

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Evaluación de la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado en Madre de Dios 2016”**

**Tesis presentada por:** Bachiller:  
CÁCERES JURADO, Jonatan

**Para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Forestal y Medio  
Ambiente**

**Asesor:** Ingeniero: VELA DA  
FONSECA, Mauro.

**Coasesor:** M.Sc Qco. : RODRÍGUEZ  
ACHATA, Liset.

**Puerto Maldonado, 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“Evaluación de la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado en Madre de Dios 2016”**

**Tesis presentada por:** Bachiller:  
CÁCERES JURADO, Jonatan

**Para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Forestal y Medio  
Ambiente**

**Asesor:** Ingeniero: VELA DA  
FONSECA, Mauro.

**Coasesor:** M.Sc Qco. : RODRÍGUEZ  
ACHATA, Liset.

**Puerto Maldonado, 2018**

## DEDICATORIA

A mi Madre Rosa Jurado Acuña, por ser el cimiento primordial en todo lo que soy, por su apoyo absoluto que me brindo a través del tiempo. Y mi hermana Jenifer Cáceres Jurado que siempre me apoyo de corazón, e incondicionalmente

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos mis docentes que compartieron sus conocimientos conmigo y hacer posible la conclusión de mi carrera profesional y de esta tesis. Especialmente a mi asesor Ing. Mauro Vela Da-Fonseca y Co-asesora M.Sc. Liset Rodríguez Achata por sus ideas y recomendaciones, gracias a mi amiga Julia Zela Ochoa, por el apoyo que me brindo en el inicio del desarrollo de mi tesis.

Al proyecto "Generación de energía renovable a partir de los subproductos obtenidos del proceso de faenado de bovinos y porcinos del frigorífico Manu mediante la implementación de un reactor de geomembrana (biodigestor) a nivel piloto en el Departamento de Madre de Dios", que fue desarrollado por la entidad **FERNÁNDEZ ROMERO VADICK**, dentro del que se ejecutó el presente trabajo de investigación, que fue financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad con Convenio N°504-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2015, y al apoyo técnico de la Bach. Nohemi Aquino Archarte, M.V. Roberto Javier Lope Huamán, Bach. Rolfi Yuber Huaman Suarez y Gina Puma Paucar quienes participaron en todo el proceso de desarrollo del proyecto.

Al personal del Laboratorio Ambiental de la Universidad Amazónica de Madre de Dios por proporcionar los equipos y materiales para el desarrollo experimental de mi trabajo de investigación.

Al Vice Rectorado de Investigación de la UNAMAD, que por medio de fondos concursables de apoyo a la investigación costearon parte de los gastos de mi investigación.

Son varias las personas que formaron parte de mi vida durante todo el proceso de mi formación profesional, a las cuales agradezco por su amistad, apoyo, consejos y compañía en todo momento de mi vida, quiero agradecerles por formar parte de mí y por todo lo que me han dedicado.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga!

## PRESENTACIÓN

El trabajo de investigación está perfilado según las normas del reglamento de tesis establecido por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios para la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente. El estudio constituye un producto de la búsqueda de una solución integral problema de manejo de residuos específicamente estiércol de ganado vacuno y porcino en el camal Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado. Se analizó, se adaptó y se hizo viable la aplicación de tecnologías existentes de estos residuos como materia prima para la producción de biogás y como subproducto biol.

El estudio tuvo tres fases: a) diseño del experimento, b) diseño y puesta en marcha del biodigestor y c) análisis y control de la calidad de los productos y subproductos obtenidos.

En forma similar se consideró el mantenimiento y réplica en granjas y fundos, lo que implicaría trabajar en una metodología participativa involucrando a los dueños y trabajadores en todo el proceso, por lo que este estudio promoverá la implementación de esta tecnología rural en zonas de crianza de ganado minimizando la contaminación que estas producirían y al mismo tiempo aprovechando la energía renovable y subproductos obtenidos.

## RESUMEN

El presente estudio planteó como objetivo principal la evaluación de producción de Biogas de calidad a partir del estiércol de ganado vacuno y porcino en el camal Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado, en un periodo de 6 meses. Se implementó un sistema de biodigestión que consta de dos lechos para los reactores de geomembrana de 1,30 metros de ancho y 5 metros de largo, se realizaron 2 tratamientos uno con adición de agua y el otro con adición de agua, urea y carbonato de sodio a la mezcla de masa ruminal de ganado bovino y porcino. Se obtuvieron resultados óptimos en el tratamiento 2, con llama azul consistente, con pH promedio de 7,35 valores que favorecen la digestión metanogénica, con un porcentaje de metano del 63,91 % y 35,77% de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>. El subproducto el biol también presento buenas características, con pH = 6,95, conductividad eléctrica de 5,30 dS/m; resultados recomendables para fertilizar suelos, pero con valor bajo de materia orgánica 0,25 %, el contenido de nitrógeno total fue de 1,30%, con contenido irrestricto de boro 2,54 mg/kg. La presencia niveles de metales como zinc Zn = 5,96 mg/L, cromo Cr < 0,25 mg/kg, arsénico As < 0,25 mg/kg, selenio Se < 0,25 mg/kg, cadmio Cd < 0,10 mg/kg, níquel Ni < 0,175 mg/kg, mercurio Hg < 0,05mg/kg, plomo Pb < 0,01 mg/kg, molibdeno Mo < 0,10 mg/kg) se encuentran muy por debajo de los valores máximos permisibles de la norma del INN (2004) para compost. En cuanto al contenido de coliformes totales 490 NMP/1 000g, coliformes termotolerantes 490 NMP/1 000g, escherichia coli 490 NMP/1000g; y en salmonella se reportó ausencia cumpliendo con la norma del INN (2004). Finalmente se concluye que se obtuvo biogás y biol con mejores características de calidad del tratamiento 2.

## ABSTRACT O SUMMARY

The main objective of this study was to evaluate the production of quality Biogas from the manure of cattle and pigs in the Frigorífico Manu EIRL in Puerto Maldonado, in a period of 6 months. A bio digestion system was implemented, consisting of two beds for the geomembrane reactors, 1.30 meters wide and 5 meters long. Two treatments were carried out, one with the addition of water and the other with the addition of water, urea and sodium carbonate to the ruminal mass mixture of cattle and pigs. Optimal results were obtained in treatment 2, with consistent blue flame, with an average pH of 7.35 values favoring methanogenic digestion, with a methane percentage of 63.91% and 35.77% of CO<sub>2</sub> carbon dioxide. The byproduct the biol also presented good characteristics, with pH = 6.95, electrical conductivity of 5.30 dS / m; recommended results to fertilize soils, but with low value of 0.25% organic matter, the total nitrogen content was 1.30%, with unrestricted boron content 2.54 mg / kg. The presence of metal levels such as zinc Zn = 5.96 mg / L, chromium Cr <0.25 mg / kg, arsenic As <0.25 mg / kg, selenium Se <0.25 mg / kg, cadmium Cd <0, 10 mg / kg, nickel Ni <0.175 mg / kg, mercury Hg <0.05 mg / kg, lead Pb <0.01 mg / kg, molybdenum Mo <0.10 mg / kg) are well below maximum permissible values of the INN (2004) norm for compost. Regarding the content of total coliforms 490 NMP / 1 000g, thermotolerant coliforms 490 NMP / 1 000g, escherichia coli 490 NMP / 1 000g; and in salmonella, absence was reported in compliance with the INN norm (2004). Finally, it is concluded that biogas and biol with better quality characteristics of the treatment were obtained 2.

## INTRODUCCIÓN

La Digestión Anaerobia (DA) es un procedimiento biológico, que es muy empleado internacionalmente (Zarkadas et al. 2015 p. 14), recupera la energía utilizada como biogás y logra el equilibrio de la Materia Orgánica. La Materia Orgánica en la Digestión anaerobia proviene de distintos procesos, debido a la gran cantidad de desperdicios que pueden ser utilizados o manejados a través de este tratamiento. Así mismo, el desperdicio más empleado es el excremento o estiércol, de manera que la digestión anaerobia se convierte en una buena opción para disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de este deshecho (Ruiz 2017, p. 1). Considerando que el estiércol bovino es en especial un deshecho generado en el país de Colombia, este cuando no es empleado genera impactos negativos en el ambiente. Por otro lado, en el año 2010 el Atlas de Biomasa Residual Colombia, señala que Colombia produce 99 168 608 [t/año] de estiércol bovino, al ser sometido a una digestión anaerobia sería aproximadamente Terajoule/año [TJ/año] (UPME, IDEAM y COLCIENCIAS, 2014) A pesar de que es un residuo que se puede aprovechar, no es trabajado. El tratamiento de la digestión anaerobia es una forma de conseguir energía para los sectores rurales y el estiércol porcino es uno de los residuos más empleados (Mata-Alvarez et al. 2014,)(Mata-Alvarez et al. 2014), en Colombia el desarrollo de estos trabajos son muy pocos.

Para implementar la digestión anaerobia como una tecnología para producir energía se necesita de proyectos de investigación que nos ayuden a entender todo su proceso de implementación y su eficiencia. Por ello, uno de los proyectos de investigación es la producción de biogás que se realizó en el municipio de Cumbal (Colombia), con el objetivo de manejar el estiércol como un potencial. Este trabajo definió los co-sustratos e inóculo que serían necesarios para la investigación; después, de muchos ensayos en laboratorio se logró la caracterizar los sustratos, co-sustratos e inóculos definidos para las pruebas experimentales; luego, se realizó la evaluación para determinar la mezcla de sustrato, co-sustratos e inóculo que generó los resultados

adecuados para la producción de biogás; y por último, se implementó dos biodigestores tubulares (Ruiz 2017, p. 2)

Por otro lado, en Perú los proyectos llevados a cabo de biodigestores hasta el 2014, informaron la implementación de aproximadamente 20 biodigestores familiares en zonas rurales de la región de Cusco y Cajamarca. Los biodigestores implementados produjeron gas capaz de rendir de 3 a 4 horas diarias para cocinar; de esta manera se beneficiaron económicamente muchas comunidades campesinas (Ferrer et al. 2008,) Así mismo, la región de Madre de Dios generó energía renovable proveniente de desperdicios orgánicos de actividades pecuarias; por lo cual, instalaron biodigestores para producir biogás y biol, y lograr con ello disminuir costos económicos. La implementación del biodigestor en Madre de Dios se llevó a cabo en el “establo pecuario Juanita, construyeron un reactor geo membrana de PVC de 10 m<sup>3</sup> que genero cada 48 horas 5 m<sup>3</sup> de gas metano a partir de excremento de ganado porcino y bovino, con un tiempo de retención de 30 días calendario, con cargas inter-diarias de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol con agua (1:3)”. Los datos se recopilaban a diario por un tiempo de 6 semanas, se determinó que en “condiciones ambientales se genera gas metano con combustión completa a partir del día 10 en porcinos y 12 en bovinos”, obteniéndose también en este proceso biol. Por último, determinaron que es posible “implementar tecnologías de manejo de residuos sólido en centros pecuarios para la generación de energías renovables” (Fernandez et al. 2014)

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado en Madre de Dios, en este trabajo se presenta la información necesaria para desarrollar la investigación, donde se determinó el problema y una oportunidad para manejar el estiércol producido como biogás; además de proponer un beneficio social, económico y ambiental; finalmente, se describió la metodología empleada y los objetivos logrados.

## ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAC O SUMMARY .....</b>	<b>v</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>vi</b>
<b>CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del Problema .....	2
1.2.1 Problema general:.....	2
1.2.2 Problemas específicos:.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4 Variables.....	3
1.4.1 Variable Independiente .....	3
1.4.2 Variable Dependiente.....	4
1.5 Operacionalización de variables.....	5
1.6 Hipótesis .....	7
1.6.1 Hipótesis general .....	7
1.6.2 Hipótesis alterna .....	7
1.6.3 Hipótesis nula .....	7
1.6.4 Hipótesis derivadas.....	7
1.7 Justificación .....	8
1.8 Consideraciones éticas .....	9
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 Antecedentes del estudio.....	11

2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	11
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	13
2.1.3. Antecedentes Regionales .....	15
2.2. Bases Teóricas .....	16
2.3.1 Estiércol .....	16
2.3.2 Biogás.....	19
2.3.3 Biodigestor .....	30
2.3.4 Funcionamiento del biodigestor.....	31
2.3.5 Tipos de biodigestores .....	31
2.3.6 Partes principales del biodigestor de polietileno .....	33
2.3.7 Ventajas y desventajas de los biodigestores .....	35
2.3.8 Diseño.....	36
2.3.9 Biol.....	39
2.4 Definición de términos.....	39
a) Azufre, en la producción de biol .....	39
b) Coliformes totales, en la producción de biol .....	40
c) Color de la llama, en la producción de biogás .....	40
d) Conductividad eléctrica, en la producción de biol.....	40
e) Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> , en la producción de biogás.....	41
f) Escherechia coli, en la producción de biol.....	41
g) Humedad .....	41
h) Materia orgánica, en la producción de biol .....	41
i) Metano CH <sub>4</sub> , en la producción de biogás .....	41
j) Nitrógeno, en la producción de biol .....	42
k) Potasio, en la producción de biol.....	42
l) Salmonella, en la producción de biol.....	42
m) Sólidos Totales .....	42

<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
3.1 Tipo de estudio .....	44
3.1.1 Tipo y nivel de investigación .....	44
3.1.2 Nivel de Investigación .....	44
3.1.3 Método de investigación.....	44
3.1.4 Unidad de análisis .....	44
3.2 Diseño del estudio.....	44
3.3 Población y muestra.....	45
3.3.1 Población de estudio para biogás .....	45
3.3.2 Tamaño de muestra para biogás.....	45
3.3.4 Población de estudio para biol .....	46
3.3.5 Tamaño de muestra para biol.....	46
3.4 Métodos y técnicas .....	46
3.4.1 Montaje del biodigestor .....	46
3.4.2 Generación de estiércol al día en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	49
3.4.2 Tiempo de retención .....	50
3.4.3 Carga diaria .....	51
3.4.4 Volumen de los reactores geomembranas .....	52
3.4.2 Métodos para el análisis de los tratamientos .....	53
3.5 Tratamiento de los datos.....	61
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>62</b>
4.1 Parámetros fisicoquímicos del proceso .....	62
4.1.1 Propiedades de los desechos orgánicos del ganado vacuno y porcino para la producción de biogás en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	62

4.2 Producción y calidad del biogás generado en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L .....	68
4.2.1 Producción de biogás.....	68
4.2.2 Calidad de biogás .....	70
4.3 Calidad del biol producido en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.....	81
4.3.1 Resultados de la composición química del biol .....	81
4.3.2 Resultados del contenido de metales en el biol.....	88
4.3.3 Resultados de la composición microbiológica del biol .....	96
CONCLUSIONES .....	101
SUGERENCIAS.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>
ANEXO 1. Matriz consistencia .....	111
Anexo 2: Solicitud de autorización para realización de estudio .....	114
Anexo 3: Ficha de validación .....	116
Anexo 4: Registro fotográfico de la secuencia de la investigación .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de las variables de estudio</i> .....	5
Tabla 2. <i>Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca)</i> .....	18
Tabla 3. <i>Composición química del biogás</i> .....	19
Tabla 4. <i>Producción de estiércol fresco diario</i> .....	37
Tabla 5. <i>Producción de estiércol kg/día en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.</i> .....	50
Tabla 6. <i>Tiempo de retención del biodigestor en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.</i> .....	51
Tabla 7. <i>Carga inter diaria total de los tratamientos en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.</i> .....	51
Tabla 8. <i>Volumen de los reactores geomembrana instalados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.</i> .....	52
Tabla 9. <i>Métodos para el análisis de la mezcla masa ruminal: agua</i> .....	53
Tabla 10. <i>Análisis estadístico de pH del estiércol durante los tiempos de retención (TR)</i> .....	62
Tabla 11. <i>Test de normalidad Shapiro-Wilk de pH del estiércol</i> .....	64
Tabla 12. <i>Análisis estadístico de la concentración de sólidos totales en el estiércol del ganado</i> .....	64
Tabla 13. <i>Análisis estadístico de la concentración de sólidos volátiles en el estiércol del ganado</i> .....	65
Tabla 14. <i>Análisis estadístico del porcentaje de ceniza en el estiércol del ganado</i> .....	66
Tabla 15. <i>Análisis estadístico del porcentaje de materia orgánica en el estiércol del ganado</i> .....	67
Tabla 16. <i>Análisis estadístico de la producción de biogás de los tratamientos</i> .....	69
Tabla 17. <i>Análisis estadístico del comportamiento de la temperatura de los tratamientos en la producción de biogás</i> .....	70
Tabla 18. <i>Test de normalidad Shapiro-Wilk del comportamiento de la temperatura en los tratamientos</i> .....	72

Tabla 19. <i>Test t de Student del comportamiento de la temperatura en los tratamientos</i> .....	72
Tabla 20. <i>Análisis estadístico de pH de los tratamientos en la producción de biogás</i> .....	75
Tabla 21. <i>Test de normalidad Shapiro-Wilk del pH de los tratamientos</i> .....	76
Tabla 22. <i>Test t de Student del pH de los tratamientos</i> .....	76
Tabla 23. <i>Análisis estadístico del porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) de los tratamientos en la producción de biogás</i> .....	77
Tabla 24. <i>Test de normalidad Shapiro-Wilk del porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) en los tratamientos</i> .....	78
Tabla 25. <i>Test t de Student del porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) en los tratamientos</i> .....	79
Tabla 26. <i>Análisis estadístico del porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos durante la producción de biogás</i> .....	79
Tabla 27. <i>Test de normalidad Shapiro-Wilk del porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos</i> .....	81
Tabla 28. <i>Test t de Student del de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos</i> .....	81
Tabla 29. <i>pH del biol producido en los tratamientos</i> .....	82
Tabla 30. <i>Conductividad eléctrica (C.E.) del biol producido en los tratamientos</i> .....	83
Tabla 31. <i>Materia orgánica (%) del biol producido en los tratamientos</i> .....	83
Tabla 32. <i>Nitrógeno total (%) del biol producido en los tratamientos</i> .....	84
Tabla 33. <i>Relación C/N del biol producido en los tratamientos</i> .....	85
Tabla 34. <i>Contenido de boro (B) en el biol producido de los tratamientos</i> ...	86
Tabla 35. <i>Contenido de zinc (Zn) en el biol producido de los tratamientos</i> ..	87
Tabla 36. <i>Contenido de cromo (Cr) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	88
Tabla 37. <i>Contenido de arsénico (As) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	89
Tabla 38. <i>Contenido de selenio (Se) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	90

