentraciones 0, 5 y 10 %. Para la evaluación del volumen de biogás generado, se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento los cuales fueron evaluados en tres tiempos, a los cero días como grupo de control, a los 15 y 30 días de retención. Asimismo, se evaluaron tres parámetros tales como el pH, el volumen y la coloración de llama. Para el análisis de datos se utilizó un diseño completamente al azar, con un Análisis de Varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey. El mejor volumen de biogás generado fue a los treinta días, a una concentración del 0 % de aceite residual con 13,67 litros de biogás. El pH se mantuvo dentro del rango óptimo de 5,5 a 8,2 por lo que según nuestro análisis estadístico los datos obtenidos nos resultaron no significativos; mientras que la mejor coloración de llama se obtuvo a los 30 días a una concentración de 0 % de aceite residual, con una coloración azul, la misma que evidencia la buena calidad del biogás generado.

*Palabras clave:* biogás, estiércol, aceite residual, coloración de llama.

## **ABSTRACT**

This research work entitled "Biogas production from cattle manure and residual oil in the city of Moquegua", was carried out in the District of Samegua, with the objective of producing biogas from cattle manure and residual oil at different concentrations 0, 5 and 10 %. For the evaluation of the volume of biogas generated, three repetitions were carried out for each treatment, which were evaluated in three times, at zero days as a control group, at 15 and 30 days of retention. Likewise, three parameters such as pH, volume and flame coloration were evaluated. For data analysis, a completely randomized design was used, with an Analysis of Variance (ANOVA) and a Tukey test. The best volume of biogas generated was after thirty days, at a concentration of 0 % residual oil with 13,67 liters of biogas. The pH remained within the optimal range of 5,5 to 8,2, so according to our statistical analysis, the data obtained were not significant; while the best flame coloration was obtained after 30 days at a concentration of 0% residual oil, with a blue coloration, which shows the good quality of the biogas generated.

*Key words:* biogas, manure, residual oil, flame coloration.

## INTRODUCCIÓN

A fines del siglo XVIII, el físico italiano Alessandro Volta, descubrió el metano ( $\text{CH}_4$ ) en las burbujas que salían de los pantanos las cuales eran inflamables. Debido a la escasez de combustibles, el metano alcanzó una importancia superior durante la segunda guerra mundial (Varnero, 2011).

Varnero (2011) afirma que el manejo adecuado de los residuos agropecuarios y rurales pueden contribuir en gran medida en la obtención y conversión de los residuos animales y vegetales a distintas formas de energía. En la digestión anaeróbica de la biomasa, se produce metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), este biogás al ser capturado puede ser utilizado como combustible y/o electricidad. Este tratamiento permite disminuir el volumen de materia orgánica contaminante, estabilizándola en bioabonos y al mismo tiempo producir energía gaseosa (biogás).

La actividad ganadera genera desechos (excretas, agua de limpieza, fertilizantes, sobrantes de riego, etc.) que son altamente contaminantes debido a la gran carga microbiana, orgánica y de nutrimentos. Un manejo adecuado de estos residuos orgánicos provenientes de la producción ganadera puede contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales en distintas formas de energía (Varnero, 2011).

Ante lo ya mencionado, se abre una brecha de oportunidad por las condiciones climáticas favorables de la ciudad Moquegua y la existencia de ganado vacuno en los alrededores, planteándose desarrollar el proyecto de investigación intitulado “ Producción de biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual en

la ciudad de Moquegua”, teniendo como propósito principal aportar con información in situ de los valores de cantidad y calidad del biogás producido usando estiércol vacuno y aceite residual en diferentes concentraciones como tratamiento.

La utilización de biogás tanto en las zonas costeras y altoandinas de la región permitirá disminuir el gasto económico que representa la compra de energías convencionales, así como también, una lucha contra el cambio climático debido a reducir el número de especies arbóreas nativas que son taladas para ser usados como recursos maderables (leña) a la hora de realizar la cocción de los alimentos, y como consecuente directo, las cifras de enfermedades oculares y respiratorias disminuirán.

La posibilidad de poder darle un último uso adecuado al aceite, y que este no sea vertido en los cuerpos de agua o directamente en los suelos, aportaría enormemente en la conservación del medio ambiente y a la vez podría significar el potencial incremento de la producción de biogás.

El estudio tiene como alcance evaluar la producción de biogás en concentraciones de aceite residual al 0%, 5 %, 10 % y estiércol vacuno teniéndose que analizar la cantidad y calidad de biogás producido bajo las condiciones climáticas de la ciudad Moquegua.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción de la realidad del problema

En las últimas décadas, la sociedad se enfrenta al cambio climático, debido a actividades humanas que han venido afectando la composición de la atmósfera. Existe evidencia de que, algunas emisiones producidas por las actividades humanas conducen al calentamiento global del planeta, como es el caso de la agricultura, forestación y uso de tierras. Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), son las de mayores emisiones globales, sin embargo, el metano (CH<sub>4</sub>) produce 25 veces más efecto radiativo, para el calentamiento global del planeta que el CO<sub>2</sub> (González y Carlsson, 2007).

En nuestro país el desarrollo de procesos para obtener biogás a través de estiércol vacuno es relativamente nuevo. La gran cantidad de estiércol producido por el ganado no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, generando gran volumen de emisiones de metano al año.

Asimismo, se tiene el problema de los altos costos y la dificultad de distribución de la energía eléctrica convencional, en los centros poblados más alejados, ubicados en las zonas altoandinas de nuestro país, los mismos que cada

año sufren la disminución de la temperatura que provoca la muerte de las personas más frágiles y pérdidas económicas al perecer sus animales de crianza.

Por otro lado, los aceites vegetales, luego de su utilización en la cocina, para la alimentación, son desechados de manera desmedida a los retretes y fregaderos del hogar, restaurant e industria de alimentación, pudiendo contaminar un litro de aceite a 1 000 litros de agua (Consortio para la Gestión de los Residuos Sólidos de Asturias [COGERSA], 2010).

En las zonas altoandinas de nuestra región, se utilizan los escasos recursos maderables existentes, para ser empleados en la cocción de los alimentos (leña); esto ocasiona desaparición y deforestación de diversos recursos maderables, tales como la queñoa (*Polylepis rugulosa*); asimismo, la combustión que genera la quema de “leña”, produce efectos dañinos en la salud de las personas como, enfermedades respiratorias y oculares (Gobierno Regional de Moquegua, 2014).

La falta de investigación sobre la producción de biogás, a partir de estiércol vacuno y aceite residual, ha generado, vacíos de información ocasionando desinterés de la sociedad por la aplicación de este tipo de energía alternativa.

Ante esta situación, se propone producir biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual en la ciudad de Moquegua, cuyos resultados servirán de aporte para las presentes y futuras generaciones, encaminándolas en el uso y desarrollo de energía alternativa y sustentable.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Será posible producir biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual en la ciudad de Moquegua?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Será posible evaluar cuál de los tratamientos en distintos porcentajes de agua, estiércol vacuno y aceite residual producirá mayor volumen de biogás?

¿Se podrá determinar el efecto de los diferentes tratamientos en la calidad del biogás producido?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Producir biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual en la ciudad de Moquegua.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Evaluar cuál de los tratamientos en distintos porcentajes de agua, estiércol vacuno y aceite residual producirá mayor volumen de biogás.

Determinar el efecto de los diferentes tratamientos en la calidad del biogás producido.

## **1.4. Justificación**

Este proyecto da respuesta a los problemas energéticos y a la dificultad de acceso a fuentes de energía en las zonas altoandinas de nuestro país; así mismo generará información que podrá ser utilizada por las presentes y futuras generaciones, enfocándolas en el uso y desarrollo de energía alternativa, como la producción de biogás.

### **1.4.1. Justificación económica.**

Las poblaciones rurales de las regiones altoandinas del país, sufren cada año la disminución de temperatura que provoca la muerte de las personas más frágiles y de los animales como las alpacas que, constituyen el principal recurso económico local, esta situación se podría evitar usando incubadoras a base de biogás, como medio de calefacción para mini establos. La producción de biogás, se realiza utilizando insumos de desecho (estiércol vacuno y aceite residual), lo que reduce enormemente los gastos de operación, haciendo posible su implementación en los hogares más modestos. Así mismo de reemplazarse la utilización del gas licuado de petróleo (GLP), por la producción de biogás representaría un ahorro económico en los bolsillos de las familias.

### **1.4.2. Justificación ambiental – social.**

El proyecto de investigación promueve la utilización de insumos de desecho tales como, el estiércol vacuno y aceite residual, para darles un valor agregado, cuyo producto final es el biogás, y subproductos, el biol y biosol, los cuales pueden ser usados como abono natural. El hecho de no reutilizar estos insumos de desecho,

producirían efectos contaminantes como son la emisión de metano (y otros gases) a la atmósfera y la alteración en la calidad del cuerpo receptor (agua o suelo correspondientemente).

Por otro lado, la utilización de biogás en la cocción de los alimentos, reemplazaría a los recursos maderables utilizados en las zonas altoandinas, que en la actualidad se encuentran en estado crítico de conservación, por citar un ejemplo mencionaré la queñoa (*Polylepis rugulosa*); especie que está siendo sobreexplotada, por ser uno de los pocos recursos maderables de las zonas alto andinas (Gobierno Regional de Moquegua, 2014).

### **1.5. Alcances y limitaciones**

El estudio tiene como alcance producir biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual, bajos las condiciones climatológicas de la ciudad de Moquegua, los valores referentes para determinar la producción de biogás son: la cantidad y calidad de gas producido.

### **1.6. Variables**

#### **1.6.1. Variable independiente.**

Estiércol vacuno y aceite residual.

#### **1.6.2. Variable dependiente.**

Producción de biogás.

#### **1.6.3. Operacionalización de variables.**

La operacionalización de las variables se observa la tabla 1.

**Tabla 1**

*Operacionalización de las variables de estudio*

<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>
Independiente: Estiércol vacuno y aceite residual.	- Estiércol vacuno	- % volumen de carga del biodigestor	- litro (L)
	- Aceite residual	- % volumen total de carga del biodigestor	- litro (L)
Dependiente: Producción de biogás		- Volumen del gas producido	- litro (L)
	- Calidad del biogás	- Coloración de la llama - Potencial de hidrogeno	- pH

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general.**

A partir de estiércol vacuno y aceite residual se produce biogás en la ciudad de Moquegua.