Tabla 39. <i>Contenido de cadmio (Cd) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	91
Tabla 40. <i>Contenido de níquel (Ni) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	92
Tabla 41. <i>Contenido de mercurio (Hg) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	93
Tabla 42. <i>Contenido de plomo (Pb) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	94
Tabla 43. <i>Contenido de molibdeno (Mo) en el biol producido por los tratamientos</i> .....	95
Tabla 44. <i>Análisis microbiológico de Coliformes totales del biol producido por los tratamientos</i> .....	96
Tabla 45. <i>Análisis microbiológico de Coliformes termotolerantes del biol producido por los tratamientos</i> .....	97
Tabla 46. <i>Análisis microbiológico de Escherichia coli del biol producido por los tratamientos</i> .....	98
Tabla 47. <i>Análisis microbiológico de Salmonella del biol producido por los tratamientos</i> .....	99
Tabla 49. <i>Matriz de consistencia del informe de tesis “Evaluación de la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio frigorífico Manu EIRL. de Puerto Maldonado en Madre de dios 2016”</i> .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Correlación entre átomos de carbono de la cadena y porcentaje de volumen de metano en el gas. ....	21
Figura 2. Mapa de ubicación del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	43
Figura 3. Plano del sistema de biodigestión. ....	47
Figura 4. Diagrama del reactor de geomembrana de 5 m <sup>3</sup> . ....	48
Figura 5. Plano de construcción de instalaciones para el sistema de biodigestión, vista transversal. ....	48
Figura 6. Esquema de instalación del sistema de biodigestión. ....	49
Figura 7. Kilogramos al día de estiércol producido por ganado vacuno y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	50
Figura 8. Carga inter diaria total de los tratamientos en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	51
Figura 9. Volumen líquido y gaseoso de los reactores geomembrana instalados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. ....	52
Figura 10. pH del estiércol del ganado durante los tiempos de retención. ...	63
Figura 11. Diagrama de caja del pH del estiércol durante los tiempos de retención. ....	63
Figura 12. Diagrama de caja de la concentración de sólidos totales. ....	65
Figura 13. Diagrama de caja de la concentración de sólidos volátiles. ....	66
Figura 14. Diagrama de caja del porcentaje de ceniza. ....	67
Figura 15. Diagrama de caja del porcentaje de materia orgánica. ....	68
Figura 16. Producción de biogás de los tratamientos. ....	69
Figura 17. Diagrama de caja de la producción de biogás de los tratamientos. ....	69
Figura 18. Comportamiento de la temperatura de los tratamientos en la producción de biogás. ....	71
Figura 19. Diagrama de caja del comportamiento de la temperatura en los tratamientos. ....	71
Figura 20. A. Color de la llama del biogás del tratamiento 1 a los 15 días y B. color de la llama a los 30 días. ....	73

Figura 21. A. Color de la llama del biogás del tratamiento 2 a los 15 días y B. color de la llama a los 30 días. ....	74
Figura 22. pH de los tratamientos en la producción de biogás. ....	75
Figura 23. Diagrama de caja del pH de los tratamientos. ....	75
Figura 24. Porcentaje de metano (CH <sub>4</sub> ) de los tratamientos en la producción de biogás. ....	77
Figura 25. Diagrama de caja del porcentaje de metano (CH <sub>4</sub> ). ....	78
Figura 26. Porcentaje de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) de los tratamientos en la producción de biogás. ....	80
Figura 27. Diagrama de caja del porcentaje de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ). .	80
Figura 28. pH del biol producido en los tratamientos. ....	82
Figura 29. Conductividad eléctrica (dS/m) del biol producido en los tratamientos. ....	83
Figura 30. Materia orgánica (%) del biol producido en los tratamientos. ....	84
Figura 31. Nitrógeno total (%) del biol producido en los tratamientos. ....	85
Figura 32. Relación C/N del biol producido en los tratamientos. ....	86
Figura 33. Contenido de boro (B) en el biol producido de los tratamientos..	87
Figura 34. Contenido de zinc (Zn) en el biol producido de los tratamientos.	88
Figura 35. Contenido de cromo (Cr) en el biol producido por los tratamientos. ....	89
Figura 36. Contenido de arsénico (As) en el biol producido por los tratamientos. ....	90
Figura 37. Contenido de selenio (Se) en el biol producido por los tratamientos. ....	91
Figura 38. Contenido de cadmio (Cd) en el biol producido por los tratamientos. ....	92
Figura 39. Contenido de níquel (Ni) en el biol producido por los tratamientos. ....	93
Figura 40. Contenido de mercurio (Hg) en el biol producido por los tratamientos. ....	94
Figura 41. Contenido de plomo (Pb) en el biol producido por los tratamientos. ....	95

Figura 42. Contenido de molibdeno (Mo) en el biol producido por los tratamientos. ....	96
Figura 43. Análisis microbiológico de Coliformes totales del biol producido por los tratamientos. ....	97
Figura 44. Análisis microbiológico de Coliformes termotolerantes del biol producido por los tratamientos. ....	98
Figura 45. Análisis microbiológico de Escherichia coli del biol producido por los tratamientos. ....	99
Figura 46. Análisis microbiológico de Salmonella del biol producido por los tratamientos. ....	100
Figura 47. Resolución de aprobación del proyecto de tesis, parte 1. ....	114
Figura 48. Resolución de aprobación del proyecto de tesis, parte 2. ....	115
Figura 49. Resultados de metales totales del tratamiento 1. ....	116
Figura 50. Resultados del análisis microbiológico del tratamiento 1. ....	117
Figura 51. Protocolo de resultados del tratamiento 1. ....	118
Figura 52. Resultados de metales totales del tratamiento 2. ....	119
Figura 53. Resultados del análisis microbiológico del tratamiento 2. ....	120
Figura 54. Protocolo de resultados del tratamiento 2. ....	121

## **CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Descripción del problema**

En la región de Madre de Dios la producción de ganados más representativa es el porcino y vacuno, con una existencia de 50 145 cabezas de ganado vacuno y 10 175 cabezas de porcinos (INEI 2013, p. 45); y “a nivel de la provincia de Tambopata existe 35 780 bovinos y 9 290 porcinos reportados” (Agencias y oficinas agrarias de Madre de Dios 2013)

La crianza de porcinos produce deshechos con grandes cantidades de fosforo, nitrógeno y otros compuestos que generan contaminación, esto llega a producir excesivos desperdicios para la población, también es el causante de la proliferación de patógenos, contaminación de cuerpos de agua y suelos; además, genera olores insoportables y gases tóxicos (Alencar et al. 2013, p.155)

A pesar de las grandes cantidades de materia orgánica que reflejan la contaminación, se pueden convertir en una fuente de energía que serían empleados como el elemento fundamental para producir biogás mediante biodigestores, y los beneficiarios directos serían los del área rural; además, se estimaría como una solución para mitigar los impactos al ambiente y a la misma vez en el sector económico y social (Alencar et al. 2013, p. 156).

Teniendo en cuenta estos antecedentes y la problemática que causa estos residuos orgánicos y los daños posibles que pueden causar a la población humana de Madre de Dios – Puerto Maldonado, se evaluó la producción de biogás a partir del uso adecuado de la cantidad residuos orgánicos (estiércol), generados de forma diaria, semanal y mensual de ganado bovino y porcino faenados en el Centro de Beneficio Frigorífico

Manu E.I.R.L. Esto proporcionara la producción de energía limpia y promoverá de esta manera mejorar la calidad de vida del poblador rural, porque en algunas zonas de la región de Madre de Dios es difícil el acceso gas GLP y por ello muchos de los pobladores de la región tienden a la tala de árbol para producir carbón y leña y utilizarla como medio para la cocción de sus alimentos, esto genera que muchos dependan de estos recursos dañando así al medio ambiente. En otros ámbitos de la población exclusivamente los que se dedican a la porcinocultura y ganadería se ha visto que muchos de ellos tienden a desechar el estiércol de estos animales a los baldíos y en los peores de los casos los tienen ahí dentro de la granja generando a que haya una propagación de malos olores, agentes patógenos, gérmenes u otros contaminantes que son perjudiciales para la salud de la población y además contribuyendo a la contaminación del suelo, del medio ambiente (por la producción de gases de invernadero), provocando una propagación de nuevas enfermedades, es por eso que nos planteamos la siguiente interrogante:

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema general:**

¿Cómo será la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado?

### **1.2.2 Problemas específicos:**

P-1.- ¿Qué propiedades fisicoquímicas se dan en la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino generados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado?

P-2.- ¿Cuál será la calidad de producción de biogás con la combinación de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio?

P-3.- ¿Cuál será la calidad del biol obtenido como subproducto del proceso?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado en Madre de Dios 2016.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros fisicoquímicos durante la producción del biogás.
- Evaluar la calidad de producción de biogás con la combinación de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio.
- Evaluar la calidad del biol obtenido como subproducto del proceso.

## **1.4 Variables**

### **1.4.1 Variable Independiente**

Desechos orgánicos del ganado vacuno y porcino

Son desechos de procedencia animal que se originan a partir de su explotación. Evacuación de excremento con líquido por el ganado (ECOREGA 2011). El excremento del ganado puede aprovecharse usándolo para la generación de energía renovable (biogás); de tal modo que puede producir electricidad, gas natural y otros productos (FAO 2014).

### 1.4.2 Variable Dependiente

#### Energía renovable (biogás)

Es un compuesto gaseoso, resultado de la digestión anaeróbica que debe estar enriquecido de dióxido de carbono y metano, no obstante, su composición puede variar debido al tipo de sustrato empleado para la alimentación, en su composición pueden estar presentes amoniacos, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno y otros productos gaseosos (FNR 2010, p. 249)

## 1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Definición concepto	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida	Escala	Valor Final
Desechos orgánico de ganado vacuno y porcino	Son desechos de procedencia animal que se originan a partir de su explotación. Evacuación de excremento con líquido por el ganado (ECOREGA 2011). El excremento del ganado puede ser aprovechado para la generación de energía renovable (biogás); de tal modo que puede producir electricidad, gas natural y otros productos (FAO 2014).	Frecuentemente se utiliza como fertilizante que enriquece y aligera el suelo. Los suelos arcillosos son menos compactos mientras que los suelos porosos son más capaces de retener la humedad y los nutrientes.	Componentes físicos y químicos de la masa ruminal de vacuno y porcino	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH</li> <li>Sólidos totales</li> <li>Sólidos volátiles</li> <li>Materia orgánica</li> <li>ceniza</li> </ul>	% % % %	Intervalo numérico	6,5 y 7,5 8 - 12 0,8- 2,86 Variable variable
Energía renovable (biogás)	Es un compuesto gaseoso, resultado de la digestión anaeróbica que debe estar enriquecido por metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de dióxido de carbono y metano, no obstante, su composición puede variar debido al tipo de sustrato empleado para la alimentación, en su composición pueden estar presentes amoniacos, vapor de agua, sulfuro de	El biogás es un gas combustible que mayormente está formado por metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ). el biogás se genera como una fuente de energía renovable.	Composición Físicoquímico	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH</li> <li>Temperatura</li> <li>Color de la llama</li> <li>Metano (CH<sub>4</sub>)</li> <li>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</li> </ul>	°C Rango de color % %	Intervalo numérico	6,5 y 7,5 35 – 42°C Azul 54 - 70 27 - 45

hidrógeno y otros productos gaseosos (FNR 2010, p. 249).						
<p><b>Biol</b> es un abono líquido producto de un sistema de digestión anaeróbica que se origina de materia orgánica, pudiendo ser excremento de ganado u otros animales, vegetales, etc. Su finalidad es fertilizar el suelo y permitir la disponibilidad de nutrientes fundamentales para el desarrollo de las plantas (Sistema Biobolsa 2015, p. 3)</p>	<p>Producto con estabilidad biológica y con baja composición bacteriológica y patógena. El biol tiene un buen desarrollo biológico, organismos que son beneficios para los suelos no productivos o no rentables.</p>	<p>Composición química</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Conductividad eléctrica</li> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Humedad</li> <li>• Nitrógeno total</li> <li>• Relación C/N</li> <li>• Boro</li> <li>• Zinc</li> </ul>	<p>ds.m<sup>-1</sup></p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/L</p>	<p>Intervalo numérico</p>	<p>5,5-8,5 &lt;8</p> <p>&gt;20</p> <p>30-45</p> <p>≥ 0,80</p> <p>10-40</p> <p>&lt;200</p> <p>3000</p>
		<p>Contenido de metales en biol</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cromo</li> <li>• Arsénico</li> <li>• Selenio</li> <li>• Cadmio</li> <li>• Níquel</li> <li>• Mercurio</li> <li>• Plomo</li> <li>• Molibdeno</li> </ul>	<p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p>	<p>Intervalo numérico</p>	<p>60</p> <p>10</p> <p>6</p> <p>1</p> <p>10</p> <p>1</p> <p>50</p> <p>2</p>
		<p>Composición Bacteriológica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales</li> <li>• Coliformes termotolerante</li> <li>• Escherichia Coli</li> <li>• Salmonella</li> </ul>	<p>NMP/100g</p> <p>NMP/100g</p> <p>NMP/100g</p> <p>NMP/100g</p> <p>/25g</p>	<p>Intervalo numérico</p>	<p>Ausencia</p>

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

La producción de energía renovable utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de la ciudad de Puerto Maldonado será efectiva.

### **1.6.2 Hipótesis alterna**

**H<sub>i</sub>**: La producción de biogás a partir de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. es alta.

### **1.6.3 Hipótesis nula**

**H<sub>0</sub>**: La producción de biogás a partir de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. es baja.

### **1.6.4 Hipótesis derivadas**

- Los parámetros fisicoquímicos que se dan durante la producción del biogás son óptimos.
- La combinación de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio aumenta la calidad de producción de biogás.
- El biol obtenido como subproducto del proceso es de buena calidad.

## 1.7 Justificación

El cambio climático nos advierte de nuestro mal accionar con el ambiente y de la inadecuada utilización de nuestros recursos naturales; por lo cual, debemos empezar a realizar actividades de conservación hacia los ecosistemas. La idea de mitigación de impactos del ambiente es convertir el residuo de un aprovechamiento a una tecnología limpia, y con ello mejorar el manejo de residuos y darle un tratamiento apropiado, logrando la disminución de la contaminación. El manejo del estiércol de los ganados es una actividad que está incluida en esta idea. Por ello, se debe tratar el estiércol de los ganados, proveniente de las actividades pecuarias, a través de la implementación de biodigestores para producir energía renovable y lograr la reducción de gases de efecto invernadero (Yauyo 2016, p. 1).

La realización de esta investigación buscó el nivel de manejo de residuos orgánicos como es el caso de la masa ruminal de ganado vacuno y porcino del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., y desarrolle con mayor efectividad el almacenamiento y recolección para ser tratado, y así obtener energía del mismo.

El estudio tuvo como objetivo principal realzar esta forma de obtener energía. Asimismo, mejorar el aprendizaje sobre los beneficios que trae consigo el desarrollo de nuevas fuentes de energía a través de residuos orgánicos y de esa forma optimizar el desarrollo y manejo de residuos a fin de contar con fuentes de energía que no se agoten, de bajo costo, obtenido a través de los desechos orgánicos que puede producirse en nuestro medio, y mejorar su producción de forma más segura y menos contaminante.

Este estudio nos brindó información acerca del uso de materias orgánicas biodegradables, dentro de las cuales están: las excretas de cerdos y vacas, y como se disminuye de manera significativa la contaminación de los suelos, mantos acuíferos, ríos, por estiércol,

emisiones de los gases resultado de la descomposición de este material orgánico y la proliferación de enfermedades. Con un mejor aprovechamiento de estos desechos orgánicos los centros de producción de bovinos y porcinos de la región obtendrán beneficios como: la generación de un combustible rico en metano, que presenta propiedades óptimas para su utilización, así como un bajo costo para poder producir e implementar, y una baja inversión inicial en el sector rural.

Los resultados que se obtengan del presente estudio van a permitir conocer el gran beneficio y aprovechamiento de desechos orgánicos de bovinos y porcinos, desde esa perspectiva en esta investigación se recomienda el aprovechamiento de desechos orgánico producidos por el ganado vacuno y porcino en el sector rural favorable para el uso de esta tecnología, con la posibilidad de generar beneficios económicos, social y ambiental.

## **1.8 Consideraciones éticas**

Mediante Resolución Ministerial N° 227-2014-MINAM se dispuso la publicación del “Proyecto de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático”, el cual tiene que implementar los acuerdos provenientes del Convenio de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (El Peruano 2014, p. 1). Debido a que, el Perú en el año 2014 ratificó su compromiso con el cumplimiento del Protocolo de Kioto (El Comercio 2014).

El Protocolo de Kioto es un acuerdo de carácter jurídico internacional, tiene como objetivo la disminución y restricción de la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero de los países asociados al protocolo. Para lograr el cumplimiento de los acuerdos, se han desarrollado los “Mecanismo de Flexibilidad”. Los Mecanismos de Flexibilidad, promueven el “desarrollo sostenible” de los países sub desarrollados mediante la implementación de “tecnologías limpias”.

Para ello, los países deben cumplir con rigurosos procesos y metodologías; tal como, los proyectos de bioenergía, que ayudan a reducir la emisión de gases (Fundación Energía sin Fronteras 2012, p. 32).

El uso de un biodigestor nos permite deshacernos del excremento del ganado de forma segura, disminuye la emanación de olores nauseabundos, bacterias y la expansión de infecciones. Todo se lleva a cabo por medio del proceso bioquímico “digestión anaeróbica”, que emplea digestores debidamente cerrados que almacenan el estiércol de los animales y lleva un proceso de fermentación adecuado; luego, de determinados días genera biogás (Fundación Energía sin Fronteras 2012, p. 9).