### **1.7.2. Hipótesis específicas.**

El análisis a los volúmenes de biogás producidos por cada tratamiento indica resultados de producción diferentes.

Los diferentes tratamientos en la producción de biogás influyen en la calidad del biogás producido.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales.**

Como antecedente internacional tenemos la investigación realizada por Días, Kreling, Botero y Murillo (2007) la cual se titula “Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales”, cuyo objetivo fue desarrollar un sistema que permita el aprovechamiento de las grasas residuales en biodigestores, para aumentar la producción y calidad del biogás. El experimento fue instalado en la Finca Pecuaria Integrada de la Universidad EARTH. La EARTH está localizada en Las Mercedes de Guácimo, Provincia de Limón, zona tropical húmeda de Costa Rica.

Los resultados obtenidos fueron, que al adicionar 5 % de grasa se logró aumentar la producción en 96 % con relación al testigo alimentado solamente con excretas bovinas. Eso indica que las grasas residuales pueden ser utilizadas para aumentar la producción de biogás en biodigestores. El contenido de grasas en el efluente de los biodigestores suplementados con 2,5 % y 5 % de grasas fue casi nulo.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales.**

En nuestro país, no se han encontrado antecedentes relacionados a la producción de biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual, sin embargo, sí se han realizado investigaciones orientadas a la obtención de biogás a partir de estiércol vacuno y de cuy.

Castillo y Tito (2011) desarrollo la investigación Obtención de biogás a partir de excremento de cuy en condiciones ambientales en Tacna Perú, cuyo objetivo fue obtener biogás a partir del excremento de cuy por fermentación en batch. Para ello utilizaron biodigestores cilíndricos con capacidad de 227 litros; dos mezclas de sustratos; una formada por excremento de cuy, rastrojo del alimento vegetal de cuy y agua; y la segunda por excremento de cuy, rastrojo del alimento vegetal del cuy, residuo de grasas y agua. Esta investigación concluyó, que la producción total de biogás obtenida de la mezcla de sustratos uno fue de 104 litros, en un tiempo de fermentación de siete meses y seis días; y de la mezcla de sustratos dos de 452 litros, en un tiempo de fermentación de siete meses y 19 días.

Salazar, Amusquivar, Llave y Rivasplata (2012) desarrollaron el proyecto “Producción de biogás a partir de excretas de ganado: Experiencias en la ciudad de Tacna”, teniendo como objetivo evaluar el funcionamiento de un biodigestor familiar de dos metros cúbicos, de tipo manga de polietileno, donde evaluaron el pH del lodo y temperatura, el tiempo de retención inicial fue de 30 días, luego se realizaron mediciones diarias de la producción de biogás. El resultado obtenido mediante la cuantificación de la producción de biogás en los meses de marzo y abril utilizando el gasómetro de campana flotante, tuvo un valor promedio de 437 litros de biogás al día.

### **2.1.3. Antecedentes regionales y locales.**

La presente investigación no tiene antecedentes regionales ni locales conocidos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. La región Moquegua.**

De acuerdo con el plan de desarrollo regional concertado Moquegua hacia el 2021, realizado por el Gobierno Regional de Moquegua (2014), nuestra región, está situada al sur del territorio peruano, y sus coordenadas geográficas son de 15°57' y 17°53' de Latitud Sur y los 70°00' y 71°23' de Longitud de Greenwich y abarca un territorio de 17 574,82 km<sup>2</sup>. Limita por el norte con los departamentos de Puno y Arequipa, por el sur limita con Tacna, por el oeste limita con el departamento de Arequipa y el Océano Pacífico y por el este limita con el departamento de Tacna y Puno.

En la región Moquegua, la actividad ganadera se desarrolla con la asistencia del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, en los distritos de Puquina, la Capilla, la Provincia General Sánchez Cerro, en los valles de Moquegua y Torata; la contribución de este subsector fue de 18,4 % a la producción pecuaria anual del departamento (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2014).

### **2.2.2. Aceite vegetal.**

La Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO, 2010) definió el aceite vegetal o grasa vegetal, es un triglicérido, y como su nombre lo describe, este líquido graso es extraído de semillas de vegetales, los cuales generalmente son líquidos a temperatura ambiente.

Generalmente los aceites vegetales, luego de su utilización en la cocina, para la alimentación son desechado de manera desmedida a los retretes y fregaderos del hogar, restaurant e industria de alimentación, lo cual genera gran contaminación, donde un litro de aceite puede contaminar 1 000 litros (COGERSA, 2010).

### **2.2.3. Estiércol.**

El estiércol es una mezcla de alimento y materia fecal, que procede del tracto digestivo de los animales de ganadería, generalmente está compuesto por materia fecal, orina, residuos no digeridos y componentes digestivos como células muertas intestinales, bacterias y jugos pancreáticos y gástricos (Toala, 2013, p. 1).

Asimismo, Durán (2004) menciona que el estiércol usualmente es aplicado para fertilizar el suelo, mediante un proceso de compostaje que facilite la fertilización del mismo, el cual aporta nutrientes, mejora la actividad biológica y la retención de humedad, acrecentando la fertilidad del suelo, y su productividad.

#### ***2.2.3.1. Composición del estiércol.***

Según Toala (2013) el estiércol no siempre tiene la misma composición, en tal sentido podemos afirmar que su composición dependerá de distintos factores correspondientes al animal del cual procede, como la edad, la especie, su naturaleza, la alimentación, etc., esta última juega un rol importante debido a que, mientras más nutrientes posea el alimento, las excretas poseerán mayor cantidad de nutrientes también.

La cantidad de fósforo y nitrógeno consumida por un animal joven es mucho mayor a la cantidad consumida por un animal viejo, entonces estos elementos

estarán en mayores o menores proporciones según, el animal del cual procedan, es así que el estiércol procedente de los animales viejos, serán mucho más ricos para la fertilización debido a que estos, al consumir sus alimentos solo asimilan la cantidad necesaria para colmar sus necesidades puesto a que cesaron de crecer (p. 5).

**Tabla 2**

*Nutrientes del estiércol según especie animal*

<b>Nutrientes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Porcinos</b>	<b>Vacunos</b>	<b>Caprinos</b>	<b>Conejos</b>	<b>Gallinas</b>
Materia orgánica	%	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total	%	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio	K <sub>2</sub> O %	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio	CaO %	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio	MgO %	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Fuente: Aso y Bustos, 1991

**Tabla 3**

*Composición química del estiércol, por especie de animal en porcentaje (%)*

<b>Fuente</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sustancia orgánica</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Bovino	Líquida	5	1,0	0,1	1,6
	Sólida	18	0,4	0,2	0,1
	Mixta	10	0,6	0,2	0,1
Equino	Líquida	7	1,2	0,1	1,6
	Sólida	23	0,5	0,3	0,3
Ovino	Líquida	8	1,6	0,1	2,3
	Sólida	30	0,6	..	0,3
Porcino	Líquida	2	0,3	0,4	0,9
	Sólida	16	0,6	..	0,3
Gallinaza	Sólida	25	1,4	0,1	2,1

Fuente: Durán, 2004

#### **2.2.4. Biogás.**

Albarracín como se citó en Cueva (2012) afirma que el biogás es una composición de gases como el bióxido de carbono, nitrógeno, metano, gas sulfuroso y vapor de agua; los cuales son producidos por la acción de bacterias que desarrollan la fermentación de materia orgánica, sin la presencia de aire. El biogás es un combustible incoloro e inodoro, que al combustionar genera una llama azul y algunos productos no contaminantes (p. 7).

Asimismo, Sandoval (2006) lo define como un gas resultante de la biodegradación de materia orgánica en circunstancias anaerobias por la interacción

de bacterias, asimismo menciona que su generación es parte del ciclo biogeoquímico del carbono.

#### **2.2.4.1. Composición del biogás.**

La composición del biogás varía dependiendo del tipo de material orgánico que se utilice para alimentar el biodigestor, sin embargo, Albarracín como se citó en Cueva (2012) indica la siguiente composición (ver tabla 4):

**Tabla 4**

*Composición química del biogás*

<b>Componentes</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Porcentaje</b>
Metano	CH <sub>4</sub>	60 – 70
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30 – 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	Hasta 1,0
Sulfuro de hidrógeno		Hasta 1,0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5 – 3
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,1

Fuente: Cueva, 2012

#### **2.2.4.2. Proceso biológico de producción del biogás.**

El proceso biológico de producción de biogás, según Reyes (2017) se da, de la siguiente forma:

##### *a. Hidrólisis o licuación.*

Campos (2001) las partículas y moléculas complejas que son hidrolizadas, mediante reacciones de oxidación-reducción, por enzimas extracelulares producidos por los

organismos fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles, que serán metabolizados por las bacterias anaerobias en el interior de las células. Los compuestos solubles, básicamente diferentes tipos de oligosacáridos y azúcares, alcoholes, aminoácidos y ácidos grasos, son fermentados por los microorganismos acidogénicos que producen principalmente, ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono e hidrógeno. Los ácidos de cadena corta son transformados en acético, hidrógeno y dióxido de carbono mediante la acción de los microorganismos acetogénicos (citado en Reyes, 2017, p. 67).

*b. Acidogenésis y acetogenésis.*

Gerardi (2003) menciona que, en este proceso, el material orgánico es fermentado por varios organismos, formando así compuestos que pueden ser utilizados primeramente por los microorganismos metanógenos (acético, fórmico, H<sub>2</sub>), y compuestos orgánicos más reducidos (láctico, etanol, propiónico, butírico) que propiamente deben ser oxidados por las bacterias acetogénicas a pequeños sustratos, que le sean factibles de utilizar a las bacterias metanógenas. Los principales productos de esta etapa son ácidos grasos volátiles (citado en Reyes, 2017, p. 68).

*c. Metanogenésis.*

Madigan, Martinko y Parker (1998) mencionan que la metanogénesis es el último paso del proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica. En esta etapa los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos

por un enlace covalente: acetato, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, formiato, metanol, y algunas metilaminas (citado en Reyes, 2017, p. 69).