Uno de los problemas principales que hay en nuestra región es la gestión de residuos, es por eso que la investigación considero el aprovechamiento de residuos que generen desarrollo económico y ambiental. No obstante, el Marco Legal de las Energías Renovables en Perú promociona la “Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables, Decreto Legislativo 1002 (mayo 2008)” (OSINERGMIN 2014, p. 2). Para ello, se manejó los residuos como lo recomienda GreenPeace (2005), cambiando la forma como se observan, y ver como ese problema puede llegar a ser un recurso aprovechable. Cuando llegan a ser enterrados los residuos, pueden ser estimados como una oportunidad no aprovechada de producir bienes y servicios.

Esta investigación cumplió con todas las normas de seguridad durante todo el proceso operativo y de laboratorio en la obtención del biogás a partir de masa ruminal de ganado vacuno y porcino, y contó con el consentimiento y apoyo de los representantes legales del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. de Puerto Maldonado.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Cancelier et al. (2015)**, “Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta”, cuyo objetivo fue “Evaluar las condiciones operativas que pueden maximizar la producción de biogás a partir de la utilización de biodigestores”, para ello utilizaron estiércol de cerdo en la fase acabado, con una concentración de sólidos totales de 70,60% w/v, y evaluaron de acuerdo con la metodología de superficie de respuesta (RSM), la influencia de cinco factores: la temperatura, la concentración inicial del material orgánico y la influencia de la adición de nutrientes inorgánicos (sulfato ferroso heptahidratado  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ , sulfato de níquel hexahidratado  $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$  y sulfato de manganeso tetrahidratado  $\text{MnSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$ ), donde obtuvieron mejores resultados para la concentración de biomasa inicial de 395 a 595  $\text{g.L}^{-1}$  y una temperatura de 33,5 a 44°C. En el proceso de digestión anaerobia, los resultados mostraron una reducción significativa en el TRH (Tiempo de Retención Hidráulica) y el aumento de la productividad de biogás.

**Garcés et al. (2014)**, “Producción de Biogás a partir de residuos agrícolas”, cuyo objetivo fue Utilizar residuos agroindustriales para la producción de gas combustible a través de la codigestión anaeróbica de la mezcla homogeneizada, para la utilización como fuente de energía renovable, que busque no solo disminuir el impacto ambiental, sino también reducir los costos de producción mediante el abastecimiento propio de energía

eléctrica y térmica al centro de biosistemas de la universidad Jorge Tadeo Lozano y la utilización de los biofertilizantes resultantes como subproductos del proceso, para ello efectuaron la digestión anaeróbica de los residuos biodegradables, a fin de lograr una considerable producción de mezcla gaseosa combustible con contenido de metano, en volumen superior al 50% . Por ende, en un proceso de obtención de biogás, donde para producir energía a gran escala se hace usos de residuos orgánicos. Concluyeron que por el crecimiento económico impulsado por la globalización, la producción de biogás a través de residuos agroindustriales ha cobrado gran importancia hoy en día.

A nivel mundial se produce un aproximado de 3045 megatoneladas anuales de residuos agroindustriales, siendo el continente asiático el mayor productor con aproximadamente 1367 megatoneladas al año, representando el 44.9% de la producción total, seguido por el continente Europeo, Norteamericano, Latinoamericano y Africano, siendo Latinoamérica y África los continentes que menos generan estos tipos de residuos, con un 9,1% y un 5,3% respectivamente.

**Vera et al. (2014)**, "Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino", cuyo objetivo fue "Determinar el potencial de energía por medio del biogás obtenido directamente de las excretas del ganado vacuno y porcino con el que cuenta la región Ciénega correspondiente al Estado de Michoacán de Ocampo, México". Se basaron en el censo agropecuario del INEGI del año 2007, a fin de conocer la producción de reses, fijaron la cantidad de estiércol a utilizar de acuerdo a la edad y tipo de animal.

Calcularon la cantidad total de estiércol para determinar el volumen de biogás y energía eléctrica que podría obtenerse. Realizada la evaluación, los autores llegaron a la conclusión que representa un 4,23% de ahorro en energía eléctrica, que para año 2013 corresponde

aproximadamente a \$18 300 000, con un costo promedio de 2326 pesos por cada kWh en una tarifa 5ª de la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

**Yauyo (2016)**, en su investigación “Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la Asociación Agropecuaria Los Lúcumos de Pachacamac”, tuvo como objetivo “Elaborar un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de La Asociación Agropecuaria Los Lúcumos de Pachacamac”; para ello se construyó un digestor anaerobio de 0,67 m<sup>3</sup>, 0,64 m de ancho y 2,08 m de longitud, a partir de estos datos se calculó la cantidad de sólidos totales, sólidos volátiles, la producción de biogás y la producción de bioabono a generar. La primera carga fue una mezcla de estiércol y agua a una proporción de 1:4. La etapa de degradación anaeróbica duro 30 días, durante esta etapa se realizaron las mediciones de pH y temperatura. Seguidamente, terminando la etapa de degradación empezó la etapa de operación, donde se realizó las cargas diarias que fueron a la misma hora, y el estiércol recolectado fue depositado en baldes de 5 litros; luego, el excremento fue pesado en balanza romanilla obteniendo solo 4 kg, al cual se le agrego 16 litros de agua con 20-30 °C de temperatura. Se realizaron mediciones de pH, temperatura del digestor y temperatura ambiente. Finalmente se concluyó, a los 30 días se generó biogás y biol en un digestor de 0,67 m<sup>3</sup>; se genera en promedio 4 kg/día excretas de porcino en la granja; la variación de la temperatura del digestor se encontró entre 24 a 30 °C; la temperatura ambiente se encontró entre 17 a 20°C; y el pH durante los días iniciales fue muy ácido debido al material fermentado, fue regulado para ser optima la generación de biogás, y a partir del día 34 se registró un pH óptimo de 7.

**Zambrano (2016)**, “Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica”, cuyo objetivo fue “Determinar el rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica, obtenido artesanalmente”; para ello se utilizó biodigestores anaeróbicos de carga fija con pH regulado con hidróxido de calcio y temperaturas controladas de 26 °C. El proceso de biodigestión tuvo dos fases: fase aeróbica y anaeróbica. Se realizaron proporciones de mezclas de 1:3, 1:5 y 1:7 del estiércol de ganado vacuno y suero de quesería, a fin de determinar la estabilidad de las muestras se analizaron sus propiedades microbiológicas, fisicoquímicas y de toxicidad a los 10 y 60 días de digestión. Finalmente, se concluyó que la mejor proporción de mezcla es la 1:7 con un 27,67 % de metano. Al término de los 60 días ya no se obtuvo biogás; asimismo, se determinó que el amonio influye en el pH y en la proliferación de microbios en la biodigestión.

**Tejedo (2014)**, en su investigación “Rendimiento de biogás como combustible en un grupo electrógeno de 1 KW. Fundo San Isidro, Colcamar”, como objetivo se propuso “Determinar el rendimiento del biogás como combustible en un grupo electrógeno de 1 kW, con motor de combustión interna de 2,4 hp”, para ello llegó a producir biogás por medio del estiércol de ganado vacuno en biodigestores tubulares anaeróbicos de 12 m<sup>3</sup>, cargado con 9 m<sup>3</sup> de mezcla estiércol: agua (1:5) y 3 m<sup>3</sup> para la acumulación de biogás; asimismo, utilizó un balón de 2 m<sup>3</sup>. Alimentó de manera diaria el biodigestor con 200 litros de mezcla estiércol: agua (1:5), a fin de mantener la producción de biogás. Construyó un dispositivo en forma de “T” a fin adaptar el motor a biogás. Utilizó accesorios de PVC de 1 Yz” para facilitar el ingreso al carburador de la mezcla biogás aire. Finalmente, como resultado obtuvo que el grupo electrógeno a biogás llegó a producir 244 W para encender un foco de filamento de 100 W y ocho focos ahorradores de

18 W. Asimismo, logró adaptar el motor de 9 hp de una picadora de pasto con el objeto de que pueda funcionar a biogás, y este logró operar sin presentar problema alguno.

### 2.1.3. Antecedentes Regionales

**Fernandez et al. (2014)**, en su estudio “Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios”, tuvo como objetivo “Generar energía renovable utilizando los residuos orgánicos de la actividad pecuaria del departamento de Madre de Dios, por medio de la instalación de tecnologías para generar biogás y biol, y de esta forma mejorar la calidad de vida del poblador rural”; para ello en el establo pecuario Juanita se instaló un reactor tubular de geo membrana de PVC de 10 m<sup>3</sup> para reservar 5 m<sup>3</sup> de gas metano a partir del excremento del ganado porcino y bovino. Por lo cual, en la primera carga del biodigestor se realizó una solución con una proporción 1:3 de estiércol en agua siendo cargada por única vez la cantidad de 0,5 m<sup>3</sup> y por consiguiente una carga inter-diaria del reactor de ½ m<sup>3</sup>, llevada a cabo a partir del tercer día. A partir del cuarto día se registró las características cualitativas del gas generado, encendiendo los quemadores. Con los datos de la teoría se determinó que el tiempo de retención es de 30 días, en base a ello se realizó la carga inter-diaria de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol, adquiriendo en el mismo periodo de tiempo la misma cantidad de biol. Luego, a los 120 días se evaluaron las siguientes variables: Gas metano, Biol, Temperatura y Tiempo de Retención. También, en el Laboratorio Ambiental Regional de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD) se realizaron los análisis de nutrientes nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y sodio (N, P, K, Ca, Mg, Na), pH y conductividad eléctrica. Finalmente, concluyeron que, en condiciones medio ambientales del departamento de Madre de Dios, se puede generar 5 m<sup>3</sup> de gas metano (CH<sub>4</sub>) cada 48 horas mediante la

fermentación anaeróbica, con un tiempo de retención de 30 días calendario, con cargas inter-diarias de 0,5 m<sup>3</sup> de solución de estiércol con agua (1:3). El tiempo de retención fue de 30 días, produciendo la misma cantidad de biol. A los 12 días el metano comienza a estabilizarse alcanzando un promedio de 58% de metano (CH<sub>4</sub>) y 37,6 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), presentando un buen rendimiento y encontrándose dentro del rango indicado en la bibliografía.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.3.1 Estiércol**

Es un compuesto de residuos fecales y alimentos que no han sido digeridos, proveniente del sistema digestivo de los animales, contiene residuos de productos alimenticios que incluyen elementos que participan en la digestión como enzimas, bacterias, jugos gástricos y desechos del metabolismo.(Duran 2004).

El estiércol es la deposición fecal de los animales ganaderos, está compuesto por orina y alimentos digeridos, se utiliza para abonar los suelos agrícolas (Limpiar el Mundo 2011).

#### **Ventajas y desventajas del estiércol**

##### **a) Desventajas del estiércol**

La primera desventaja del estiércol es la deposición final de este, ya que diariamente la ganadería produce una gran cantidad de estiércol; generando olores nauseabundos, propagación de enfermedades e infecciones a personas y animales, el excremento del ganado a menudo contiene un alto contenido de antibióticos u otros productos. Esta acumulación de estiércol en las granjas hasta causa inconvenientes para procesarlo como fertilizante para el suelo, provocando que no exista un equilibrio en el compost preparado, o generando compost no óptimo, al combinar el estiércol con

macronutrientes y micronutrientes, en el caso que se desea aprovechar como abono; por lo tanto, los ganaderos deben ser capacitados y deben ser provisto de equipos y materiales para elaborar un buen compost (Duran 2004).

b) Ventajas del estiércol

En la actividad de la ganadería y agricultura, el buen manejo del excremento de los animales es mediante la producción del compost, esta producción ayuda a disminuir los problemas de estas actividades. La infertilidad de los suelos y las grandes cantidades de excremento, un manejo adecuado de este residuo como la producción de compostaje, ayudaría a nutrir los suelos. Esto produciría beneficios al sector agropecuario porque el compost produce humus (abono orgánico) en comparación de aplicar el estiércol directamente al suelo; además, el ambiente también se beneficiaría porque se disminuiría el uso de los fertilizantes químicos (Duran 2004).

### **Composición del estiércol**

Según Toala (2013, p.5), el estiércol o excremento del ganado es un fertilizante que no tiene una composición determinante. La composición dependerá de factores como, cuánto tiempo el animal del cual procede, del tipo de ganado, del tipo de alimentación que diariamente que consumen, del trabajo que a menudo son sometidos, etc. Así mismo, un ganado joven ingiere más proporción de fósforo y nitrógeno que un ganado de mayor edad. El ganado cuando ha dejado de crecer, solo ingiere los alimentos necesarios y generan excremento con mayor elemento fertilizante.

Los diferentes tipos de ganado generan distinta composición química de estiércol. Debido a que la orina de los animales tienen gran cantidad de nitrógeno y aún más potasa; y sin embargo, tienen una pequeña cantidad de ácido fosfórico, que se hallan en deposiciones sólidas (Toala 2013, p. 5). En la Tabla 2 se muestra la composición media de estiércoles frescos de diferentes animales, es la siguiente:

**Tabla 2.** *Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (% materia seca)*

<b>Nutriente</b>	<b>Vacunos</b>	<b>Porcinos</b>	<b>Caprinos</b>	<b>Conejos</b>	<b>Gallinas</b>
Materia orgánica (%)	48,9	45,30	52,80	63,90	54,10
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	3,20	2,36	3,63
Magnesio (MgO %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Fuente: Toala, 2013.

La composición de las raciones alimentarias influye en la composición del estiércol. Cuando más ricos sean estos en un determinado elemento, la presencia de ese elemento en los excrementos será mayor. (Toala 2013, p. 6).

### **Usos**

El estiércol suele ser usado para la elaboración del compost, lo cual permite la obtención de un producto libre de patógenos, ayuda a contrarrestar los malos olores y a producir sustancias húmicas parecidos a las del suelo, que ayuda a fertilizar los cultivos. Actualmente el estiércol es utilizado para la producción de fertilizantes líquidos y biogas (López 2003).

### 2.3.2 Biogás

Es una composición de gases, sus componentes principales son el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y el CH<sub>4</sub> (metano). Se obtiene como producto de fermentar el material orgánico en ausencia de oxígeno a través de la acción de un conjunto de microorganismos que interactúan con otros factores. (López 2003).

Resulta de la mezcla de bióxido de carbono, de metano, gas sulfuroso, de nitrógeno y vapor de agua. Su compuesto de gases combustibles hace que sea un recurso energético muy útil. (Toala 2013, p. 8).

Es una mezcla gaseosa principalmente formada por dióxido de carbono y metano, que además contiene muchas impurezas. (FAO 2011, p. 16).

#### Composición del biogás

La composición del biogás puede sufrir variaciones según el tipo de materia orgánica que se utilice en la carga del biodigestor y el tiempo a utilizarse en la biodigestión. (Toala 2013, p. 8).

La proporción de los componentes del biogás se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3.** *Composición química del biogás*

<b>Composición del biogás</b>	
<b>Componente</b>	<b>Porcentaje %</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	54 – 70 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	27 – 45 %
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0,5 – 3 %
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1 – 10 %
Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	0,1 %

Fuente: Manual de construcción y operación: planta de biogás (ICAITI – ROCAP 1983).

## **Efectos del Dióxido de carbono en el biogás**

La presencia del dióxido de carbono en el gas es medido en la razón de dióxido de carbono/metano [%vol] y puede controlarse de manera parcial debido a que es fundamental para la formación de metano en el gas, motivo por el cual no se busca desaparecerlo.

Dentro de los factores que influyen en la composición de dióxido de carbono esta: la presencia de compuestos con largas cadenas de hidrocarburos, como por ejemplo, compuestos que poseen altos contenidos en grasas, que ayuda a que la calidad del gas sea mejor cuidando de no afectar la acidez; la cantidad de átomos de Carbono presentes en el substrato está directamente relacionado con el % en volumen de metanos presentes en el biogás, (ver figura 1), por lo general, la descomposición anaeróbica de la biomasa suele llegar a mejorar según el tiempo de exposición, a medida que se acerca el tiempo de residencia, la cantidad metano suele aumentar de manera desproporcionada según que el contenido de dióxido de carbono va desactivando el proceso de hidrólisis. El proceso de fermentación se lleva a cabo de forma más rápida si el material en el reactor está repartido de manera homogénea. Así, un contenido alto de líquido trae consigo una concentración alta de dióxido de carbono diluido en el agua, haciendo disminuir el porcentaje de dióxido de carbono existente en la fase gaseosa. (Perez 2010, p. 14-15).

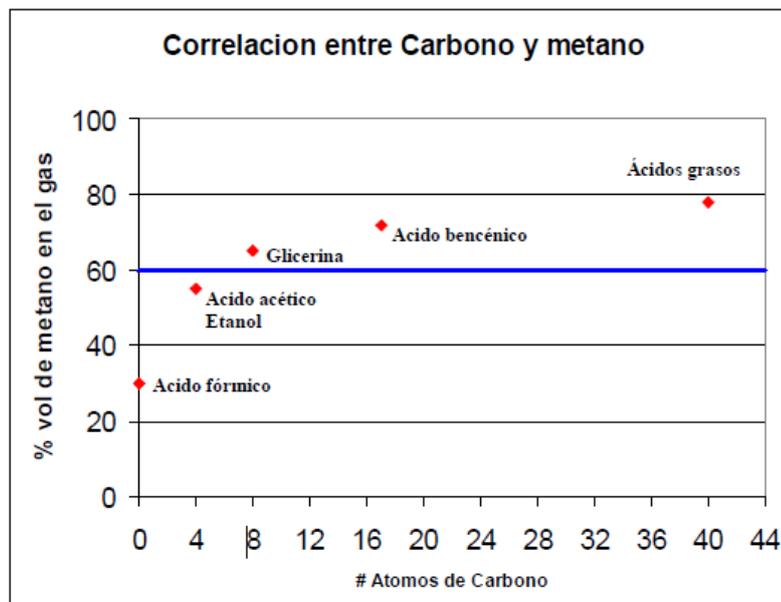


Figura 1. Correlación entre átomos de carbono de la cadena y porcentaje de volumen de metano en el gas.