### **2.2.5. Biodigestores.**

Según Valdivia (2000) un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor) dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que se descomponga por microorganismos, produciendo por un lado gas metano y por otros fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fosforo y potasio (citado en Reyes, 2017, p. 74).

#### ***2.2.5.1. Partes fundamentales de un biodigestor.***

Las partes de un biodigestor según Toala (2013) son las siguientes:

##### ***a. Tubería de admisión.***

Es aquella parte del biodigestor, que nos permite el ingreso del sustrato a la cámara de digestión o fermentación, sus medidas deben ser de aproximadamente 20 a 30 cm de diámetro, con 15 cm de profundidad a fin de evitar fugas del biogás que se generará.

##### ***b. Cámara de fermentación.***

Es aquella parte del biodigestor donde se realiza el proceso de fermentación y generación de biogás y biol; asimismo, esta es la parte principal del sistema, cuyo tamaño dependerá de la cantidad de sustrato que se quiera tratar.

*c. Tubería de salida.*

Evita el escape de gas, y la profundidad de su instalación debe ser de 15 cm, y su diámetro debe ser igual a 4 o 6 pulgadas.

*d. Tubería de salida de metano.*

Esta parte del biodigestor, será utilizado como salida del biogás que se generará en la cámara de fermentación.

*e. Dispositivo de seguridad.*

Está constituido por una válvula para medir el exceso de presión generada por el biodigestor, evitando rupturas en el sistema.

Uno de los beneficios de la biodigestión, es que mediante este proceso se disminuyen considerablemente los agentes contaminantes, presentes en el estiércol, tales como la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno.

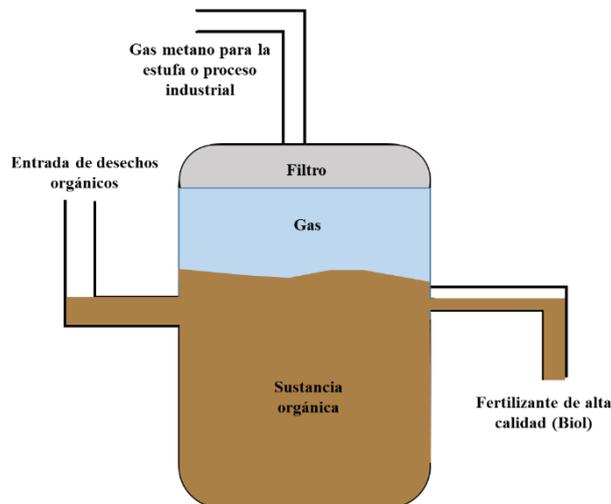


Figura 1. Partes principales de un biodigestor

Fuente: Toala, 2013.

### **2.2.5.2. Tipos de biodigestores.**

Los tipos de biodigestores y su clasificación depende mucho de la frecuencia de recarga, determinando así la cantidad de biomasa necesaria para el proceso anaerobio, según Toala (2013) tenemos los siguientes tipos:

#### **a. Biodigestores discontinuos.**

Son aquellos que no son recargables, es decir que, una vez iniciada la carga de sustrato en el biodigestor, no es posible volver a recargarlo, hasta finalizar el proceso de biodigestión, en tal sentido se tendrá que esperar a que el gas generado se vacíe por completo, para poder iniciar nuevamente el proceso. Este tipo de biodigestor es anaerobio, cuya ventaja es que consiente una recarga mayor de sustrato poco diluido.

#### **b. Biodigestores semicontinuos.**

Son aquellos que, si permiten una carga diaria de pequeñas porciones de sustrato, pero la desventaja de este tipo de biodigestor es que, utiliza una cantidad considerable de agua, de aproximadamente una relación de 1:4, una parte de estiércol y 4 partes de agua (Toala, 2013, p. 22).

#### **c. Biodigestores continuos.**

Este tipo de biodigestor funciona con una entrada de sustrato y salida de producto continua, sin embargo, la desventaja de este tipo de biodigestor es que, el proceso no se cumple al 100 %, lo cual no asegura la degradación total de patógenos, necesitándose recircular el efluente (Toala, 2013, p. 22).

#### *d. Modelo horizontal.*

El modelo de biodigestores horizontales, se diferencia por tener una cámara de fermentación alargada, y en los extremos se ubican la cámara de carga y descarga, la ventaja es que la carga inicial no se mezclará con el efluente, lo cual favorece la calidad del efluente, para su reaprovechamiento. Una de las ventajas es que, son de muy bajo costo, aplicable en zonas con bajos recursos económicos, además su sencilla implementación mediante el uso de plásticos tubulares (Toala, 2013, p. 22).

### **2.2.6. Proceso de biodigestión.**

#### **2.2.6.1. Proceso aeróbico.**

Este proceso es realizado por bacterias aeróbicas, que precisan de oxígeno atmosférico o diluido en agua, es así que mediante el compostaje se pueden tratar residuos orgánicos, proceso que también funciona o la presencia de oxígeno en el medio.

#### **2.2.6.2. Proceso anaeróbico.**

Este proceso está comprendido por una serie compleja de reacciones de fermentación y digestión, realizadas por diferentes especies de bacterias, bajo condiciones sin presencia de oxígeno, transformando la materia orgánica o sustrato en biomasa, el cual finaliza con la producción de metano y dióxido de carbono, gases que componen el biogás.

### **2.2.7. El biol.**

Aparcana como se citó en Vega (2015) el biol es el residuo líquido, que resulta del fango, que se genera en la cámara de fermentación, solo el 1 % del sustrato ingresado se transforma en biogás, mientras que el otro 90 % del sustrato, se transforma en biol, el cual se utiliza como fertilizante, muy rico en nutrientes, para re-fortalecer el crecimiento de plantas.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

El proyecto de investigación es de tipo aplicada, debido a que, la investigación está basada en la manipulación de variables independientes, medición de variables, se tiene más de dos grupos de comparación y se realizará pospruebas para determinar los efectos de las condiciones experimentales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

#### **3.2. Diseño de la investigación**

##### **3.2.1. Diseño experimental.**

Se utilizará el diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones.

##### **3.2.2. Diseño metodológico.**

Para la aplicación del diseño de investigación propuesto se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

### ***3.2.2.1. Consideraciones para la construcción de los biodigestores.***

Para este proyecto se construirán biodigestores discontinuos anaerobios, con un volumen máximo de almacenamiento de 30 litros.

### ***3.2.2.2. Aseguramiento de la calidad de los insumos.***

En esta etapa del proyecto, se verifica que los insumos utilizados en el proyecto estén acorde a las necesidades de la investigación.

#### ***a. Estiércol vacuno.***

Se realizará la verificación que el ganado que proporciona el estiércol, no haya sido vacunado o esté recibiendo tratamiento de antibióticos.

#### ***b. Aceite residual.***

Para garantizar que la calidad del aceite sea la misma en los tratamientos, se homogenizará previo a su adición a los biodigestores; así mismo, este aceite residual provendrá de frituras de pollos y papas.

### ***3.2.2.3. Recolección del estiércol vacuno.***

El estiércol que se usará en la investigación, será recolectado del establo o lugar de descanso de los animales, esta actividad se realizará a tempranas horas del día, hasta completar la cantidad de 50,62 kg.

#### 3.2.2.4. Separación de sólidos.

Para impedir el ingreso de tierra y plásticos al biodigestor, se utilizarán técnicas de separación para asegurar que el tamaño de partículas a ingresar oscile entre 10 a 40 mm, asegurando una mejor degradación de los sustratos y mayor producción de biogás.

#### 3.2.2.5. Carga del sustrato al biodigestor.

La mezcla del sustrato será de 1:3, esto quiere decir, que se debe mezclar una parte de estiércol con tres partes de agua, la carga se llenará al 75% del volumen total del biodigestor, según las consideraciones técnicas propuestas por Tapia (2016). Se medirá el pH del sustrato de carga del biodigestor.

#### 3.2.2.6. Número de tratamientos.

Son dos tratamientos y un testigo control. El sustrato homogenizado será cargado a cada biodigestor, adicionalmente a esto al biodigestor 1 no se le añadirá aceite vegetal (tratamiento T<sub>1</sub> o grupo de control), al biodigestor 2 se le añadirá aceite residual al 5 % del volumen total del biodigestor (tratamiento T<sub>2</sub>) y al biodigestor 3 se le añadirá aceite vegetal al 10% del volumen total del biodigestor (tratamiento T<sub>3</sub>), según como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Número de tratamientos con estiércol vacuno y aceite residual*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>			
	R <sub>2</sub>			
	R <sub>3</sub>			

### 3.2.2.7. Medición de la producción de biogás.

La producción de biogás se medirá en litros (L), teniendo como primer tiempo evaluación los cero días como un testigo, la segunda y tercera a los 15 y 30 días respectivamente. Las muestras para determinar la coloración de la llama y el pH del sustrato, se tomarán simultáneamente a la medición del volumen de producción de biogás. En la figura 2 se muestra el diagrama del diseño metodológico.

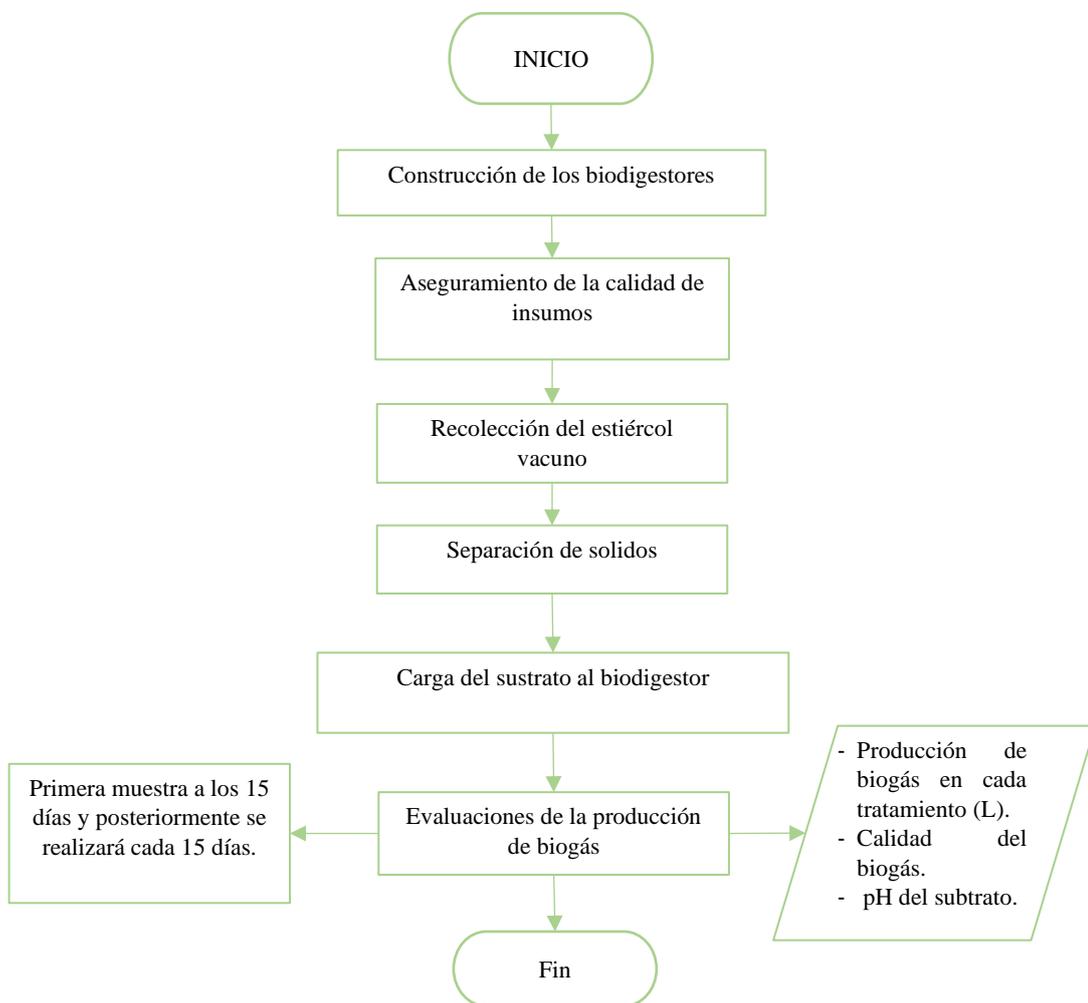


Figura 2. Diagrama del diseño metodológico a emplearse.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población.**

La población está comprendida por todos los establos pertenecientes a los distritos de Moquegua y Samegua.

#### **3.3.2. Muestra.**

La muestra a estudiar en la investigación será no probabilística o dirigida, esta comprenderá el establo de una finca ganadera, ubicado en el distrito de Samegua, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua.

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnica para la recolección de datos.**

##### ***3.4.1.1. Observación directa.***

Esta técnica se utilizará para ver la coloración del gas al momento de realizar el quemado del mismo.

##### ***3.4.1.2. Observación indirecta.***

Esta técnica se utilizará para realizar la medición del volumen de producción del biogás.

#### **3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos.**

Para el registro de la información recolectada se usará la ficha para recolección de datos (ver anexo).

Para evaluar la producción de biogás se utilizará un gasómetro de tipo Mariotte construido en bidones de plástico, esto nos permitirá hacer los cálculos del volumen de biogás producido de acuerdo al volumen de agua desplazado en cada tratamiento, para medir el pH se usará tiras de papel reactivas.

### **3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se utilizarán:

#### **3.5.1. Estadística descriptiva.**

Permitirá describir cada uno de los tratamientos y evaluar su grado de producción en relación al tiempo.

#### **3.5.2. Estadística inferencial.**

Se utiliza la estadística inferencial para comparar hipótesis.

#### **3.5.3. Estadística experimental.**

Para el análisis de los datos recopilados se realizará el análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey. Para el análisis de varianza se tendrá como:

- Grados de libertad de los tratamientos = 2
- Grados de libertad del error experimental = 6
- Grados de libertad total = 8

También se utilizarán:

- IBM SPSS Statistics 21

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de resultados

##### 4.1.1. Resultado de la medición de producción de biogás.

Para realizar la medición de la producción de biogás, se evaluó los parámetros de pH, volumen de producción y coloración de la llama, con una concentración de 0, 5 y 10 % de aceite residual. En la tabla 6, se muestran los resultados obtenidos en un tiempo de retención de cero días en los biodigestores.

**Tabla 6**

*Resultados obtenidos a los cero días de retención en los biodigestores*

Parámetro	Unidad	Concentración de aceite residual								
		T <sub>1</sub> = 0%			T <sub>2</sub> = 5%			T <sub>3</sub> = 10%		
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
potencial de hidrógeno	pH	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Volumen	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coloración de llama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Nota:* T<sub>1</sub> = primer tratamiento, T<sub>2</sub> = segundo tratamiento, T<sub>3</sub> = tercer tratamiento

R<sub>1</sub> = primera repetición; R<sub>2</sub> = segunda repetición; R<sub>3</sub> = tercera repetición.

Escala de coloración  = 1  = 2  = 3  = 4

Los resultados del análisis realizado a los cero días, con una concentración del 0, 5 y 10 % de aceite residual en la primera, segunda y tercera repetición respectivamente fueron de 5 unidades de pH, mientras que, el volumen de producción de gas fue de cero, por lo tanto, no se pudo obtener ningún tipo de coloración de llama.

**Tabla 7**

*Resultados obtenidos a los 15 días de retención en los biodigestores*

Parámetro	Unidad	Concentración de aceite residual								
		T <sub>1</sub> = 0%			T <sub>2</sub> = 5%			T <sub>3</sub> = 10%		
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
<b>Tiempo de retención (0 días)</b>										
pH1	potencial de hidrógeno	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Volumen 1	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coloración de llama 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo de retención (15 días)</b>										
pH2	potencial de hidrógeno	7	7	7	6	6	6	6	6	6
Volumen 2	L	13	14	13	8	6,55	7,05	4,1	3,1	2,5
Coloración de llama 2	-	4	4	4	3	3	3	3	3	2

*Nota:* T<sub>1</sub> = primer tratamiento, T<sub>2</sub> = segundo tratamiento, T<sub>3</sub> = tercer tratamiento

R<sub>1</sub> = primera repetición; R<sub>2</sub> = segunda repetición; R<sub>3</sub> = tercera repetición.

Escala de coloración  = 1  = 2  = 3  = 4

A los 15 días de retención, en el primer tratamiento, el cual presenta una concentración de 0 % de aceite residual, el resultado en la primera, segunda y tercera repetición fue de R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 7 unidades de potencial de hidrógeno (pH), el cual es mayor al resultado de, R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 5 unidades de potencial de hidrógeno (pH), obtenido a los cero días. Asimismo, a los 15 días de retención, en el segundo y tercer tratamiento, el cual presenta una concentración de 5 y 10 % de aceite residual respectivamente, el resultado en la primera, segunda y tercera repetición fue de R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 6 unidades de potencial de hidrógeno (pH), el cual es mayor al resultado de, R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 5 unidades de potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención .

El volumen de gas producido a los 15 días en el primer tratamiento, el cual presenta una concentración de 0 % de aceite residual, dio como resultado 13 L en la primera repetición, 14 L en la segunda repetición y 13 L en la tercera repetición.

Asimismo, en el segundo tratamiento, el cual presenta una concentración de 5 % de aceite residual, se obtuvo el resultado de 8 L en la primera repetición, 6,55 L en la segunda repetición y 7,05 L en la tercera repetición.

En el tercer tratamiento, el cual presenta una concentración de 10 % de aceite residual, se obtuvo resultados de 4,1 L en la primera repetición; 3,1 L en la segunda y 2,5 L en la tercera repetición.

La coloración de la llama del gas producido a los 15 días en el primer tratamiento a una concentración de 0 % de aceite residual, fue color azul, equivalente a 4 en la primera, segunda y tercera repetición.

Asimismo, en el segundo tratamiento, a una concentración de 5 % de aceite residual, fue color azul claro, equivalente a 3, en la primera, segunda y tercera repetición.

En el tercer tratamiento, a una concentración de 10 % de aceite residual, fue color azul claro, equivalente a 3, en la primera y segunda repetición; y color amarillo, equivalente a 2 en la tercera repetición.

**Tabla 8***Resultados obtenidos a los 30 días de retención en los biodigestores*

Parámetro	Unidad	Concentración de aceite residual								
		T <sub>1</sub> = 0%			T <sub>2</sub> = 5%			T <sub>3</sub> = 10%		
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
<b>Tiempo de retención (0 días)</b>										
pH1	potencial de hidrógeno	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Volumen 1	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coloración de llama 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo de retención (30 días)</b>										
pH2	potencial de hidrógeno	7	7	7	6	6	6	6	6	6
Volumen 2	L	13	15	13	9	10,5	10	4	3,5	3,5
Coloración de llama 2	-	4	4	4	4	4	4	3	3	3

*Nota:* T<sub>1</sub> = primer tratamiento, T<sub>2</sub> = segundo tratamiento, T<sub>3</sub> = tercer tratamiento

R<sub>1</sub> = primera repetición; R<sub>2</sub> = segunda repetición; R<sub>3</sub> = tercera repetición.

Escala de coloración  = 1  = 2  = 3  = 4

A los 30 días de retención, en el primer tratamiento, el cual presenta una concentración de 0 % de aceite residual, el resultado en la primera, segunda y tercera repetición fue de R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 7 unidades de potencial de hidrógeno (pH), el cual es mayor al resultado de, R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 5 unidades de potencial de hidrógeno (pH), obtenido a los cero días.

Asimismo, a los 30 días de retención, en el segundo y tercer tratamiento, el cual presenta una concentración de 5 y 10 % de aceite residual respectivamente, el resultado en la primera, segunda y tercera repetición fue de R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 6 unidades de potencial de hidrógeno (pH), el cual es mayor al resultado de, R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 5 unidades de potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención.

El volumen de gas producido a los 30 días en el primer tratamiento, el cual presenta una concentración de 0 % de aceite residual, dio como resultado 13 L en la primera repetición, 15 L en la segunda repetición y 13 L en la tercera repetición.

Asimismo, en el segundo tratamiento, el cual presenta una concentración de 5 % de aceite residual, se obtuvo el resultado de 9 L en la primera repetición, 10,5 L en la segunda repetición y 10 L en la tercera repetición.