### **N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> presentes en el biogás**

“El N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> presente en el biogás normalmente se encuentran en proporción de 4:1 y comúnmente son incorporadas en la etapa de ventilación que tiene como objeto la eliminación del ácido sulfhídrico”. (Perez 2010, p. 15).

### **Amoniaco presente en el biogás**

La baja presencia de amoniaco (<0,1 mg/m<sup>3</sup>) se da cuando los substratos son provenientes de aves o desechos de basura, donde no representa riesgo para s quemadores y todo el sistema utilizado. (Perez 2010, p.15).

### **Ácido sulfhídrico presente en el biogás**

Los volúmenes de ácido sulfhídrico H<sub>2</sub>S varían de acuerdo al tipo de substratos empleados así como al tipo de proceso utilizados para la obtención del biogás. El H<sub>2</sub>S es viscoso cuando excede el 0,2% de vol. y cuando es inferior se trata de un substrato líquido.

Debe ser un objetivo mantener los niveles de  $H_2S$  en lo más bajo posible ya que esto genera daños irreversibles por su potencial alto de corrosión.

Por medio del proceso de pre-desulfurización se puede conservar niveles inferiores a  $70 \text{ mg/m}^3$  cuando utilizamos co-substratos o niveles inferiores a  $310 \text{ mg/m}^3$  cuando utilizamos excretas líquidas para fermentar, pero el ácido sulfhídrico suele siempre estar presente en altos niveles.

El ácido sulfúrico resultado de la unión del sulfuro de hidrogeno y la humedad, resulta nocivo los calentadores de agua, refrigeradores o motores. Por ello, cuando el biogás presente un volumen de 2% de este compuesto es necesario la disminución del sulfuro de hidrogeno y cuando presente un contenido inferior a 1% no será necesario.

La cal viva es un producto que ayuda a reducir los porcentajes de ácido sulfúrico así como limadura de hierro, la hematites o limonita que tiene alto contenido de sustancias ferrosas.

Otros de los sistemas es el uso de Biofiltros de lecho fijo, siendo muy utilizado por su bajo costo de operación. Además, no generan desechos de lodo y agua contaminada.

Según que el gas pasa el lecho poroso, los contaminantes solubles, son transportados a los microorganismos, esto ocurre porque existe un gradiente de concentración que se genera entre la biopelícula y la fase gas. Estando en la biopelícula, la biomasa activa degrada los contaminantes, utilizándolos como fuente de energía y/o nutriente para el desarrollo de su metabolismo. El ácido que se genera degrada de manera rápida al medio orgánico, por ello este se debe reemplazar poco después de su operación.

Frecuentemente se suele usar las bacterias incoloras del azufre para oxidar el ácido sulfhídrico y el azufre elemental a sulfatos, utilizando oxígeno como aceptor de electrones. Se consideran bacterias aeróbicas quimioautótrofas, aquellos cuyo proceso de oxidación conlleva a la formación de iones hidrógeno, generando una acidificación del medio. Las especies del genero *Thiobacillus*, son microorganismos reconocidos como “bacterias incoloras del azufre” y pueden oxidar sulfuros de hidrogeno empleando el oxígeno como aceptor de electrones.(Pérez 2010, p. 16-17).

### **Proceso de biodigestión**

El manejo adecuado de los residuos sólidos se da cuando las personas hacen un tratamiento adecuado que implica el reciclaje, reducción y reutilización, transformándolos en productos con un valor agregado. Los procesos de biodigestion son procedimientos que se dan con el fin de generar un manejo adecuado a los desechos orgánicos, que se efectúa con presencia o ausencia de oxígeno.(FAO 2011, p. 13).

### **Proceso aerobio**

Es un proceso desarrollado por una diversidad de microorganismos, fundamentalmente por protozoos y bacterias, con oxígeno presente transforman la materia orgánica que se encuentra disuelta en productos de materia celular e inocuos.

Al inicio, el proceso aerobio no contaba con una gran acogida, porque no se conocían sus fundamentos, así mismo sus costos de tratamientos eran altos por la energía que se usaba para el abastecimiento de aire. En cambio, el proceso anaeróbico utilizaba el metano producido como energía. Principalmente la ventaja del proceso anaeróbico son los procedimientos sencillos para la disposición de lodos.

Es un procedimiento donde el lodo es puesto en un contenedor descubierto y separado por un periodo de tiempo largo. En este

proceso la materia orgánica es oxidada directamente y la materia celular es autooxidada.

En el principio de las fases del proceso aerobio, los grupos de microorganismos cuando se encuentran con un sustrato ilimitado, se propagan en relación de una tasa de crecimiento poblacional logarítmica que sola estaría restringida por su particularidad de reproducción. La tasa de gasto de oxígeno se incrementa rápido por la absorción y asimilación de materia orgánica para la síntesis de nueva masa protoplasmática” (FAO 2011, p. 13).

Mientras progresa la disponibilidad del proceso de oxidación del desecho orgánico desciende la tasa de crecimiento bacterial. Por otro lado, se reduce la tasa de consumo de oxígeno cuando son limitados la disponibilidad de fuentes de carbono orgánico (FAO 2011, p. 14).

### **Proceso anaerobio**

Es un complejo proceso biológico que se da en los productos orgánicos (desechos animales o vegetales) que posteriormente son convertidos en gases, por medio de la mezcla del metano y dióxido de carbono con presencia de otros elementos, gracias a la interacción de bacterias. Por medio de la digestión anaeróbica se pueden transformar desechos orgánicos en subproductos útiles, donde la energía disponible en un 90% se transforma en gas metano (FAO 2011, p. 14).

“En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos realizan la función de enzimas respiratorios y en conjunto con las bacterias no metanogénicas, forman una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas”. (FAO 2011, p. 14).

### **Proceso de biodigestión anaeróbica**

El proceso de biodigestión anaeróbica consiste en la oxidación o degradación biológica del material orgánico, interviniendo en ello

microorganismos específicos en ausencia de aire. Durante el proceso, el material degradado se convierte en dos productos (en biol y biogás). Durante el proceso de biodigestión anaeróbica intervienen diferentes grupos microbianos, haciéndolo un proceso complejo (Toala 2013) .

### **Factores que influyen en la fermentación anaeróbica**

#### a) Temperatura

La temperatura influye en los procesos anaeróbicos. La celeridad de reacción de los procesos biológicos suele depender de la celeridad de crecimiento de los microorganismos que participan en el proceso, los cuales son dependientes de la temperatura. Cuando se produce un aumento en la temperatura, suele aumentar la celeridad de crecimiento de los microorganismos, acelerándose también el proceso de digestión que da como resultado una mayor producción de biogás. (FAO 2011, p. 38).

“Los microorganismos anaeróbicos pueden trabajar en tres rangos de temperatura: por debajo de 25°C (psicrófilos), entre 25 y 45°C (mesófilos) y entre 45 y 65°C” (termófilos. (FAO 2011, p. 38).

#### b) pH y alcalinidad

Los cambios producidos en los niveles de pH suele afectar contrariamente en el proceso anaeróbico, siendo los microorganismos metanogénicos los más sensibles a las cambios que se producen en los pH. Los grupos bacterianos que se encuentran presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan óptimos niveles de neutralidad. Lo ideal para los acidogénicos es entre 5,5 y 6,5 y para los metanogénicos entre 7.8 y 8.2. para cultivos mixtos el pH ideal esta entre un rango de 6.8 y 7.4, resultando ideal el pH neutro.(FAO 2011, p. 42).

Para que el desarrollo del proceso se lleve a cabo de manera satisfactoria el pH no debe ser inferior a 6.0 ni superior a 8.0. (FAO 2011, p. 43).

Cuando los niveles de pH son bajos generan el incremento del ácido acético y H<sub>2</sub> debido a la reducción de la actividad microbiana de los metanogénicos y cuando aumenta la presión del H<sub>2</sub> genera la acumulación de ácidos grasos y la disminución de ácido acético como del pH, ya que las bacterias serán severamente inhibidas y si esto no se corrige generara fallas en el proceso (FAO 2011, p. 43).

c) Relación carbono nitrógeno (C/N)

Según la FAO (2011), en el proceso de obtención de biogás la cantidad y calidad estarán determinadas por los componentes del material de alimentación. Los niveles de nutrientes tienen que encontrarse encima de las concentraciones adecuadas para las metanobacterias, porque ellas tienden a no desarrollarse por la carencia de nutrientes. Siendo la relación óptima en una proporción de 30:1 a 20:1. Donde las proporciones superiores de 35:1 generaran un proceso más lento debido a la baja multiplicación de bacterias ante la falta de nitrógeno y en las proporciones de 8:1 se inhibe la producción bacteriana por la excesiva presencia de amonio que genera una toxicidad en el proceso. Siendo un nivel óptimo la proporción de 30:1 en los compuestos que se utilicen para el desarrollo de la digestión anaeróbica, donde se de utilizar la siguiente fórmula (1)

$$K = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 + \dots + C_n \cdot Q_n}{N_1 \cdot Q_1 + N_2 \cdot Q_2 + \dots + N_n \cdot Q_n} \dots\dots\dots(1) \text{ (Fuente: FAO 2011).}$$

K = Mezcla de materias primas(C/N).

C = % de C presente en la materia prima.

N = % de N orgánico presente en la materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia(kilos o toneladas).

Según la FAO (2011), desde el punto de vista práctico es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V) a partir de la fórmula (2):

$$D = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(2) \text{ (Fuente: FAO 2011).}$$

Expresar la masa en kilos o toneladas y el volumen en litros o metros cúbicos.

d) Dilución o concentración de sólidos

Toda la materia orgánica se compone de agua y otra parte de sólido, también llamado sólidos totales (ST). La proporción de ST incluidos en la mezcla con que se carga el digestor es un componente sustancial a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. El aumento del contenido sólido es un factor limitante para el movimiento de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato y por ende afectaría la eficiencia y producción de gas. (FAO 2011, p. 36).

Experimentos muestran que a carga del digestor semicontinuos no debe exceder del 8% al 12% de los ST para cerciorar el funcionamiento normal del proceso, a diferencia del digestor discontinuo que poseen sólidos totales entre 40% y 60%. Para determinar la cantidad de agua que se debe mezclar con la materia prima, es preciso tener en cuenta el porcentaje de materia prima fresca. (FAO 2011, p. 37).

e) Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Término con el que se hace referencia al volumen de sustrato orgánico que se carga en el biodigestor por día.

A mayor incremento de la carga volumétrica el tiempo de retención disminuirá. El tiempo de retención y la velocidad de carga orgánica fijada de acuerdo al tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

El material orgánico o sólidos volátiles (SV) hacen referencia a la parte de la materia seca (MS) o sólidos totales (ST), que se volatiliza durante la quema a temperaturas superiores a los 550°C. Los residuos de animales pueden llegar a tener un contenido de materia seca mayor al 10 % de la mezcla agua-estiércol. Para un reactor anaerobio, el contenido de materia seca no debe sobrepasar el 10% de la mezcla agua-estiércol, por ello antes de ser tratados los residuos de las granjas deben ser diluidos.

La eficiente producción de biogás se establece habitualmente conociendo el volumen de biogás generado por unidad de peso de materia seca o materia orgánica. El proceso de fermentación del biogás requiere un concentración del 1% al 30% de materia orgánica. La temperatura es un factor importante para una óptima concentración.

Las bacterias necesitan un determinado tiempo para descomponer el material orgánico. La descomposición en gran medida depende de la temperatura. A mayor temperatura el tiempo de fermentación para la obtención de biogás será menor.(FAO 2011, p. 41).

### **Propiedades energéticas del biogás**

“Las propiedades del biogás se deben a la presencia del gas metano como combustible principal y del hidrogeno en proporción al contenido de los mismos”. (Toala 2013, p. 11)

La combustión es muy limpia y como producto final da bióxido de carbono y agua que no son considerados contaminantes; es por ello que se considera al biogás como combustible ecológico, su poder calorífico comprende entre los 4.500 y 6.000 kcal/m<sup>3</sup>. (Toala 2013, p. 5-28).

El poder calórico del biogás es mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Con un 60% de contenido de metano el biogás posee

aproximadamente un poder calorífico de 5500 kilocalorías/Nm<sup>3</sup>. (IDEA 2007)

### **Usos del biogás**

El biogás puede tener diferentes usos, por ejemplo: en motores para la generación de electricidad, en calderas para generar electricidad o calor y/o en pilas de combustible, después de realizar una limpieza del ácido sulfhídrico y otros contaminantes presentes en la membrana, es recomendable purificarlos y añadir seguidamente los aditivos que sean necesarios para poder introducirlo en una red de transporte de gas natural. Según IDAE (como se citó en Red española de compostaje 2016, p. 229)

### **Producción de biogás a nivel mundial**

La producción de gas tiene sus inicios desde el año 1770, desde que el científico de nacionalidad italiana, Alessandro Volta, obtuvo muestras de gas de pantano y estudio respecto a sus propiedades combustibles.

Posterior a ello, la tecnología de los biodigestores se comenzó a usar en algunos países del mundo, como: Alemania que en 1906 logró poner en marcha una primera planta de producción anaeróbica y para el año 1997 ya contaba con más de 400 plantas industriales.

Dinamarca posee aproximadamente 20 plantas de producción de biogás.

Países como Suecia y Suiza son también grandes promotores de la producción de biogás. Se cree que en China un número superior a 20 millones de personas hacen uso del biogás como fuente de energía renovable.(Toala 2013, p.13).

### **2.3.3 Biodigestor**

Es un tanque cerrado de forma hermética, donde la materia orgánica (conformada básicamente por el estiércol de aves, cerdos, ganado vacuno) y otros desechos de tipo orgánico, llegan a fermentarse y transformarse en bioabono y biogás.(Rotoplast 2012).

Son recipientes en los que se lleva a cabo procesos químicos que involucran organismos o sustancias activas de forma bioquímica procedentes de dichos organismos, dicho proceso puede ser anaerobio o aerobio. Basurto & Huiza (2017).

#### **Partes fundamentales del biodigestor**

##### **Entrada de mezcla desperdicios/agua**

Depósito de forma cilíndrico o cuadrado que contiene la materia orgánica y donde se lleva a cabo la mezcla con agua, a fin de obtener como resultado un sustrato óptimo para realizar la fermentación. (Toala 2013, p. 14).

##### **Cámara de fermentación**

Lugar donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica sin presencia de oxígeno y en tiempos largos de fermentación, dando como producto final biol y biogás.(Toala 2013, p. 15).

##### **Depósito de salida**

Deposito donde se recepciona el fertilizante que se produce de manera momentánea. Como producto de la transformación de la materia orgánica, se forman productos que contienen altos grados de concentración de nutrientes y pueden ser utilizados inmediatamente, puesto que durante el tratamiento anaerobio se llega a eliminar los malos olores y la proliferación de vectores. (Toala 2013, p. 15).

El proceso de biodigestión reduce el potencial contaminante de los excrementos de origen humano y animal, logrando disminuir hasta en un 90% la DBO y la DQO. El biodigestor puede ser utilizado por las familias del campo, debido a que en ella se puede hacer uso de materiales de bajo costos y no es complejo de construir, asimismo, se utiliza el estiércol como materia prima, reduciendo la contaminación del ambiente y se ayuda a solucionar problemas relacionados con la energía de las familias que viven en el campo. (Toala 2013, p. 16).

#### **2.3.4 Funcionamiento del biodigestor**

La obtención de una buena calidad de fertilizantes y biogás, va depender básicamente de la combinación estiércol-agua, pH y condiciones de temperatura. El logro de un buen rendimiento del biodigestor dependerá de la biomasa que se escoja y del tiempo de retención necesario para poder acabar cada etapa del proceso de digestión anaerobia.

Podemos hacer uso excremento de ganado bobino, porcino, caprino, de humano y animal. Asimismo, podemos usar restos vegetales que el biodigestor puede degradarlos de manera muy fácil.

Es importante no incluir en la mezcla del sustrato grasas, huesos, piedras, tierra, ramas, aserrín, troncos, madera verde, viruta. Ya que debido a su resistencia los microorganismos no pueden degradarlos en su totalidad. (Funcionamiento del biodigestor 2005).

El biodigestor se debe monitorear de manera constante, cuidando que no presente fugas porque puede correr el riesgo de explotar. (Toala 2013, p. 16).

#### **2.3.5 Tipos de biodigestores**

Según Toala, E. (2013) los biodigestores se pueden clasificar de la siguiente manera:

### **Biodigestores discontinuos o régimen estacionario**

Este tipo de biodigestor después de realizado el vaciado del sustrato, no permite sacar o meter más material hasta que el proceso de biodigestion termine, es decir hasta que se termine de producir el biogás.

Este tipo de biodigestor permite realizar una carga mayor de materiales poco diluidos, usándose en ella menor cantidad de agua a diferencia de los sistemas continuos. (Toala Moreira 2013, p. 20).

### **Biodigestores Semi-continuos**

En este tipo de biodigestor de manera diaria se carga una pequeña porción de sustrato, manteniéndose constantemente un volumen de sustrato en el interior.

La disponibilidad para el contenido de agua es una limitante importante, ya que el sustrato a ingresar para el proceso de biodigestion debe estar compuesto de una relación 1:4, una parte de materia orgánica y 4 partes de agua. (Toala Moreira 2013, p. 20).

### **Biodigestores de mezcla completa**

A este tipo de biodigestores se le conoce también como biodigestores continuos. Está compuesto de una entrada continua del sustrato y una salida continua del producto. En este tipo de biodigestores el proceso no se llega a completar en un 100%, no garantizando así la total eliminación de los agentes causantes patógenos, por ello es necesario la recirculación del efluente. (Toala Moreira 2013, p. 20).

### **Modelo Chino**

Este tipo de biodigestor tiene dos cámaras (una de carga y otra de descarga), puede construirse a base de cemento, ladrillo o concreto. Poseen una larga durabilidad por su resistencia al ambiente. La desventaja que tiene es que su construcción demanda alto costos. (Toala 2013, p. 20).

### **Modelo Hindú**

Este tipo de biodigestor también es conocido como biodigestor de campana o domo flotante, suele caracterizarse por flotar por encima del sustrato por el contenido de biogás en su parte interior. Posee la habilidad de subir y bajar según al volumen de biogás que pueda producirse en su interior. (Toala 2013, p. 21).

Este tipo de biodigestor es eficiente en la producción de biogás, llegando a generar por día entre 0,5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor. (FAO 2011, p. 100).

### **Modelo Horizontal**

Este tipo de biodigestor se caracteriza por la cámara de digestión alargada que tiene, por donde recorre la materia orgánica llevándose a cabo el proceso de degradación anaerobia. (Toala 2013, p. 22).

Asimismo, este tipo de biodigestores generalmente se construyen enterrados, son alargados y poco profundos, con 5:1 - 8:1 de relación largo-ancho y sección transversal cuadrada, circular o en forma de "V". (FAO 2011, p. 100).

## **2.3.6 Partes principales del biodigestor de polietileno**

a. Tubo de admisión

A través de este tubo el sustrato es ingresado a la cámara de digestión, su diámetro debe ser de unos 20 cm o 30 cm. Para evitar la fuga del gas, se debe sumergir a 15 cm en el sustrato. (Toala 2013, p. 50).

b. Fermentador y bolsa de almacenamiento

Es el componente principal del biodigestor, la bolsa de almacenamiento se encuentra situado en la parte superior del biodigestor. La dimensión del fermentador va depender del volumen de desechos que se quiere fermentar por 0.3m<sup>3</sup>. Si el volumen de desechos a fermentar es significativamente grande, por medio de tuberías podemos conectar cámaras múltiples, esto va ayudar a aumentar su eficiencia. (Toala 2013, p. 51).

c. Tubo del afluyente

Es recomendable que este sumergido a 15 cm, para evitar la fuga del gas que se va generando, debe poseer un diámetro de 4-6 pulgadas. (Toala 2013, p. 51)

d. Tubo de metano

Por medio de este tubo se conduce el biogás que se genera en la parte superior de la bolsa, su salida se encuentra sumergida en agua a fin de quitar la humedad condensada. (Toala 2013, p. 51)

e. Dispositivo de seguridad

Válvula de presión artesanal que ayuda evitar los excesos de presión en el biodigestor, impidiendo la generación de quiebras en el sistema (Toala 2013, p. 51).

### Instalación

En el suelo se cava una zanja para que el biodigestor pueda ingresar de forma adecuada, esto va ayudar a que el biodigestor pueda conservar una temperatura ideal. Después, se procede a instalar el

tubo de admisión de la materia orgánica y en las esquinas se instala el tubo de salida afluyente. Asimismo, colocamos el tubo de conducción de biogás y la válvula de escape de presión en la parte superior, se agregada el sustrato y se lleva a cabo el proceso de degradación. (Toala 2013, p. 24).

### Mantenimiento

Debido a que es material plástico, a fin de evitar rupturas es recomendable tener cuidado durante su manejo. Su ventaja es que pueden ser reparadas de manera fácil, haciendo uso de adhesivos fuertes e incluso para su reparación podemos usar el mismo material. Haciendo un uso correcto, el biodigestor puede durar cerca de 5 años.(Toala 2013, p. 25).

## **2.3.7 Ventajas y desventajas de los biodigestores**

### Ventajas

Según Gómez et al. (2010) los biodigestores tienen las siguientes ventajas:

- Controla la acumulación de estiércol en zonas donde se lleva a cabo la actividad ganadera.
- Satisface la necesidad de alumbrado, producción de energía eléctrica, gas para la cocina, etc.
- Genera fertilizantes de origen natural con altos contenidos de nutrientes.
- Controla y minimiza la contaminación del ambiente.
- Ayuda a disminuir los olores derivados del estiércol en los ranchos.
- Ayuda a controlar la proliferación de vectores generado por los excremento de los animales y que suele causar enfermedades en el ganado.

## Desventajas

Según Gómez et al. (2010) los biodigestores tienen las siguientes desventajas:

- Se debe evitar cambios bruscos de temperatura, haciendo que la temperatura sea constante y próxima a los 35 °C.
- Puede llegar producir ácido sulfhídrico, lo cual es corrosivo para el biodigestor.
- Puede llegar a explotar o presentar fugas de gas si no se lleva un constante monitoreo de la presión interior.
- Su tiempo de duración dependerá de acuerdo al tipo de biodigestor a construir.

### 2.3.8 Diseño

Para el diseño de los biodigestores se debe considerar el lugar, el grado de aplicación y la finalidad de la tecnología aplicada. Conociendo el lugar (región y/o localidad) donde se va ubicar la planta y en función a la necesidad de producción, se podrá seleccionar el más adecuado sistema de digestión. (Toala 2013, p. 26).

#### Estiércol disponible

Según Herrero (2008), la materia prima que mayormente se utiliza para producir biogás es el estiércol fresco. Asimismo, puede usarse otros tipos de residuos orgánicos, pero es importante evitar el uso de residuos duros, que tiene una larga duración de descomposición. El estiércol del porcino y las excretas humanas tienen una capacidad mayor para generar biogás. La producción de estiércol está relacionada al peso del individuo (Tabla 4) y se estima mediante una ecuación (3):

**Tabla 4. Producción de estiércol fresco diario**

<b>Ganado</b>	<b>kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal</b>
Cerdo	4,00
Bobino	7,00
Caprino	4,00
Conejos	3,00
Equino	7,00
Vacuno	18,65
Humano adulto	0,40 kg por adulto
Humano niño	0,20 kg por niño

Fuente: Herrero (2008).

$$ED = P \times E / 100 \dots\dots\dots(3) \text{ (Fuente: Herrero 2008).}$$

Donde:

ED= Estiércol disponible en kilogramos/día.

P= Peso en kilogramos del animal.

E= Estiércol generado por cada 100 kilogramos de peso del animal.

Para conocer de manera más específica el volumen de estiércol disponible, al día se pueden realizar monitoreos a una cabeza de ganado, determinar la media y multiplicar por la totalidad de cabezas de ganado existentes en un rancho. (Toala 2013, p. 28).

Temperatura y tiempo de retención (TR).

Hace referencia al tiempo que necesitan los microorganismos para realizar la degradación del material orgánico y como resultado de ello generar los productos. El TR básicamente depende de la temperatura del lugar en donde se va ejecutar la construcción del biodigestor. A menor temperatura se va requerir un mayor TR para poder generar los productos de la digestión (Toala 2013, p. 28).

### Carga diaria (CD).

Según Pontón (2010), los desechos orgánicos deben disolverse en agua para introducirlos en el biodigestor y con ello facilitar el trabajo de las bacterias anaeróbicas para producir Biogás y fertilizantes. Para prevenir natas en el digestor que impidan o dificulten la salida del gas, se recomienda una dilución de 1:3 - 1:4. La ecuación (4) permite estimar la carga diaria de la mezcla en litros por día:

$$CD = CE + \text{agua} \dots\dots\dots(4) \text{ (Fuente: Pontón 2010).}$$

Donde:

CD = Carga diaria L/día

CE = Cantidad de estiércol a utilizar

### Volumen del biodigestor

Según Diego (2010), los biodigestores se componen de dos zonas, una parte gaseosa por donde se almacena el biogás generado por el proceso de biodigestión y una parte líquida correspondiente al sustrato o a la biomasa. Estas dos zonas forman el volumen total del biodigestor, siendo un 25% de parte gaseosa y el 75% de parte líquida. El volumen del digestor se estima mediante la ecuación (5):

$$VD = VL + VG \dots\dots\dots(5) \text{ (Fuente: Diego 2010).}$$

Donde:

VD = Volumen del digestor

VL = Volumen del líquido

VG = Volumen del gas

Según Diego (2010), para poder hacer un cálculo del volumen que corresponderá a la parte líquida, se debe multiplicar el tiempo que se necesita para degradar la materia orgánica por la carga diaria de

estiércol, este tiempo de retención suele depender principalmente de la temperatura y suele variar según el lugar en que se llega a instalar el biodigestor”. El volumen líquido del digestor se estima mediante la ecuación (6):

$$VL = CD \times TR \dots\dots\dots(6) \text{ (Fuente: Diego 2010).}$$

Donde:

VL = Volumen del líquido

CD = Carga diaria

TR = Tiempo de retención

El volumen gaseoso se llega a calcular en base al volumen líquido, siendo una tercera parte este último, y se estima mediante la ecuación (7):

$$VG = \frac{VL}{3} \dots\dots\dots(7) \text{ (Fuente: Diego 2010).}$$

Donde:

VG = Volumen del gas

VL = Volumen del líquido

### **2.3.9 Biol**

El biol es producto de la descomposición del excremento, agua y otros componentes, los cuales fueron sometidos a un proceso anaeróbico en un contenedor para alcanzar este producto. Al salir del proceso anaeróbico, este producto ya no presenta malos olores y se utiliza en el suelo para fertilizarlo (Sistema Biobolsa 2015, p. 3).

## **2.4 Definición de términos**

### **a) Azufre, en la producción de biol**

Es la sustancia que durante la descomposición del material orgánico emite un olor fétido, a medida que el contenido de azufre va disminuyendo durante el proceso, el olor del biol va mejorando, es decir deja de ser desagradable. (Díaz 2017, p. 51).

#### **b) Coliformes totales, en la producción de biol**

“Son microorganismo patógenos presentes en un abono orgánico (excremento) que implica riesgo a la salud de las personas y la calidad del ambiente. Su presencia en el biol inhibe de manera parcial su producción y por lo tanto se debe eliminar totalmente” (Medina et al. 2015, p.122).

#### **c) Color de la llama, en la producción de biogás**

Cuando en la mezcla interviene un mayor porcentaje de estiércol la llama presenta un color rojizo, cuando interviene una mayor cantidad de desechos vegetales la llama presenta un color azulado y un ruido característico y tiene rendimiento energético mayor.(Guasumba 2009, p. 6).

Cundo la llama del gas presenta un color azulada y de buena consistencia se puede dar inicio al uso normal del biogás.(FAO 2011, p. 111).

“La llama del biogás es azul, estable, sin despegarse de la corona del quemador” (Pantoja y Parra 2017, p. 389).

#### **d) Conductividad eléctrica, en la producción de biol**

“Es un parámetro directo proporcional que se evidencia durante la digestión anaerobia. Es un indicador indirecto de los sólidos disueltos totales, ya que estos tienen la capacidad para producir corriente eléctrica, debido a la alta cantidad de iones presentes” (Sistema Biobolsa 2015).

“Es la medida para conducir la corriente eléctrica, cuanto es mal alto el valor más fácil se mueve la corriente. Esto significa que a mayor conductividad eléctrica, mayor es la concentración de sales en la solución del biofertilizante” (Barbaro et al. 2014, p. 7).

#### **e) Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, en la producción de biogás**

El dióxido de carbono es un componente ácido del biogás y es la fuente de energía, ya que aumenta el poder calorífico y llega a generar gas de calidad parecido al gas natural. Su presencia permite que se generen reacciones junto a otras sales inorgánicas y; además, sustenta la actividad microbiana para la producción de biogás (FAO 2011).

#### **f) Escherechia coli, en la producción de biol**

“Es una fuente de microorganismos de gran interés para el proceso de fermentación de los vióles. Presenta el inconveniente de ser una fuente de bacterias patógenas; por ello a fin de prevenir riesgos contra la salud de los seres humanos, es importante tomar las medidas adecuadas durante su uso. (Araya 2010).

#### **g) Humedad**

“Cantidad de agua que hay en la materia prima que se utiliza. El porcentaje de humedad presente en la materia prima se determina a partir de la diferencia entre el peso inicial y el peso final”. (Antonio y Aguilera 2017).

#### **h) Materia orgánica, en la producción de biol**

La materia orgánica desempeña un papel importante durante el proceso de producción del biol, suele descomponerse cuando no hay presencia de oxígeno. Ayuda a conservar la humedad del suelo y crear un adecuado microclima para las plantas. (Cedeño y Alcívar 2013, p. 3).

#### **i) Metano CH<sub>4</sub>, en la producción de biogás**

“Es la concentración de metano superior a 95%” (FAO 2011, p. 57).

La cantidad del biogás que se llegue a producir va depender del contenido de metano, el cual varía dependiendo del material de fermentación (González 2013, p. 2).

#### **j) Nitrógeno, en la producción de biol**

El contenido de nitrógeno en la producción de biol fluctúa básicamente entre 905 y 3 186 mg/L. (Díaz 2017, p. 42-43).

#### **k) Potasio, en la producción de biol**

Es un elemento esencial que se encuentra en los fertilizantes. El potasio facilita la reproducción celular y la resistencia de los tejidos, haciéndolo resistente a las heladas y sequias. Por ello, los fertilizantes que se producen a través de un biodigestor suministrado con estiércol, deben contener un 1 % de potasio, esta proporción garantiza la calidad” (Cabos 2014).

#### **l) Salmonella, en la producción de biol**

Son bacterias patógenas que pueden causar enfermedades en los seres humanos y en los animales, por ello en el proceso de producción de abonos orgánicos se debe mantener su inocuidad, es decir se debe contrarrestar su presencia. (Araya 2010, p. 124).

#### **m) Sólidos Totales**

Es la materia orgánica sin contenido de humedad, resultado del proceso de secado. El sólido total es equivalente al peso en seco, incluye componentes de residuos no digeribles (sólidos fijos) y digeribles (sólidos volátiles). (Antonio y Aguilera 2017).

### CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., se encuentra en la dirección Av. María Faqui De Herrera N° 17 A (Carretera Tambopata), distrito y provincia de Tambopata de la Región de Madre de Dios (Figura 2)

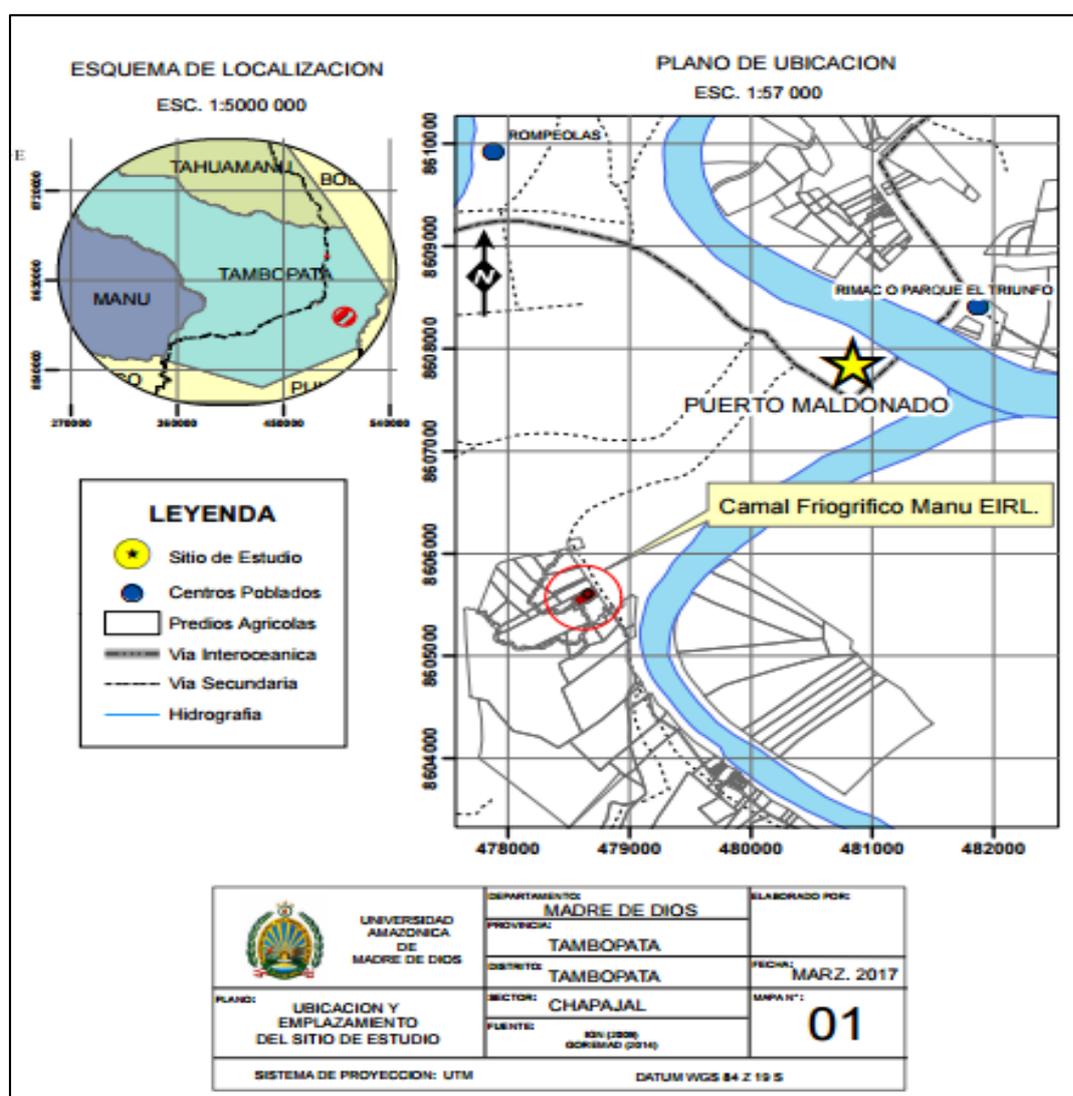


Figura 2. Mapa de ubicación del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El camal está ubicado en las coordenadas geográficas latitud sur: 12° 35' 36", longitud oeste: 69°10' 36", a una altura de 186 m.s.n.m.

### **3.1 Tipo de estudio**

#### **3.1.1 Tipo y nivel de investigación**

Es APLICADA, según Hernandez et al. (2017), porque resolveremos problemas de gestión de residuos contaminantes como es el excremento del ganado bovino y porcino producto del faenado del Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., convirtiéndolos en energía limpia renovable y así determinar la verdad o falsedad de la hipótesis planteada en el proyecto.