En el tercer tratamiento, el cual presenta una concentración de 10 % de aceite residual, se obtuvo resultados de 4 L en la primera repetición y 3,5 L en la segunda y tercera repetición.

La coloración de la llama del gas producido a los 30 días en el primer tratamiento a una concentración de 0 % de aceite residual, fue color azul, equivalente a 4, en la primera, segunda y tercera repetición.

Asimismo, en el segundo tratamiento, a una concentración de 5 % de aceite residual, fue color azul, equivalente a 4, en la primera, segunda y tercera repetición.

En el tercer tratamiento, a una concentración de 10 % de aceite residual, fue color azul claro, equivalente a 3, en la primera, segunda y tercera repetición.

#### 4.1.2. Resultados del análisis estadístico.

##### 4.1.2.1. Análisis estadístico realizado para el parámetro de potencial de hidrógeno (pH).

a. A los cero días.

**Tabla 9**

*Resultados del parámetro de potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
<b>Repeticiones</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	5	5	5
	<b>R<sub>2</sub></b>	5	5	5
	<b>R<sub>3</sub></b>	5	5	5

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (pH) a los cero días de retención*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT	Sig.
					0,05 – 0,01	
Tratamiento	2	0,00	0,00	-	5,14 -10,92	NS
Error Experimental	6	0,00	0,00			
Total	8	0,00				

*Nota:* CV: 0,00 % y NS (No significativo)

F de V: Fuente de variabilidad, GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio, FC: F Calculada, FT: F Tabulada, Sig.: Significancia

En la tabla 10, apreciamos el análisis de varianza realizado para los resultados del parámetro de potencial de hidrógeno (pH), a los cero días de retención; analizado como parte de la producción de biogás producido; el mismo que nos resulta no significativo, es decir los promedios no presentan diferencia entre ellos, por lo que son iguales, con un coeficiente de variabilidad de 0,00 % (Calzada, 1982).

De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos rechazamos la hipótesis alterna (Ha) y aceptamos la hipótesis nula (Ho).

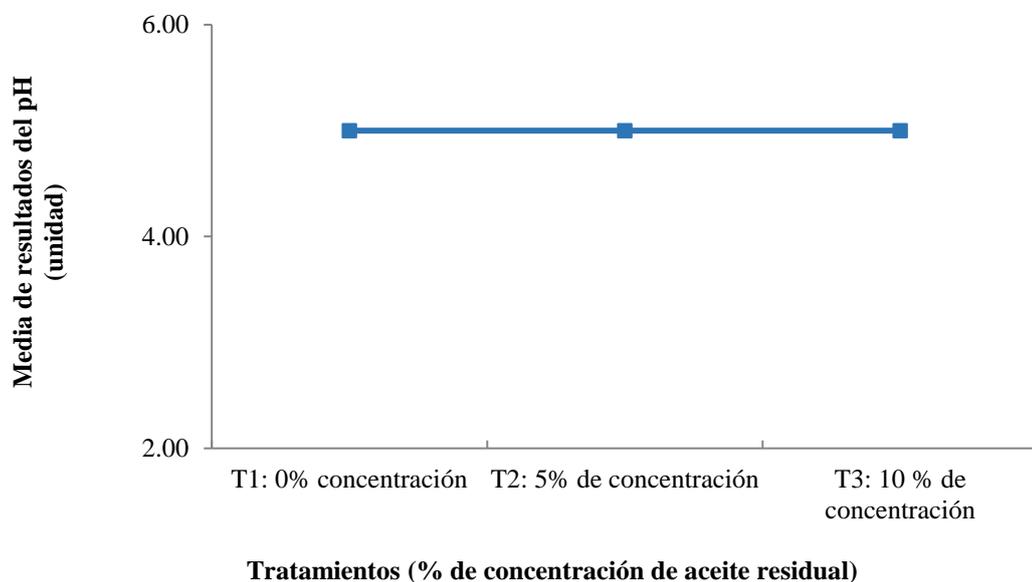


Figura 3. Comparación de medias para el parámetro de potencial de hidrógeno según en porcentaje de aceite residual.

En la figura 3, se puede apreciar que los valores del potencial de hidrógeno, ya sea a una concentración de 0, 5 y 10 % de aceite residual a los cero días de retención nos da un mismo valor de cinco unidades de pH.

b. A los quince días.

**Tabla 11**

*Resultados del parámetro de pH a los 15 días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticione s	R <sub>1</sub>	7	6	6
	R <sub>2</sub>	7	6	6
	R <sub>3</sub>	7	6	6

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza para pH a los 15 días de retención*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT 0,05 – 0,01	Sig.
Tratamiento	2	2,00	1,00	-	5,14 -10,92	NS
Error Experimental	6	0,00	0,00			
Total	8	2,00				

*Nota:* CV: 0,00 % y NS (No significativo)

En la tabla 12, apreciamos el análisis de varianza realizado para los resultados del parámetro de potencial de hidrógeno (pH), a los 15 días de retención; el mismo que nos resulta no significativo, es decir los promedios no presentan diferencia entre ellos, por lo que son iguales, con un coeficiente de variabilidad de 0,00 % (Calzada, 1982).

De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos rechazamos la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>) y aceptamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>).

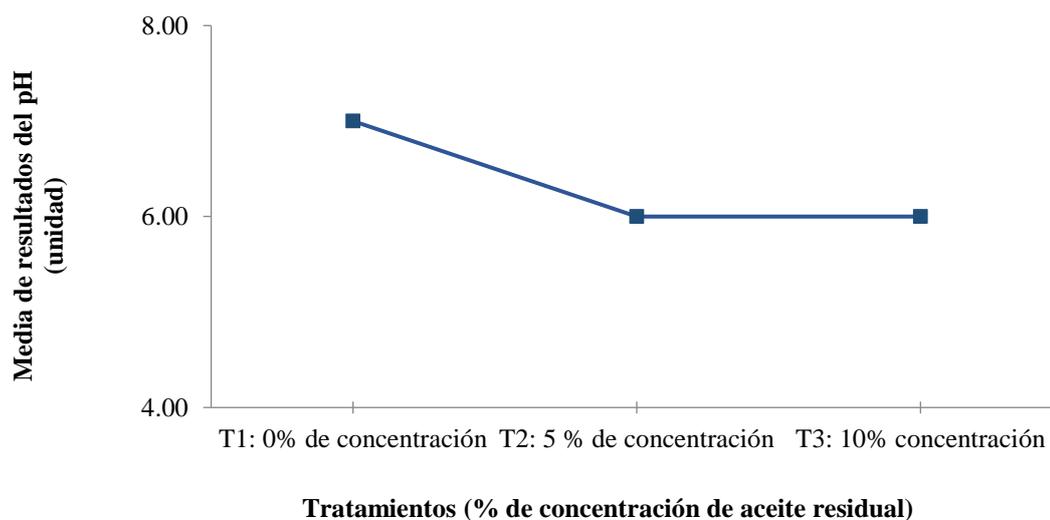


Figura 4. Comparación de medias para el parámetro de potencial de hidrógeno según el porcentaje de aceite residual a los 15 días de retención.

En la figura 4, se puede apreciar que los valores del potencial de hidrógeno a los 15 días de retención, a una concentración de 0 % de aceite residual se tiene un valor de 7 unidades de potencial de hidrógeno, a una concentración de 5 y 10 % de aceite residual se tiene un valor de 6 unidades de potencial de hidrógeno.

c. A los treinta días.

Tabla 13

Resultados del parámetro de pH a los 30 días de retención

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	7	6	6
	R <sub>2</sub>	7	6	6
	R <sub>3</sub>	7	6	6

Nota: R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

En la tabla 13, se aprecian los resultados obtenidos del análisis de pH como parte de la producción de biogás, el cual fue evaluado a los 30 días de retención, los que resultan ser iguales a los resultados obtenidos en la tabla 11, por los que el análisis de varianza será el mismo obtenido en la tabla 12, y la comparación de medias obtenidas será la misma que se visualiza en la figura 4.

*d. Análisis estadístico para el parámetro de pH a los 0, 15 y 30 días de retención.*

**Tabla 14**

*Promedios de los resultados del parámetro de pH a los cero, quince y treinta días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	6,33	5,67	5,67
	R <sub>2</sub>	6,33	5,67	5,67
	R <sub>3</sub>	6,33	5,67	5,67

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 15**

*Análisis de varianza del potencial de hidrógeno a los cero, quince y treinta días de retención*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT 0,05 – 0,01	Sig.
Tratamiento	2	0,87	0,44	-	5,14 -10,92	NS
Error Experimental	6	0,00	0,00			
Total	8	0,87				

*Nota:* CV: 0,00 % y NS (No significativo)

En la tabla 15, apreciamos el análisis de varianza realizado para el promedio de los resultados del parámetro de potencial de hidrógeno (pH), a los 0, 15 y 30 días de retención; el mismo que nos resulta no significativo, es decir los promedios no presentan diferencia entre ellos, por lo que son iguales, con un coeficiente de variabilidad de 0,00 % (Calzada, 1982).

De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos rechazamos la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y aceptamos la hipótesis nula ( $H_0$ ).