#### **3.1.2 Nivel de Investigación**

Es EXPLICATIVO, la composición química de la masa ruminal del ganado vacuno y porcino tiene efecto en la calidad del biogás y biol producido.

#### **3.1.3 Método de investigación**

Se utilizó el método CUANTITATIVO, porque las variables son medibles y objetivas.

#### **3.1.4 Unidad de análisis**

- a) Masa ruminal
- b) Biogas
- c) Biol

### **3.2 Diseño del estudio**

El diseño experimental de la investigación fue cuantitativo experimental, donde se realizaron 2 experimentos uno solo con adición de agua y el otro con adición de agua, urea y carbonato de sodio a la mezcla de masa ruminal de ganado bovino y porcino para evaluar la influencia del incremento de metano CH<sub>4</sub> por estas sales, se mantuvieron constantes los parámetros de temperatura y

concentración. Ambos experimentos tuvieron una evaluación de 30 días, y se pudo concluir cuál de estos produjo mayor cantidad de metano y mejores características del subproducto biol.

La investigación se realizó mediante un diseño de dos grupos relacionados, a partir del software R con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y un error de estimación  $EE = 5\%$ . El ensayo tuvo 2 tratamientos (T1: tratamiento con agua, T2 tratamiento con agua, urea y carbonato de sodio) y 4 repeticiones en la determinación de la propiedades del estiércol. Para este estudio se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0: \mu T_1 = \mu T_2$  (Todas las medias de estos tratamientos son iguales).

$H_i: \neq H_0$  (Alguna de las medias de los tratamientos es distinta de la otra).

Para la aceptación de la hipótesis se utilizó la prueba T de student. Asimismo, se efectuó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, para ver la distribución de los datos.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población de estudio para biogás**

Masas ruminal de los porcinos y vacunos de la región de Madre de Dios.

#### **3.3.2 Tamaño de muestra para biogás**

Se tomó diez muestras al azar de masa ruminal de ganado vacuno, en el camal Frigorífico Manu EIRL. Se aplicaron 2 tratamientos de cada tipo mezcla (T1 = masa ruminal: agua, T2 = masa ruminal: agua: urea y carbonato de sodio).

Número de tratamientos = 2

Número de pruebas = 5

$$2 \times 5 = 10$$

### **3.3.4 Población de estudio para biol**

Masas ruminales de los porcinos y vacunos de la región de Madre de Dios.

### **3.3.5 Tamaño de muestra para biol**

Se tomaron cuarenta muestras al azar de masa ruminal de ganado vacuno en el camal Frigorífico Manu EIRL. Se realizaron 2 tratamientos de cada tipo mezcla (masa ruminal: agua, masa ruminal: sales:agua) con 20 repeticiones cada uno.

Número de tratamientos = 2

Número de pruebas = 20

$$2 \times 20 = 120$$

## **3.4 Métodos y técnicas**

### **3.4.1 Montaje del biodigestor**

El diseño del sistema de biodigestión (Figura 3) se construyó con algunas especificaciones brindadas en la guía elaborada por CARE Perú (2016), la cual detalla el material e infraestructura necesaria para la construcción de un biodigestor tubular geomembrana. El diseño biodigestión construido en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. consta de dos lechos para los reactores de geomembrana de 1,30 metros de ancho y 5 metros de largo, con una distancia de 0,90 metros entre los dos lechos de geomembrana.

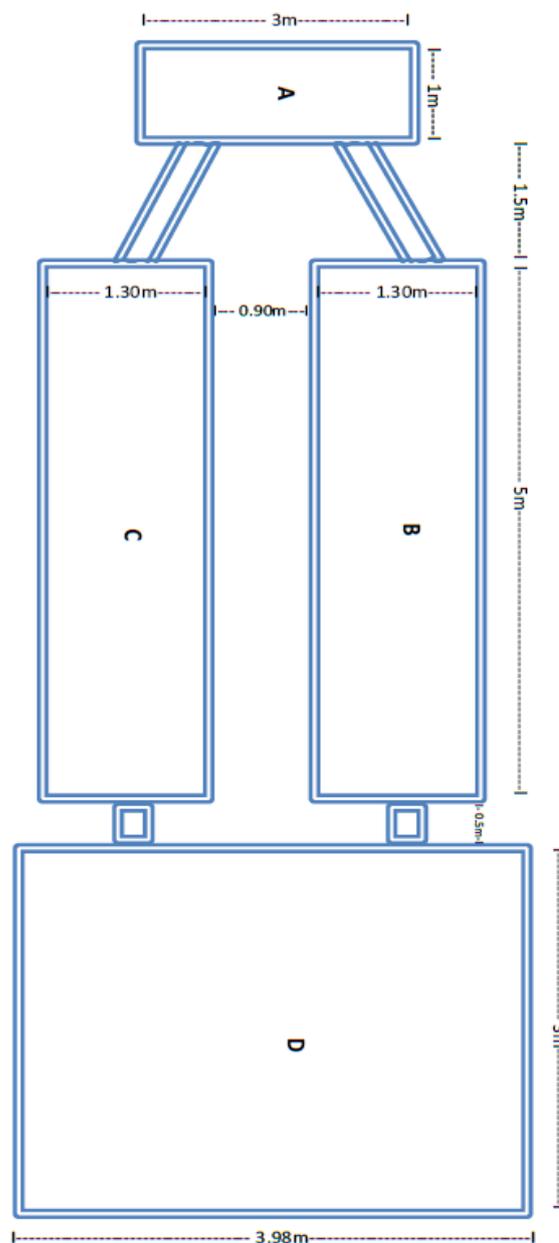


Figura 3. Plano del sistema de biodigestión.

Fuente: Fernández (2016).

Los reactores de geomembrana implementados para la investigación fueron dos, cada uno de reactores tiene un volumen de  $5 \text{ m}^3$ . Tienen un ingreso del material biológico, una salida de gas metano, una salida de abono líquido y una salida de abono sólido, a continuación, la Figura 4 presenta el diagrama de los reactores:

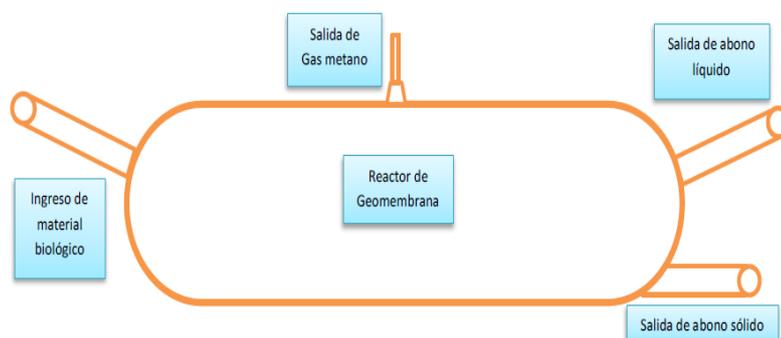


Figura 4. Diagrama del reactor de geomembrana de 5 m<sup>3</sup>.

Fuente: Fernández (2016).

El estercolero construido fue de 3 m<sup>3</sup>; siendo 3 m de ancho, 1 m de largo y 1 m de alto. Mientras que, el lecho para el reactor de geomembrana construido fue de 5 m de largo, un 1,30 m de ancho en la parte superior, 1,15 m de ancho en la parte inferior, 1,30 m de alto y 20 cm de distancia entre la superficie del suelo y la parte superior del lecho; todas estas especificaciones se muestran en la Figura 5:

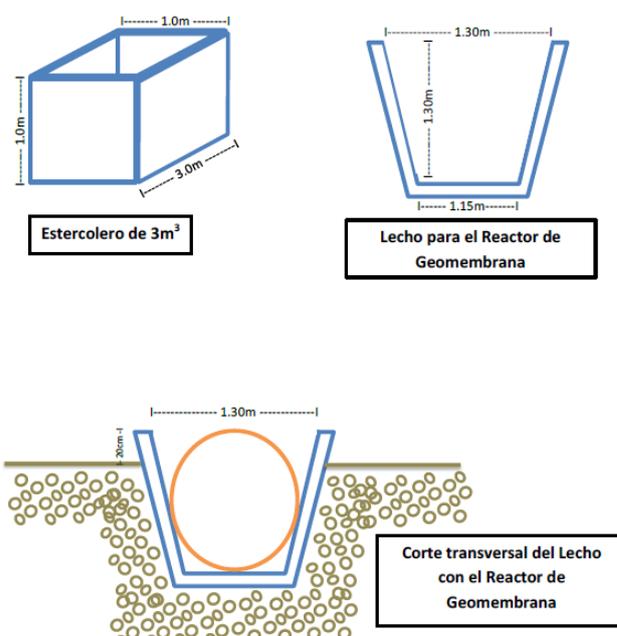


Figura 5. Plano de construcción de instalaciones para el sistema de biodigestión, vista transversal.

Fuente: Fernández (2016).

La instalación del sistema de biodigestión en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. empezó con la construcción del estercolero, posteriormente con la construcción de los dos lechos y; por último, con la implementación de los reactores de geomembrana de 5 m<sup>3</sup> cada uno. En la Figura 6 se muestra un esquema de la instalación.

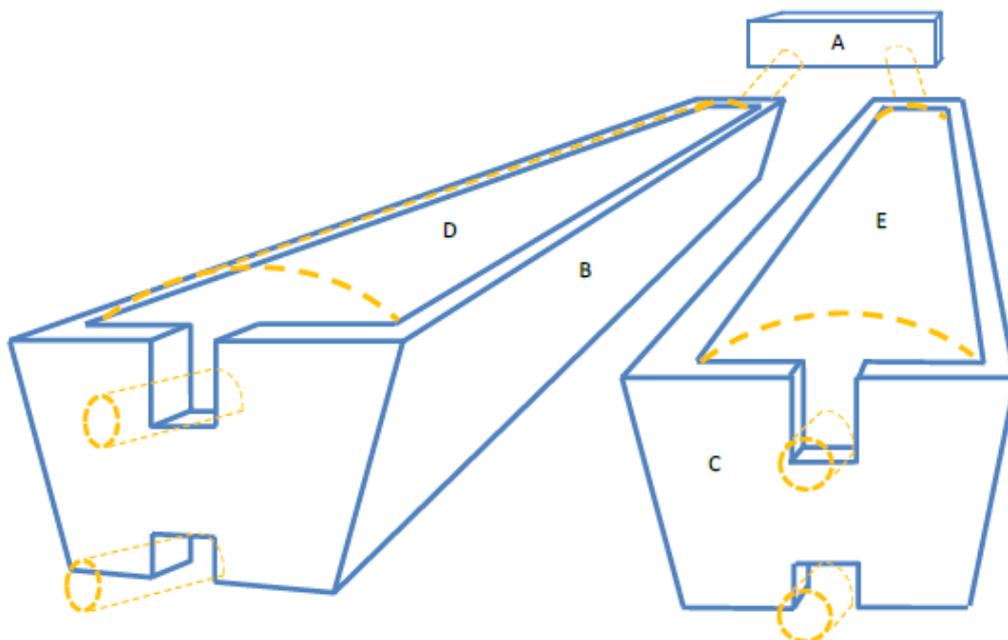


Figura 6. Esquema de instalación del sistema de biodigestión.

Fuente: Fernández (2016).

### 3.4.2 Generación de estiércol al día en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Para determinar la cantidad de estiércol en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., primeramente se determinó la cantidad de ganado vacuno y porcino, se estimó 35 cabezas de ganado y 39 cabezas de porcinos. La cantidad de estiércol por ganado se presenta en la Tabla 5:

**Tabla 5.** Producción de estiércol kg/día en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Ganado	Cabezas	kg de estiércol producido por cada animal	Cantidad (kg/ día)
Vacuno	35	18,65	652,75
Porcino	39	4,00	156,00
<b>Total</b>			<b>808,75</b>

Fuente: Elaboración propia.

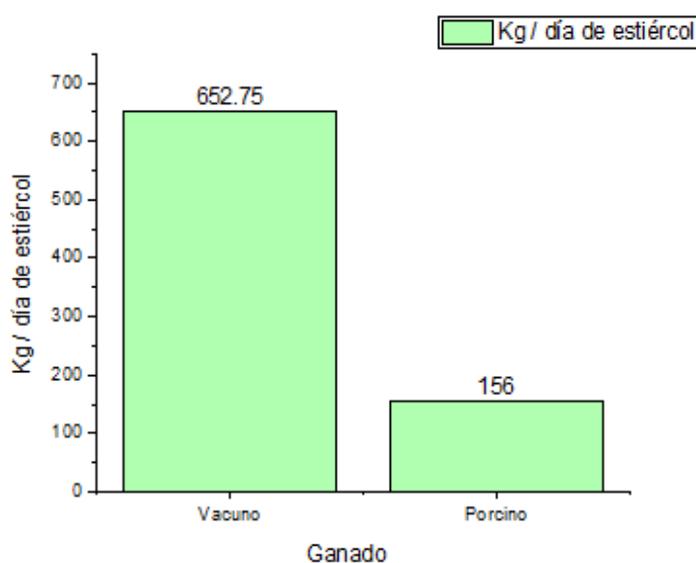


Figura 7. Kilogramos al día de estiércol producido por ganado vacuno y porcino en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. la cantidad total de estiércol producido al día es 808,75 kg.

### 3.4.2 Tiempo de retención

El tiempo de retención fue 30 días, (ver Tabla 6) para cada tratamiento, para ver individualmente la efectividad y las propiedades del biogás producido por cada tratamiento.

**Tabla 6.** *Tiempo de retención del biodigestor en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.*

Tratamiento	Tiempo de retención (días)
Tratamiento 1	30
Tratamiento 2	30

Fuente: Elaboración propia, 2018.

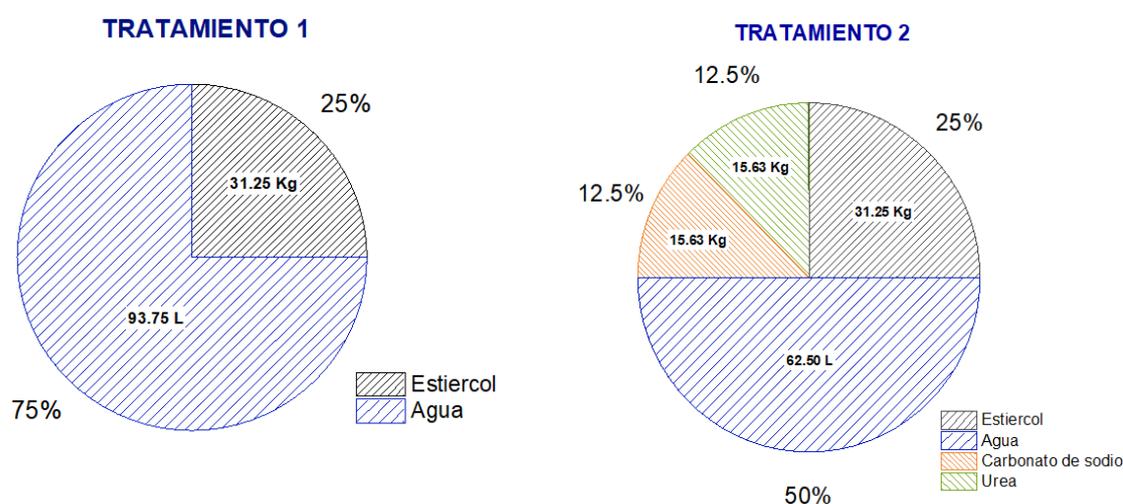
### 3.4.3 Carga diaria

La carga diaria de los tratamientos se determinó mediante la relación de estiércol y sustancia agregada, la cual es 1:3; esta proporción fue recomendada Pontón (2010), para tener un flujo continuo y no haya atoramientos en el sistema del biodigestor. La carga se realizó diariamente por 30 días de retención de cada tratamiento. Los resultados se presentan en la Tabla 7:

**Tabla 7.** *Carga inter diaria total de los tratamientos en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.*

Tratamiento	Relación	Estiércol (Kg) para carga inter diaria	Sustancia agregada (Kg)	Total Sustancia Agregada (Kg)	Volumen total del tratamiento (Kg)
Tratamiento 1	1: 3	31,25	3 Agua	93,75	125,00
Tratamiento 2	1:3	31,25	2 Agua + ½ Carbonato de sodio + ½ Urea	93,75	125,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.



**Figura 8.** *Carga inter diaria total de los tratamientos en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.*

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.4.4 Volumen de los reactores geomembranas

Los reactores de geomembrana instalados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L. tuvieron un volumen líquido de 3,75 m<sup>3</sup> y un volumen gaseoso de 1,25 m<sup>3</sup>, teniendo un volumen total de 5 m<sup>3</sup> cada reactor para los 60 días de evaluación. Los resultados se presentan en la Tabla 8 y Figura 9:

**Tabla 8.** *Volumen de los reactores geomembrana instalados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.*

Reactor de geomembrana	Volumen líquido (m <sup>3</sup> )	Volumen gaseoso (m <sup>3</sup> )	Volumen del reactor (m <sup>3</sup> )
Reactor de geomembrana 1	3,75	1,25	5,00
Reactor de geomembrana 2	3,75	1,25	5,00
<b>Volumen Total de los reactores geomembranas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>7,50</b>	<b>2,50</b>	<b>10,00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2018.

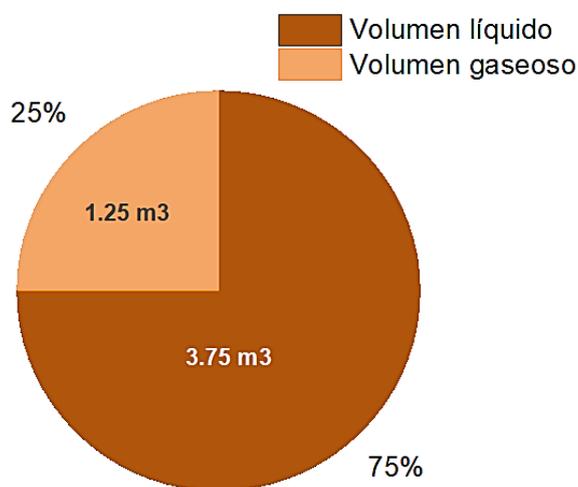


Figura 9. Volumen líquido y gaseoso de los reactores geomembrana instalados en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.4.2 Métodos para el análisis de los tratamientos

El análisis de los parámetros fisicoquímicos: pH, sólidos totales y volátiles se realizó en el laboratorio ambiental de la UNAMAD, con la supervisión de la responsable. Los métodos utilizados en el análisis de las muestras de la mezcla masa ruminal: agua, se detalla en la Tabla 9.

**Tabla 9.** *Métodos para el análisis de la mezcla masa ruminal: agua*

<b>Parámetros Fisicoquímicos evaluados</b>	<b>Método de análisis</b>	<b>Equipos</b>
pH	Potenciometría	pHmetro Martini Mi 160
Temperatura	Termometría	Termómetro Infrarrojo
Sólidos Totales	Gravimetría	Estufa (105°C)
Sólidos Volátiles	Gravimetría	Mufla (550°C)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los análisis de sólidos totales, pH, sólidos volátiles y temperatura se llevaron a cabo al inicio y al final del tiempo de evaluación que se estableció (30 días). Los métodos de análisis se detallan a continuación:

#### A. pH:

La medición del pH se realizó en base a la metodología de la Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011 (2011).

#### Materiales y equipos:

- pH-metro
- Buffer de calibración (pH=4, pH=7, pH=10)

#### Procedimiento:

La medición se realizó de forma directa después de 10 minutos de estabilizarse el equipo, previa calibración del electrodo con los buffer a diferentes pH

El tiempo de digestión anaeróbica fue de 30 días, tiempo que permitió determinar la eficiencia de remoción con los datos de los parámetros

fisicoquímicos: sólidos totales y volátiles, así como la producción de biogás, dióxido de carbono y como subproducto biol.

#### B. Sólidos Totales (ST):

La metodología utilizada está en función a la normas NMX-AA-034-SCFI-2001 (2001) y ; APHA, AWWA y WEF (2012).

##### Materiales y equipos:

- Balanza analítica
- Estufa
- Crisol de porcelana
- Pipeta graduada de 10 mL

##### Procedimiento:

Se evaporó 20 mL de la muestra homogenizada en un crisol a peso constante a una temperatura de 105 °C. Se retiró la muestra de la estufa, poniéndole en un desecador hasta temperatura ambiente, antes de registrar el peso. El incremento en peso sobre el crisol es el contenido de sólidos totales.

##### Cálculos:

Para estimar la cantidad de sólidos totales se realizó mediante la siguiente ecuación (8):

$$ST \text{ (mg/L)} = \frac{1000 (A-B)}{\text{mL de muestra}} \dots\dots(8) \text{ (Fuente: NMX-AA-034-SCFI-2001).}$$

Donde:

A = Peso del crisol + residuo seco (mg).

B = Peso del crisol (mg).

### C. Sólidos volátiles:

La metodología utilizada está en función a la normas APHA, AWWA y WEF (2012).

#### Materiales y equipos:

- Balanza analítica
- Mufla
- Capsula de porcelana
- Pipeta graduada de 10 mL

#### Procedimiento:

En una mufla se calcinó la muestra (secada previamente a una temperatura de 103-105 °C) a una temperatura de 550 °C por el laxo del tiempo requerido; para una muestra de 200 mg de residuo este varió de 15-20 minutos y para muestras de pastas, lodos, etc. vario hasta 2-4 horas.

Previo al retirado de la muestra de la mufla, la temperatura se disminuyó hasta 105 °C; después, la muestra fue colocada en un desecador y permaneció ahí hasta que baje a una temperatura ambiente. Finalmente, se procedió a registrar la variación del peso del crisol, hasta que fuera constante (variación del 4% ó 0,5mg, la que sea menor). El residuo es el contenido de sólidos fijos, y el peso perdido en la ignición es el contenido de sólidos volátiles.

#### Cálculos:

Para estimar la cantidad de sólidos volátiles en la muestra se realizó mediante la siguiente ecuación (9):

$$SV \text{ (mg/L)} = \frac{1000 (A-B)}{\text{mL de muestra}} \dots\dots\dots(9) \text{ (Fuente: APHA, AWWA y WEF 2012).}$$

Donde:

A= Peso del crisol + residuo seco (mg).

B = Peso del crisol (mg)+el residuo calcinado (mg).

#### D. Cenizas

La metodología utilizada está en función a la norma NMX-FF-109-SCFI (2008).

##### Materiales:

- Vasos de precipitado 50 ml
- Crisoles de porcelana
- Balanza digital
- Estufa
- Mufla

##### Procedimiento:

Se pesó entre 1 y 2 g de muestra y fue colocado en un crisol de porcelana que fue secado y tarado previamente. Se calentó la muestra en la mufla elevando poco a poco la temperatura hasta alcanzar 550 °C por 2 horas. Se enfrió los crisoles en desecador y se pesó.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(PCC - PC)}{\text{Muestra(g)}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(10) \text{ (Fuente: NMX-FF-109-SCFI 2008).}$$

En donde:

PCC = peso del crisol con cenizas

PC = peso del crisol

100 es para referirlo a porcentaje

#### E. Materia orgánica

Una vez determinado el porcentaje de cenizas se elaboró los cálculos necesarios para establecer el porcentaje de materia orgánica.

##### Cálculos

$$\% \text{MO} = 100 \% \text{ Cenizas} \quad \dots\dots\dots(11) \text{ (Fuente: NMX-FF-109-SCFI 2008).}$$

En donde:

% MO es la materia orgánica expresada en porcentaje

% Cenizas es la calculada anteriormente

## F. Biogás

### Materiales:

- Probetas de 100 ml
- Cuaderno de apuntes

### Procedimiento:

La medición de biogás se realizó por medio del desplazamiento de agua. El volumen de agua fue puesto en probetas de 100 ml. Se tomó apunte del volumen inicial desplazado (el volumen inicial fue menor al volumen total de biogás producido, por lo tanto de manera continua se agregó agua ácida dependiendo de la cantidad agotada).

Po último, los volúmenes medidos fueron convertidos a Condiciones Normales (CN) a 0 °C de temperatura y 760 mmHg de Presión. El volumen de biogás seco se midió restando el contenido de vapor de agua en biogás producido a partir del volumen bruto del biogás mediante el uso de la ecuación (12) de gases ideales, de acuerdo a la guía VDI 4630, 2006 (Procedimiento Estándar de Alemania) (Nusrat y Dido 2014, p. 455).

$$V_o = \frac{V * (760 - P_w) * T_o}{P_o * T} \dots\dots\dots(12) \text{ (Fuente: Nusrat y Dido 2014).}$$

Dónde:

Vo : Volumen de gas medido a temperatura y presión estándar.

Po : presión a condiciones normales (760 mmHg).

V : Volumen de gas medido a temperatura T (°K).

T : Temperatura ambiente (°K).

To : Temperatura a condiciones normales (273°K).

Pw : Presión del vapor del agua como una función de la temperatura (mmHg).

#### G. Temperatura:

##### Materiales y equipos:

- Termómetro infrarrojo

##### Procedimiento:

La medición de la temperatura durante todo el proceso se realizó insitu, de forma directa.

#### H. Color de la llama

##### Método:

Determinación de la calidad y el tiempo de consumo del biogás en un mechero tipo Bunsen

##### Materiales:

- Mechero de bunsen

##### Procedimiento:

1. Se conectó una manguera con dirección al gasómetro del biogás a la entrada de un mechero tipo bunsen.
2. Se abrió la llave del mechero y del gasómetro para permitir la salida del gas hacia el mechero, inmediatamente con ayuda de un encendedor se prendió el fuego al biogás que salía por la boca del mechero.
3. Cuando el color de la llama fue rojo se consideró de mala calidad; naranja a naranja azul de regular calidad; azul transparente de buena calidad.

## I. Metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

### Equipos:

- Sensor de metano
- Sensor de dióxido de carbono
- Balanza Analítica

### Materiales:

- Globos de polietileno

### Procedimiento:

Se llenó dos globos de polietileno previamente tarados, con el gas que salió del biodigestor de membrana, uno sirvió para utilizar con el sensor de metano y el otro para monitorear con el sensor de dióxido de carbono, el porcentaje de cada uno de estos en referencia al peso de cada muestra.

## J. Determinación de las propiedades químicas del biol

La determinación de las propiedades químicas del biol se realizó en la empresa CERPER - CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A., se utilizaron los siguientes métodos:

### a) pH

Se utilizó la técnica electrométrica para evaluar pH en base a la norma de SMEWW et al. (2012).

### b) Conductividad eléctrica

Se determinó con la técnica electrométrica de las especificaciones de fertilidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis de la norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002).

### c) Humedad

Se utilizó el método de análisis recomendado para suelos chilenos, con contenido de agua 2:1, pérdida de masa a 105°C determinada por Sadzawka et al. (2004).

d) Materia orgánica

Especificaciones de fertilidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis de la norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002, sección 7.1.7).

e) Nitrógeno

Se realizó por el método macro kjeldahl de SMEWW et al. (2017, Part. 4500-N org-B).

f) Fósforo, azufre, potasio, sodio, calcio, boro, hierro, cobre, zinc y manganeso

Se determinaron de los elementos seleccionados mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente establecida por la norma ISO 11885 (2007).

g) Metales totales

Se determinaron por espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente descrita por Sanchez et al. (1986).

h) Coliformes totales

Se determinó por la técnica de fermentación de tubos múltiples para miembros del grupo de coliformes, técnica estándar de fermentación de coliformes totales de SMEWW et al. (2017, Part 9221 A, B, C.).

i) Coliformes termotolerantes

Técnica de fermentación de tubos múltiples para miembros del grupo coliforme procedimiento fecal prueba de coliformes termotolerantes de los SMEWW et al. (2012, Part 9221 E1).

j) Escherechia coli

Técnica de fermentación de tubos múltiples para miembros del grupo coliforme. Procedimiento de escherechia coli usando el sustrato fluorogénico, prueba de escherechia coli (Medio EC-MUG) de los SMEWW et al. (2012, Part 9221 E1).

k) Salmonellas

Se determinó mediante la metodología establecida por la International Commission on Microbiological Specifications [ICMSF ] (1983).

### **3.5 Tratamiento de los datos**

En el análisis estadístico se evaluó la Prueba de Shapiro-Wilk a las propiedades del biogás producido. Se evaluó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las dos mezclas (estiércol+agua y estiércol+agua+sales).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 4.1 Parámetros fisicoquímicos del proceso

#### 4.1.1 Propiedades de los desechos orgánicos del ganado vacuno y porcino para la producción de biogás en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

Las propiedades del estiércol del ganado porcino y vacuno en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., se evaluaron por tiempos de retención (TR) para el parámetro de pH, donde cada TR constó de 30 días; mientras que, los parámetro de sólidos totales, sólidos volátiles, materia orgánica y porcentaje de cenizas, se evaluaron solo para el estiércol al principio del estudio con tres repeticiones. Los resultados se presentan a continuación:

##### a. Determinación de pH

El TR 1 presento (ver Tabla 10) un pH mínimo de 6,40, máximo de 7,45 y en promedio un pH de 6,85. Mientras que, el TR 2 presento un pH mínimo 6,32, máximo de 7,90 y en promedio un pH de 7,04. Por lo tanto, los valores de pH de los TR son óptimos de acuerdo CARE Perú (2016), FNR (2010 ) y FAO (2011), debido a que se encuentra en el rango de 6,5 – 8, esto permite una buena generación de biogás.

**Tabla 10.** *Análisis estadístico de pH del estiércol durante los tiempos de retención (TR)*

Sustrato	pH			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
TR 1	6,40	7,45	6,85	±0,28

TR 2	6,32	7,90	7,04	$\pm 0,35$
------	------	------	------	------------

Fuente: Elaboración propia, 2018.

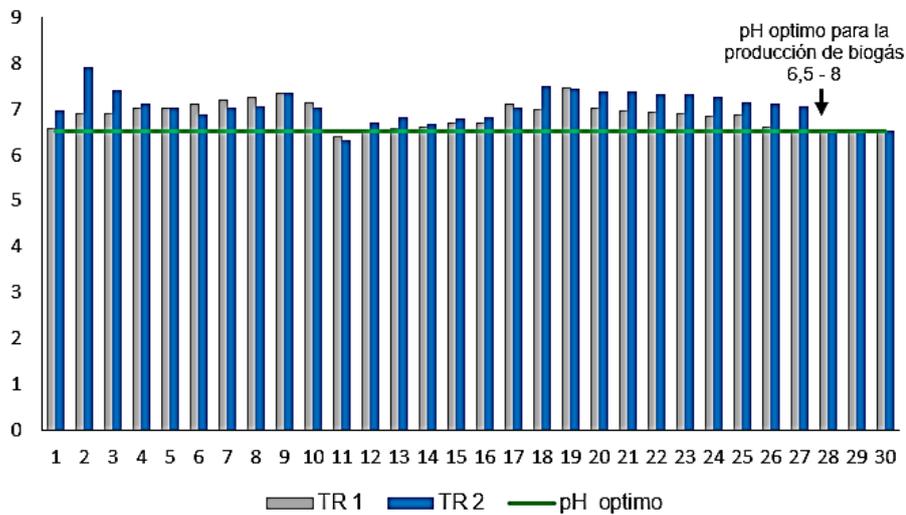


Figura 10. pH del estiércol del ganado durante los tiempos de retención.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

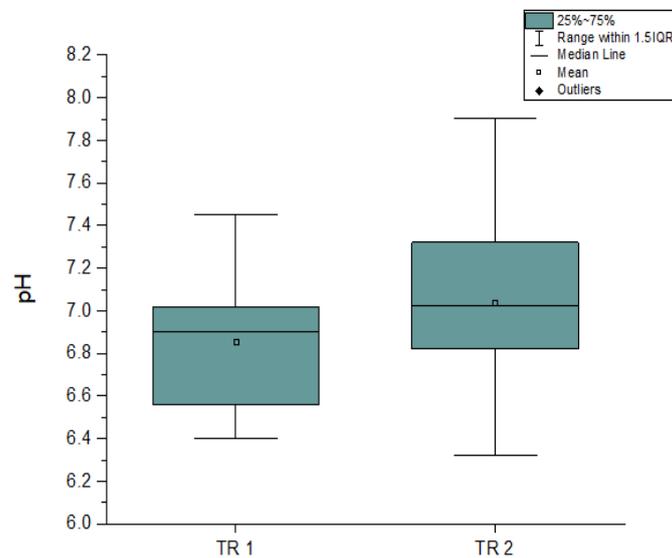


Figura 11. Diagrama de caja del pH del estiércol durante los tiempos de retención.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 11 indica que los P-Valor de los TR son mayores que alfa; por lo tanto, los datos de pH del estiércol provienen de una distribución normal.

**Tabla 11.** *Test de normalidad Shapiro-Wilk de pH del estiércol*

Tiempo	Normalidad		
	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
TR 1	0,1627	>	$\alpha=0,05$
TR 2	0,8004	>	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

b. Determinación de sólidos totales (ST)

El resultado del análisis de sólidos totales del estiércol presento una mínima generación de 9,60%, máxima 10% y un promedio de 9,80% (ver Tabla 12). En consecuencia, el estiércol aseguraría un buen proceso de funcionamiento de biodigestión, debido a que según la FAO (2011) el rango óptimo de la concentración de solidos totales se encuentra entre 8% y 12%. Por el contrario, Cancelier et al. (2015) reportaron un mayor porcentaje de sólidos totales, de 70,60% utilizando estiércol de cerdo en la fase acabado.

**Tabla 12.** *Análisis estadístico de la concentración de sólidos totales en el estiércol del ganado*

ST (mg/L)				ST (%)			
Mín.	Máx.	Media	Desv. Est.	Mín.	Máx.	Media	Desv. Est.
95976,00	100001,00	98010,75	$\pm 1784,89$	9,60	10,00	9,80	$\pm 0,18$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

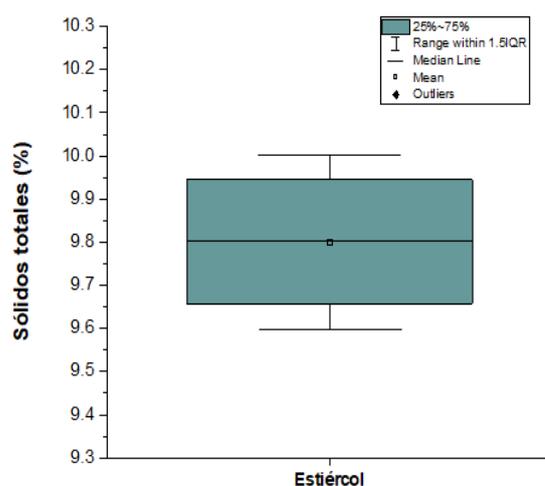


Figura 12. Diagrama de caja de la concentración de sólidos totales.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### c. Determinación de sólidos volátiles (SV)

El resultado del análisis de sólidos volátiles del estiércol presento una generación mínima de 7,27%, máxima 8,10% y en promedio 7,83% (ver Tabla 13). Sin embargo, Valdez LLantoy (2016) reportó una concentración más alta, en el cual sugiere que el porcentaje de sólidos Volátiles debe ser 41,22%.

**Tabla 13.** Análisis estadístico de la concentración de sólidos volátiles en el estiércol del ganado

SV (mg/L)				SV (%)			
Mín.	Máx.	Media	Desv. Est.	Mín.	Máx.	Media	Desv. Est.
72720,34	81010,78	78273,34	±3800,81	7,27	8,10	7,83	±0,38

Fuente: Elaboración propia, 2018.