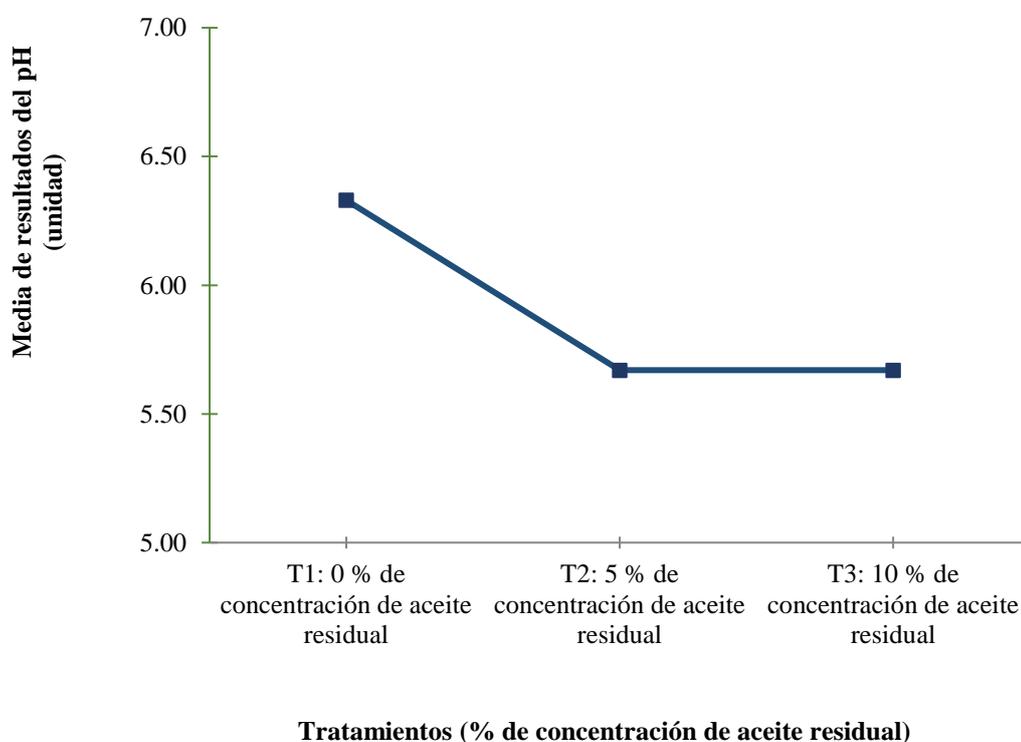


Figura 5. Comparación de medias del potencial de hidrógeno a los cero, quince y treinta días de retención.

En la figura 5, se puede apreciar que los valores del potencial de hidrógeno a los 0, 15 y 30 días, donde el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual tiene un

valor de 6,33 unidades de pH, seguido por el tratamiento T<sub>2</sub>: 5 % y T<sub>3</sub>: 10 % de concentración de aceite residual con un valor de 5,67 unidades de pH para ambos.

**4.1.2.2. Análisis estadístico realizado para el volumen de biogás generado (L).**

*a. A los cero días.*

El volumen de biogás a los cero días es igual a cero, el cual representa al grupo de control, a continuación, se visualizan los datos.

**Tabla 16**

*Resultados del parámetro de volumen (L) a los cero días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	0	0	0
	R <sub>2</sub>	0	0	0
	R <sub>3</sub>	0	0	0

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

En la tabla 16, apreciamos los resultados del volumen (L) del biogás generado a los cero días, el cual nos da un valor de cero, ya que esta medición se realizó como grupo de control de la producción de biogás; asimismo, a los cero días no se tenía ningún proceso por consiguiente no hay generación de biogás. En tal sentido, el análisis de varianza nos resultará no significativo, con un coeficiente de variabilidad de 0,00 %, por lo que rechazaremos la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>) y aceptaremos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>).

*b. A los quince días.*

**Tabla 17***Resultados del parámetro de volumen (L) a los quince días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	13	8	4,1
	R <sub>2</sub>	14	6,55	3,1
	R <sub>3</sub>	13	7,05	2,5

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 18***Análisis de varianza del volumen (L) a los quince días de retención*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT	Sig.
					0,05 – 0,01	
Tratamiento	2	155,36	77,68	152,40	5,14 -10,92	**
Error Experimental	6	3,06	0,51			
Total	8	158,42				

*Nota:* CV: 9,1 % y \*\* (altamente significativo)

En la tabla 18, apreciamos el análisis de varianza realizado para el parámetro de volumen (L), a los quince días de retención; el mismo que nos resulta altamente significativo, es decir los promedios son estadísticamente diferentes entre ellos, el coeficiente de variabilidad es de 9,1 % el cual es aceptable para el experimento, ubicándose dentro de los rangos establecidos para experimentos (Calzada, 1982).

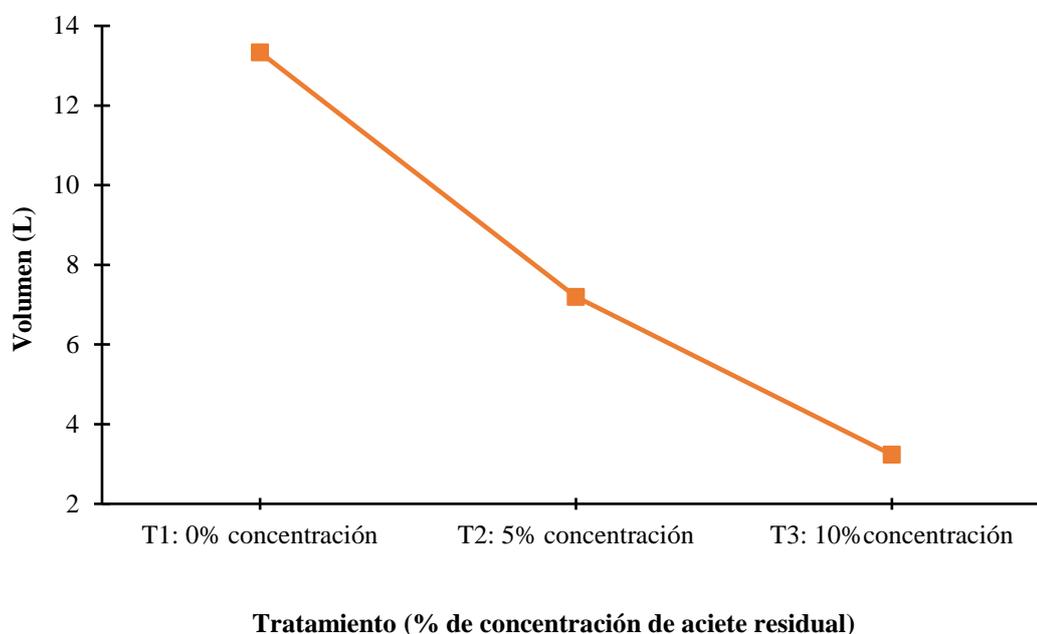
De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos rechazamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y aceptamos la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>).

**Tabla 19**

*Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen (L) a los quince días de retención*

N°	Tratamiento	Promedio ( L)	Sig.	OM
1	T <sub>1</sub> : 0 % de concentración de aceite residual	13,33	a	1 <sup>er</sup> lugar
2	T <sub>2</sub> : 5 % de concentración de aceite residual	7,20	b	2 <sup>do</sup> lugar
3	T <sub>3</sub> : 10 % de concentración de aceite residual	3,23	c	3 <sup>er</sup> lugar

En la tabla 19, podemos observar los resultados de la prueba de significación de Tukey para el parámetro de volumen (L), del cual podemos afirmar que, existe diferencia significativa al 95 % de probabilidad, siendo el mejor promedio el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual con 13,3 L, seguido del T<sub>2</sub>: 5 % de concentración de aceite residual con 7,20 L, quedando en el último lugar el T<sub>3</sub>: 10 % de concentración de aceite residual con 3,23 L.



*Figura 6. Comparación de medias del volumen (L) de biogás obtenido a los quince días de retención.*

En la figura 6, se puede apreciar que los valores obtenidos del volumen (L) del biogás a los 15 días de retención, a una concentración de 0 % de aceite residual se tiene un valor de 13,33 L, a una concentración de 5 % se tiene un valor de 7,20 y a una concentración del 10 % de aceite residual se tiene un valor de 3,23 L, lo que nos indica que existe una mejor producción de biogás con un 0 % de concentración de aceite residual.

c. *A los treinta días.*

A los treinta días de retención se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 20**

*Resultados del volumen de producción a los treinta días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	13	9	4
	R <sub>2</sub>	15	10	3,5
	R <sub>3</sub>	13	10	3,5

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 21**

*Análisis de varianza para el volumen (L) de producción a los treinta días de retención*

F de V	GL	SC	CM	FC	FT 0,05 – 0,01	Sig.
Tratamiento	2	152,00	76,00	130,29	5,14 -10,92	**
Error Experimental	6	3,50	0,83			
Total	8	155,50				

*Nota:* CV: 8,49 % y \*\* (altamente significativo)

En la tabla 21, apreciamos el análisis de varianza realizado para el parámetro de volumen (L), a los treinta días de retención; el mismo que nos resulta altamente significativo, es decir los promedios son estadísticamente diferentes entre ellos, el coeficiente de variabilidad es de 8,49 % el cual es aceptable para el experimento, ubicándose dentro de los rangos establecidos para experimentos (Calzada, 1982).

De esta forma y de acuerdo a los resultados obtenidos, rechazamos la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alterna (Ha).

**Tabla 22**

*Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen (L) a los treinta días*

N°	Tratamiento	Promedio ( L)	Sig.	OM
1	T <sub>1</sub> : 0 % de concentración de aceite residual	13,67	a	1 <sup>er</sup> lugar
2	T <sub>2</sub> : 5 % de concentración de aceite residual	9,67	b	2 <sup>do</sup> lugar
3	T <sub>3</sub> : 10 % de concentración de aceite residual	3,67	c	3 <sup>er</sup> lugar

En la tabla 22, podemos observar los resultados de la prueba de significación de Tukey para el parámetro de volumen (L), del cual podemos afirmar que, existe diferencia significativa al 95 % de probabilidad, siendo el mejor promedio el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual con 13,67 L, seguido del T<sub>2</sub>: 5 % de concentración de aceite residual con 9,67 L, quedando en el último lugar el T<sub>3</sub>: 10 % de concentración de aceite residual con 3,67 L.

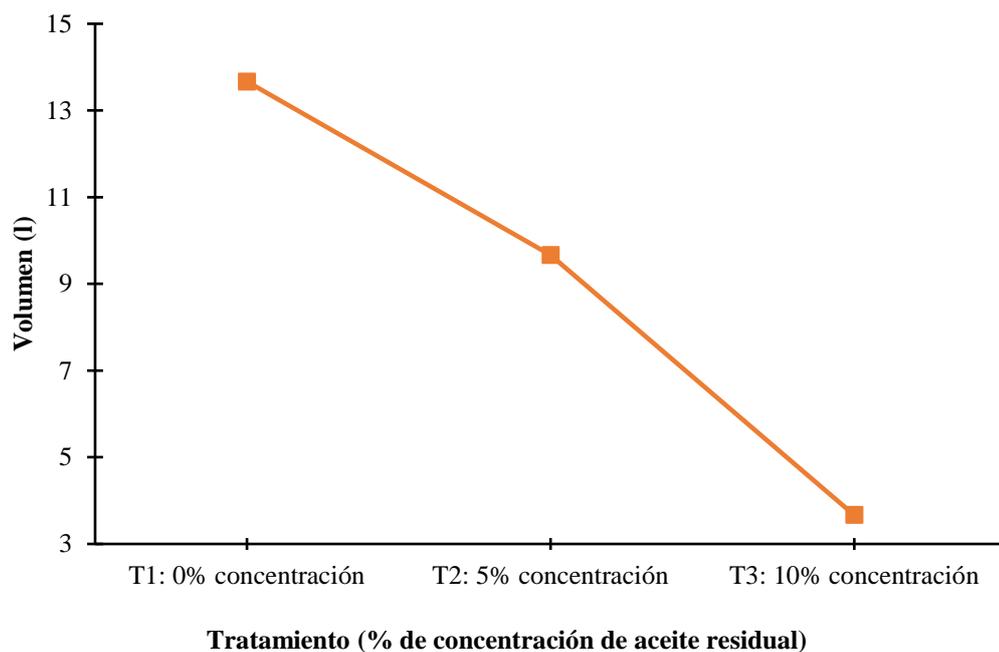


Figura 7. Comparación de medias del volumen (L) de producción de biogás a los treinta días de retención.

e. *Análisis estadístico para el parámetro de volumen (L) a los 0, 15 y 30 días de retención.*

**Tabla 23**

*Promedios de los resultados del parámetro de volumen (L) a los cero, quince y treinta días de retención*

		Tratamientos (% de concentración de aceite residual)		
		T <sub>1</sub> = 0 %	T <sub>2</sub> = 5 %	T <sub>3</sub> = 10 %
Repeticiones	R <sub>1</sub>	13	8.5	4,05
	R <sub>2</sub>	14,5	8.53	3,3
	R <sub>3</sub>	13	8,53	3

*Nota:* R<sub>1</sub>: Primera repetición; R<sub>2</sub>: Segunda repetición; R<sub>3</sub>: Tercera repetición.

T<sub>1</sub>: Primer tratamiento al 0 % de concentración de aceite residual, T<sub>2</sub>: Segundo tratamiento al 5 % de concentración de aceite residual, T<sub>3</sub>: Tercer tratamiento al 10 % de concentración de aceite.

**Tabla 24***Análisis de varianza para el volumen a los cero, quince y treinta días de retención*

<b>F de V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>FT</b> <b>0,05 – 0,01</b>	<b>Sig.</b>
Tratamiento	2	151,51	75,75	217,93	5,14 -10,92	**
Error Experimental	6	2,09	0,35			
Total	8	153,59				

*Nota:* CV: 6,94 % y \*\* (altamente significativo)

En la tabla 24, podemos observar el análisis de varianza para los resultados del volumen obtenidos a los cero, quince y treinta días, el cual nos resulta altamente significativo, es decir los promedios son estadísticamente diferentes. Asimismo, el coeficiente de variabilidad es de 6,94 % el cual es aceptables para el experimento, ubicándose dentro de los rangos establecidos para experimentos (Calzada, 1982). En tal contexto, rechazamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y aceptamos la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>).

**Tabla 25***Prueba de significancia de Tukey, para el parámetro de volumen a los cero, quince y treinta días de retención*

<b>N°</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio ( L)</b>	<b>Sig.</b>	<b>OM</b>
1	T <sub>1</sub> : 0 % de concentración de aceite residual	13,5	a	1 <sup>er</sup> lugar
2	T <sub>2</sub> : 5 % de concentración de aceite residual	8,52	b	2 <sup>do</sup> lugar
3	T <sub>3</sub> : 10 % de concentración de aceite residual	3,45	c	3 <sup>er</sup> lugar

En la tabla 25, observamos los resultados de la prueba de significancia de Tukey, para el volumen promedio obtenido a los cero, quince y treinta días, del cual se concluye que existe diferencia significativa al 95 % de probabilidad, siendo el mejor promedio T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual con 9 L, seguido del T<sub>2</sub>: 5 % de concentración de aceite residual con 5,68 L, quedando en último lugar el T<sub>3</sub>: 10 % de concentración de aceite residual con 2,30 L.

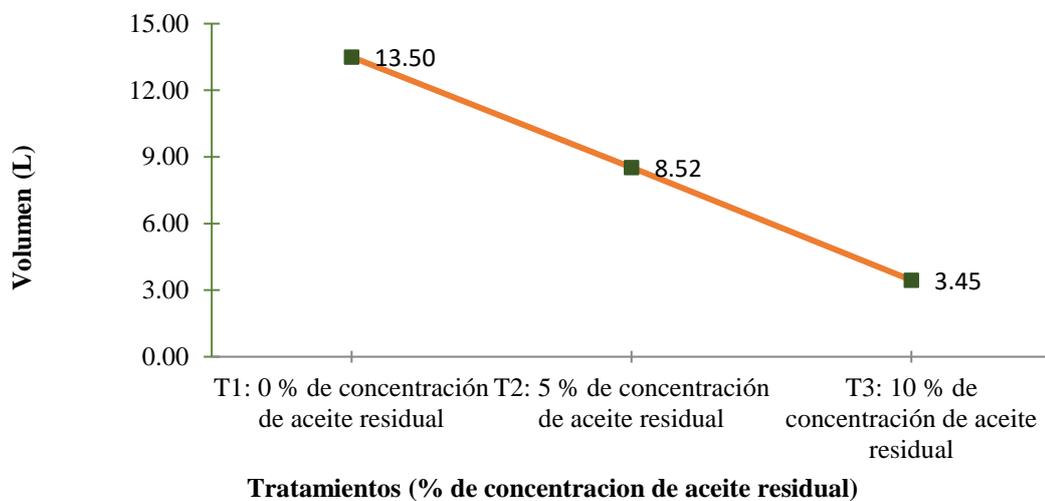


Figura 8. Comparación de medias para el parámetro de volumen (L) a los cero, quince y treinta días de retención.

En la figura 8, se muestra la media para el volumen (L) de biogás producido a los cero, quince y treinta días, en el que se puede afirmar que el mejor volumen producido es en el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual con 13.5 L, seguido por el T<sub>2</sub>: 5 % de concentración de aceite residual con 8,52 L, quedando en último lugar el T<sub>3</sub>: 10 % de concentración de aceite residual con 3,45 L.

#### 4.1.2.3. Análisis realizado para la coloración de la llama.

El análisis para la coloración de llama se realizó de manera cualitativa, de acuerdo a la siguiente escala de coloración, a la misma que se le otorgó una codificación.

**Tabla 26**

*Escala de coloración de llama*

Color de llama	Numeración de color
	1
	2
	3
	4

Fuente: Serrano, 2012

A continuación, tenemos los resultados de la coloración de llama obtenida a los quince y treinta días.

**Tabla 27**

*Resultados de la coloración de llama a los quince y treinta días*

Parámetro	Unidad	Concentración de aceite residual								
		T <sub>1</sub> = 0%			T <sub>2</sub> = 5%			T <sub>3</sub> = 10%		
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
<b>Tiempo de retención (15 días)</b>										
Coloración de llama	-	4	4	4	3	3	3	3	3	2
<b>Tiempo de retención (30 días)</b>										
Coloración de llama 2	-	4	4	4	4	4	4	3	3	3

Nota: Escala de coloración  = 1  = 2  = 3  = 4

Según Serrano (2012) indica que, la coloración de la llama es relativo o indicativo de la temperatura, el tipo de combustible y la relación aire – combustible. Asimismo, el menciona que, para el gas natural, el color azul de la llama indica la condición ideal de combustión, mientras que los tonos rojizos, naranjas o amarillos, indican una combustión incompleta.

En tal contexto, teniendo en consideración que, a los quince días de retención, para el T<sub>1</sub>: 0 % la R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> tuvieron una coloración de llama azul (4), el cual nos indica que se ha tenido una condición buena de combustión.

Así para el T<sub>2</sub>: 5 % la R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> tuvieron una coloración de llama azul claro (3), el cual nos indica que se ha tenido una regular condición de combustión. Así también el T<sub>3</sub>: 10 % la R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> tuvieron una coloración de llama azul claro (3), el cual nos indica que se ha tenido una regular condición de combustión, mientras que el R<sub>3</sub> tuvo una coloración amarilla, que indica que hubo una mala condición de combustión.

A los treinta días de retención; para el T<sub>1</sub>: 0 % y el T<sub>2</sub>: 5 % tuvieron una coloración de llama azul (4), el cual nos indica que se ha tenido una condición buena de combustión.

Para el T<sub>3</sub>: 10 % la R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub> tuvieron una coloración de llama azul claro (4), el cual nos indica que se ha tenido una regular condición de combustión.

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

### **4.2.1. Hipótesis general.**

Después de ejecutar la parte experimental y evaluar los resultados obtenidos podemos afirmar que el usar aceite residual y estiércol vacuno permite producir biogás en la ciudad de Moquegua.

### **4.2.2. Hipótesis derivadas.**

Luego de la construcción de los biodigestores, puesta en marcha y evaluación de los resultados se afirma que cada tratamiento ha obtenido volúmenes diferentes de producción de biogás.

Se evaluó la calidad del biogás de cada tratamiento en base a la coloración de la llama, teniendo resultados diferentes en los tratamientos.

## **4.3. Discusión de resultados**

Según los objetivos propuestos en la presente tesis, se realizó la evaluación de la producción de biogás a partir de estiércol vacuno y aceite residual considerando los indicadores de pH, volumen de producción de biogás y coloración de la llama.

El pH producto de la experimentación indica que no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos, donde el día cero de producción se obtuvo al 0, 5 y 10 % de concentración de aceite residual un pH de 5, el cual según Varnero (2011) se encuentra dentro de los niveles normales.

A los 15 días de retención se obtuvo como resultado a un 0 % de concentración de aceite residual un pH de 7, mientras que al 5 y 10 % de

concentración de aceite residual se obtuvo un pH de 6, teniendo resultados similares a Flores (2013) donde el rango osciló de 6,45 a 8 unidades de pH.

A los 30 días de retención al 0 % de concentración de aceite residual se obtuvo un valor de 7 unidad de pH, mientras que al 5 y 10 % de concentración de aceite residual fue de 6 unidad de pH, los cuales según Bayona y Cortés (2015), se encuentran dentro del rango de entre 6 y 8 que asegura el buen funcionamiento del reactor, evitando la acidificación de la mezcla de estiércol y aceite residual.

El pH no fue un factor determinante al estar dentro de la zona de tolerancia como lo indica Varnero (2011) el proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH, siendo el rango óptimo de 5,5 a 8,2 y el ideal cercano a 7. Teniendo dichas consideraciones, podemos afirmar que el pH obtenido en cada tratamiento se ha mantenido dentro del rango óptimo.

Según las medias obtenidas, podemos afirmar que, el mejor resultado obtenido para el parámetro de pH, lo obtuvo el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual, a los 15 y 30 días de retención con un valor de 7 unidades de pH.

Del volumen de producción de biogás se puede indicar que a los cero días de retención el volumen obtenido fue de cero litros, dicho dato fue tomado como un grupo de control.

A los 15 días de retención, el volumen promedio obtenido al 0 % de concentración de aceite residual fue de 13,33 L, el cual es mayor al volumen promedio obtenido al 5 y 10 % de concentración de aceite, esto pudo deberse a que el T<sub>1</sub> tuvo como insumos estiércol vacuno y agua, que de acuerdo a Varnero (2011)

las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan fuentes de carbono/ nitrógeno y cierto equilibrio en sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores); mientras que al 5 % de concentración de aceite residual el volumen promedio fue de 7,20 L y al 10 % de concentración el resultado fue de 3,23 L, resultados que coinciden con Beccari et al. cómo se citó en Fernández, Abalos, Crombet, Caballero (2010); donde se menciona que los residuales con alto contenido de lípidos, tal como el de las plantas refinadoras de aceites, poseen un elevado potencial para la producción de biogás debido a su alto rendimiento teórico de metano. Sin embargo, en la práctica es necesaria la aplicación de un tratamiento fisicoquímico antes de la digestión anaerobia debido a que los lípidos neutros son fácilmente hidrolizados a ácidos grasos de cadena larga (AGCL), los cuales ejercen un marcado efecto tóxico sobre los microorganismos involucrados en la  $\beta$ -oxidación y rutas metabólicas de la metanogénesis. Los resultados obtenidos en la experimentación son contrarios a lo ocurrido con Días, Kreling, Botero y Murillo (2007), donde los resultados obtenidos fueron, que al adicionar 5 % de grasa se logró aumentar la producción en 96 % con relación al testigo alimentado solamente con excretas bovinas.

Por lo que se puede concluir que, el mejor volumen obtenido a los 15 días de retención, fue a una concentración de 0 % de aceite residual, con un valor de 13,3 litros.

A los 30 días de retención, a un 0 % de concentración de aceite residual se obtuvo un volumen promedio de 13,67 litros, mientras que a un 5 % de

concentración de obtuvo 9,67 litros y a un 10 % de concentración se obtuvo 3,67 litros. Según las medias obtenidas una vez más, el mejor volumen obtenido a los 30 días de retención, fue a una concentración de 0 % de aceite residual, con un valor de 16,67 litros.

En tal contexto podemos afirmar que, el mejor volumen de biogás obtenido fue a los 30 días de retención, a un 0 % de concentración de aceite residual.

De la calidad de biogás, Varnero (2011), indica que el biogás es inflamable cuando tiene más de 45 % de metano; a los cero días de retención, no se obtuvieron valores, ya que no hubo producción de biogás, a los 15 días de retención y a una concentración del 0 % de aceite residual se obtuvo una coloración azul que equivale a 4, mientras que al 5 % y 10 % de concentración se obtuvo una coloración azul claro equivalente a 3. Según Serrano (2012), la mejor coloración es la azul, la misma que indica una buena calidad del biogás producido, entonces podemos afirmar que la mejor coloración y por ende calidad de biogás a los 15 días de retención se dio a una concentración del 0 % de aceite residual.

A los 30 días de retención, y a un 0 y 10 % de concentración de aceite residual se obtuvo una llama color azul, mientras que a una concentración del 10 % de aceite residual, se obtuvo una coloración azul clara, indicando una calidad regular del biogás.

Asimismo, afirmamos que la mejor coloración de llama y calidad del biogás obtenida a los 30 días de retención, fue a una concentración de 0 y 10 % de aceite residual, con una llama de color azul.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** Se produjo gas a partir de estiércol vacuno y aceite residual a concentraciones del 0, 5 y 10 %, a los cero, quince y treinta días de retención, de los cuales al 0 % de concentración de aceite residual, se obtuvo un volumen de 13,67 L, al 5 % de concentración de aceite residual se obtuvo 9,67 L y al 10 % de concentración de aceite residual se obtuvo 3,67 L todo esto a un tiempo de 30 días de retención.

**Segunda.** Se evaluaron cada uno de los tres tratamientos propuestos, de los cuales el tratamiento que produjo mas volumen de biogás fue el T<sub>1</sub>: 0 % de concentración de aceite residual, con un volumen de 13,67 en un tiempo de retención de 30 días, a una concentración de 1:3, una parte de estiércol y tres partes de agua al 75 % del volumen total del biodigestor.

**Tercera.** Se determinó el efecto de los diferentes tratamientos en la calidad del biogás producido, para lo cual se evaluaron los parámetros de pH y la coloración de llama, con respecto al pH, al 0 % de concentración de aceite residual nos dio un resultado de 6,33 unidades de pH, al 5 y 10 % de

concentración de aceite residual se obtuvo 5,67 unidades de pH respectivamente, evidenciando que no hubo acidificación, lo cual asegura la producción del biogás; con respecto a la coloración de llama, se obtuvo una coloración azul a los 30 días de retención y a una concentración del 0 y 10 % de aceite residual.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Evaluar la composición y/o propiedades del aceite residual que será empleado para la producción de biogás.

**Segunda.** Evaluar los tratamientos en distintos porcentajes de agua, estiércol vacuno y aceite residual, asegurando un proceso de agitación, que mantenga la mezcla del sustrato fresca y evite la inactividad biológica de la población bacteriana a fin de producir mayor volumen de biogás.

**Tercera.** Evaluar parámetros como la relación carbono nitrógeno de las materias primas y temperatura para determinar la calidad del biogás producido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aso, P. y Bustos, N. (1991). *Uso de residuos orgánicos, estiércol y cachaza, como abonos*. Tucumán, Argentina.
- Bayona, C. y Cortés, B. (2015). *Producción de biogás a partir de estiércol porcino a escala piloto: caso de estudio biorreactor continuo tubular de plástico (BCTP) Finca Tosoly*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160327.pdf>
- Calzada, J. (1982). *Métodos estadísticos para la investigación*. Lima, Perú: Milagros
- Castillo, D. y Tito, C. (2011). Obtención de biogás a partir de excremento de cuy en condiciones ambientales en Tacna Perú. *Ciencia & Desarrollo*, (13), 84-91. Recuperado de <https://doi.org/10.33326/26176033.2011.13.284>
- Consorcio para la Gestión de los Residuos Sólidos de Asturias (2010). *Carpeta del reciclaje*. España. Recuperado de <http://www.cogersa.es/metaspaces/file/51620.pdf>
- Cueva, B. (2012). *Obtención de biogás de estiércol porcino y restos vegetales, por fermentación semicontinua*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1885>
- Días, E., Kreling, J., Botero, R., Murillo, J. (2007). Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. *Tierra Tropical – Universidad EARTH*, 03(02), 149-160. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/238749162>

- Durán, F. (2004). *Manual de cultivos orgánicos y alelopatía*. Bogotá, Colombia: Estilos Editores Ltda.
- Fernández, M., Abalos, A., Crombet, S., y Caballero, H. (2010). Ensayos de biodegradabilidad anaeróbica de aguas residuales generadas en una planta refinadora de aceite de soja. *INTERCIENCIA*, 35(8),600. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33914367008.pdf>
- Flores, F. (2013). *Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el C.P. Chen - Chen – Moquegua* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4523>
- Gobierno Regional de Moquegua (2014). *Estrategia Regional de Diversidad Biológica 2014 – 2021*. Moquegua, Perú: GRM
- González, A. y Carlsson, A. (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 7-14. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/90830>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (2014). *Ganaderos de los distritos de Puquina y la Capilla incrementaron en 100 % la producción de leche*. Recuperado de <http://www.inia.gob.pe/sala-de-prensa/notas-de-prensa/680-ganaderos-de-los-distritos-puquina-y-la-capilla-incrementaron-en-100-la-producción-de-leche>

- Procuraduría Federal del Consumidor (2010). Revista del Consumidor: *Estudio de calidad: aceites vegetales comestibles. La sartén por el mango*. Recuperado de <http://revistadelconsumidor.gob.mx/wp-content/uploads/2010/10/aceites.pdf>
- Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 06(24), 60-81. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/8730/>
- Salazar, J., Amusquivar, C., Llave, J. y Rivasplata, C. (2012). *Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: Experiencias en la Ciudad de Tacna*. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/8700/ayasta\\_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/8700/ayasta_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sandoval, L. (2006). *Manual de tecnologías limpias en PYMES del sector residuos sólidos*. Recuperado de <http://redrress.minam.gob.pe/material/20090128192419.pdf>
- Serrano, J. (2012). ¿Es posible inferir la eficiencia de un proceso de combustión, a partir de una inspección visual de la llama?. *METFLU*, 7(7), 65-70. Recuperado de [https://cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra\\_revista/MetFlu7/7\\_Eficiencia\\_de\\_un\\_Proceso\\_de\\_Combustion.pdf](https://cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu7/7_Eficiencia_de_un_Proceso_de_Combustion.pdf)
- Tapia, V. (2016). Instalación y uso de biogás: *Ganadería Puneña, generando energía limpia "biogás" para calefacción y cocina familiar*. Lima, Perú: CARE PERÚ.
- Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica*. (Tesis de pregrado). Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>.

Varnero, M. (2011). *Manual de Biogás*. Recuperado de [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual\\_de\\_biogas.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual_de_biogas.pdf)

Vega, J. (2015). *Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2000>