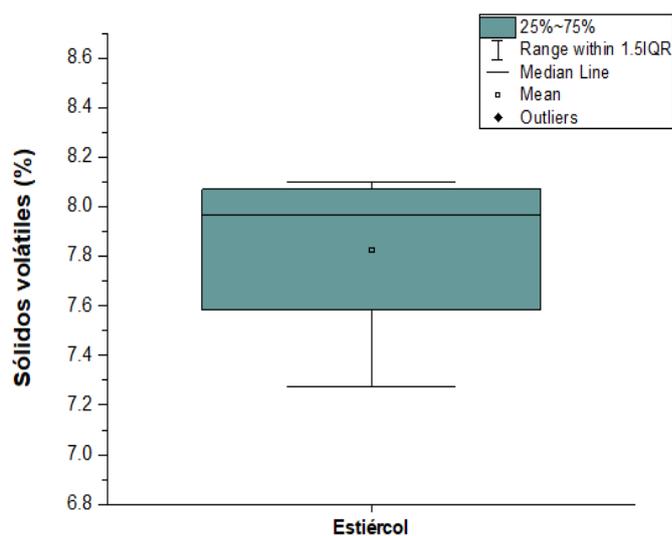


Figura 13. Diagrama de caja de la concentración de sólidos volátiles.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### d. Determinación de cenizas

El resultado del análisis de ceniza del estiércol presento una generación mínima de 2%, máxima 5,75% y en promedio 3,55% (ver Tabla 14).

**Tabla 14.** *Análisis estadístico del porcentaje de ceniza en el estiércol del ganado*

Cenizas (%)				
Muestra	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Estiércol	2,00	5,75	3,55	±1,74

Fuente: Elaboración propia, 2018.

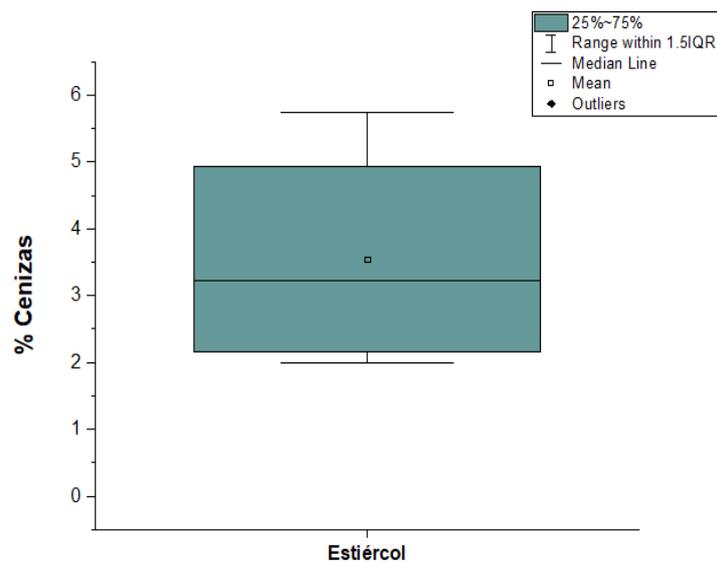


Figura 14. Diagrama de caja del porcentaje de ceniza.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

e. Determinación de materia orgánica

El resultado del análisis de materia orgánica del estiércol presento una generación mínima de 27,50%, máxima 37,15% y en promedio 33,56% (ver Tabla 15).

**Tabla 15.** Análisis estadístico del porcentaje de materia orgánica en el estiércol del ganado

Materia orgánica (%)				
Muestra	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Estiércol	27,50	37,15	33,56	±4,19

Fuente: Elaboración propia, 2018.

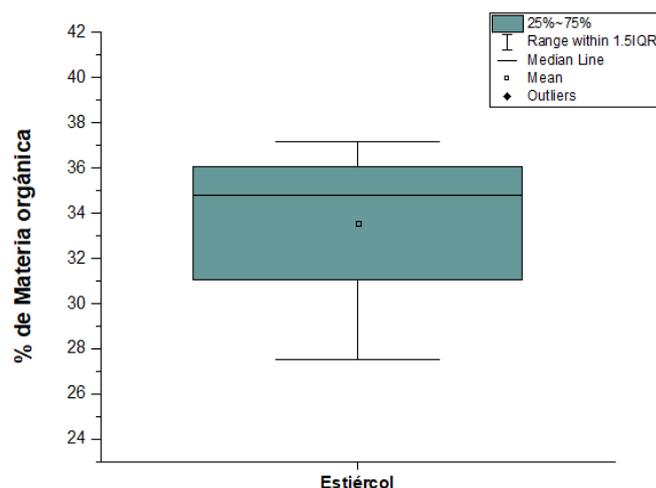


Figura 15. Diagrama de caja del porcentaje de materia orgánica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## 4.2 Producción y calidad del biogás generado en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L

### 4.2.1 Producción de biogás

El tratamiento 1 tuvo una producción mínima de 29,60 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco, una máxima producción de 56,20 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco y en promedio una producción de 43,91 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco. Por otro lado, el tratamiento 2 tuvo una producción mínima de 54,10 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco, una máxima producción de 72,50 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco y en promedio una producción de 65,34 cm<sup>3</sup>/1kg estiércol fresco. En contraste con, Valdez (2016, p. 96), en su investigación señaló que el rendimiento de biogás será mayor que el metano, porque este en su composición presenta otros gases; asimismo, trabajó con tres tratamientos, siendo el mejor de ellos el tratamiento 1, llegando a producir la quinta semana su máxima producción 64,46 ml, pero en la primera semana solo logró un promedio de 35,02 ml, que fue superior a los tratamientos 3 y 2, 19,95 ml y 5,86 ml, respectivamente.

**Tabla 16.** Análisis estadístico de la producción de biogás de los tratamientos

Sustrato	Biogás (cm <sup>3</sup> /1 kg estiércol fresco)			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
Tratamiento 1	29,60	56,20	43,91	±8,52
Tratamiento 2	54,10	72,50	65,34	±6,14

Fuente: Elaboración propia, 2018.

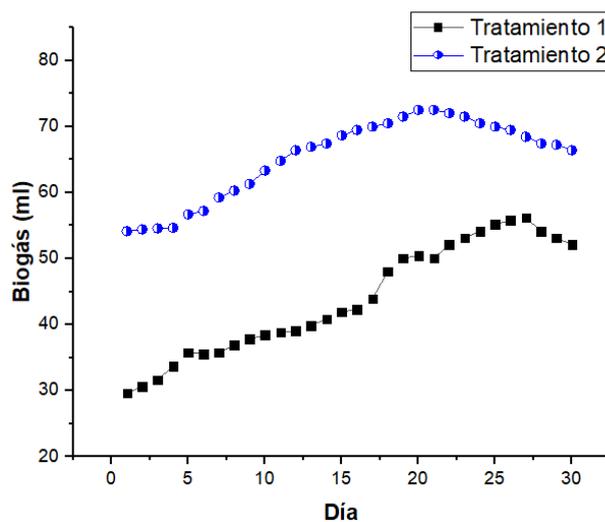


Figura 16. Producción de biogás de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

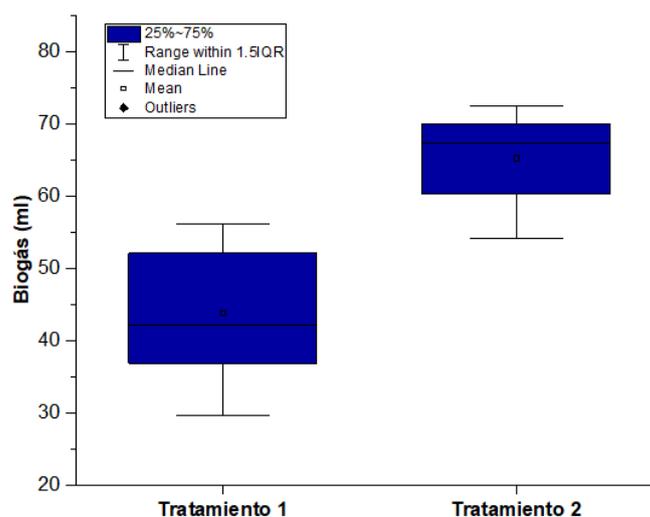


Figura 17. Diagrama de caja de la producción de biogás de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## 4.2.2 Calidad de biogás

Para determinar la calidad y la producción de los dos tratamientos empleados para alimentar el biodigestor construido en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L., se evaluó cada tratamiento individualmente; pero, con el mismo tiempo de retención. Los resultados de la producción de biogás son los siguientes:

### a. Temperatura

El tratamiento 1 tuvo una temperatura mínima de 23,30°C, una máxima temperatura de 39,20°C y en promedio una temperatura de 30,16°C. Mientras que, el tratamiento 2 tuvo una temperatura mínima de 24,90°C, una máxima de 49,50°C y en promedio una temperatura de 37,18°C (ver Tabla 17). Por ende, la temperatura del tratamiento 2 se encuentra en un rango óptimo según la FNR (2010) y Varnero (1991), debido a que las bacterias que producen metano se desarrollan entre 35 y 42 °C, de tal forma que se asegura una producción óptima de biogás. En cambio, Cancelier et al. (2015), en su investigación tuvieron una menor temperatura de 33,5 44°C; así mismo, Yauyo (2016) presentó en su investigación una temperatura del biodigestor entre 24 a 30°C.

**Tabla 17.** *Análisis estadístico del comportamiento de la temperatura de los tratamientos en la producción de biogás*

Sustrato	Temperatura (°C)			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Tratamiento 1	23,30	39,20	30,16	± 3,95
Tratamiento 2	24,90	49,50	37,18	± 8,25

Fuente: Elaboración propia, 2018.

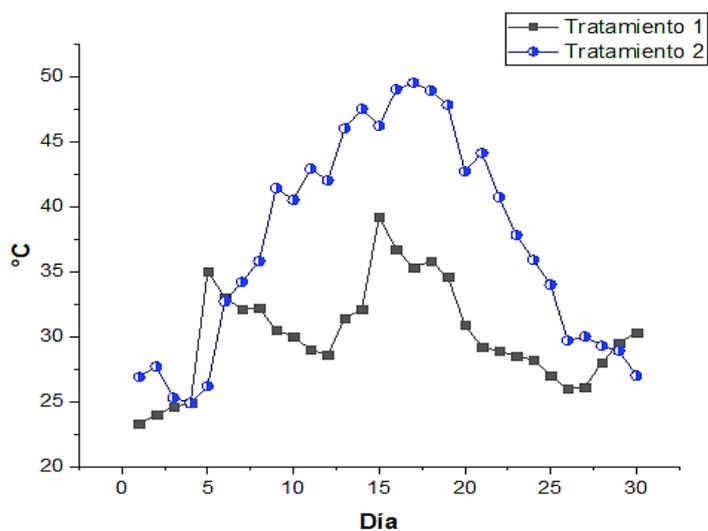


Figura 18. Comportamiento de la temperatura de los tratamientos en la producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

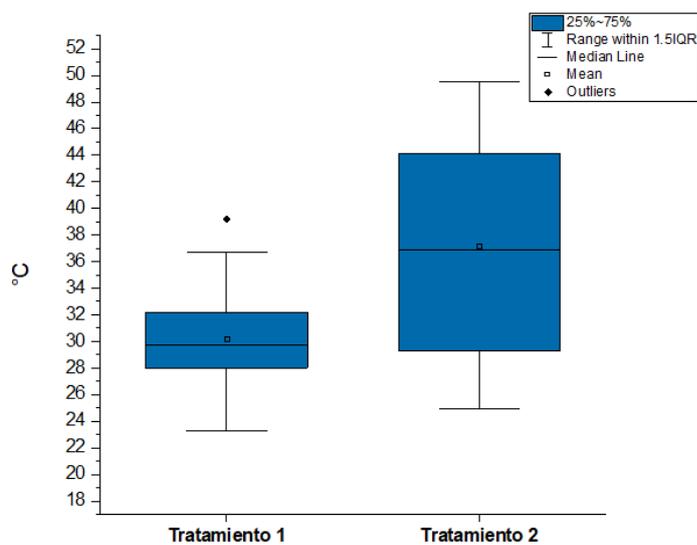


Figura 19. Diagrama de caja del comportamiento de la temperatura en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 18 indica que el P-Valor del tratamiento 1 es mayor que alfa; por lo tanto, los datos de temperatura del tratamiento 1 provienen de una distribución normal. Mientras que, el P-Valor del tratamiento 2 es

menor que alfa; es decir, los datos de temperatura del tratamiento 2 no provienen de una distribución normal.

**Tabla 18.** *Test de normalidad Shapiro-Wilk del comportamiento de la temperatura en los tratamientos*

Sustrato	Normalidad		
	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	0,8327	>	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	0,0288	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 19 presenta diferencias significativas en las medias del comportamiento de la temperatura en los tratamientos 1 y 2. Por lo tanto, se determinó que los tratamientos generan un efecto significativo en el comportamiento de la temperatura en la producción de biogás.

**Tabla 19.** *Test t de Student del comportamiento de la temperatura en los tratamientos*

Sustrato	df	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	29	$< 2,2 \times 10^{-16}$	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	29	$< 2,2 \times 10^{-16}$	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### b. Color de la llama

Se observó que el color de la llama del biogás producido por el tratamiento 1 a los 15 días predominaba el color rojo, y a los 30 días se visualizó una llama azulada y roja (ver Figura 20), lo cual indicó la presencia de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

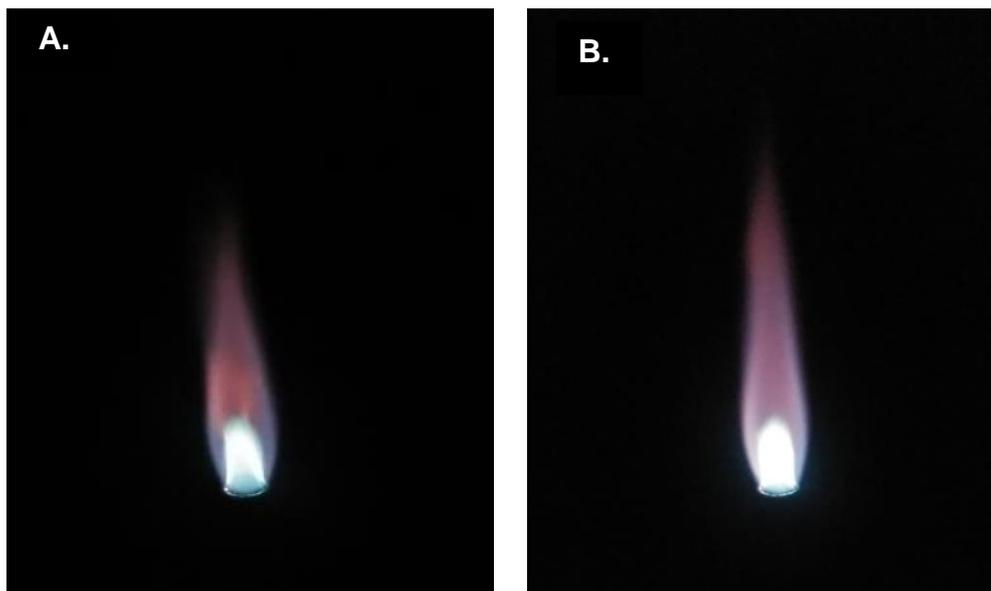


Figura 20. A. Color de la llama del biogás del tratamiento 1 a los 15 días y B. color de la llama a los 30 días.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Sin embargo, se observó que el color de la llama del tratamiento 2 a los 15 días fue de color azul y rojo, el color rojo presente en la llama indicó la presencia de  $\text{CO}_2$ ; sin embargo, a los 30 días se visualizó una llama azulada y consistente (ver Figura 21). La llama azulada producida es una característica que está de acuerdo con lo mencionado por la FAO (2011), la cual indica que si el gas quema con una llama azulada y de buena resistencia, se da inicio al uso del biogás, y este es de buena calidad.

Por otro lado, se hizo hervir 1 L de agua el que duró un tiempo de 5 minutos.

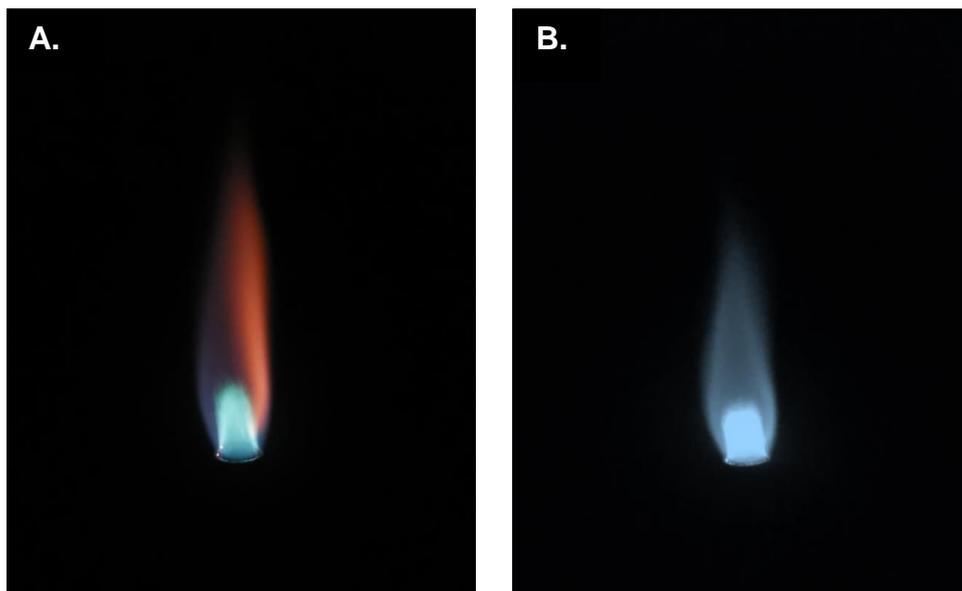


Figura 21. A. Color de la llama del biogás del tratamiento 2 a los 15 días y B. color de la llama a los 30 días.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### c. Determinación del pH

El tratamiento 1 presento (ver Tabla 20) un pH mínimo de 5,96, máximo de 7,80 y en promedio un pH de 7,00. Mientras que, el tratamiento 2 presento un pH mínimo 6,48, máximo de 8,30 y en promedio un pH de 7,35; siendo los valores de este tratamiento los más óptimos según (CARE Perú 2016; FNR 2010; FAO 2011), puesto que se encuentran cerca y en el rango de 6,5 – 8, rango que favorece la digestión metanogénica y permite una buena producción de biogás. No obstante, Valdez (2016) reporto resultados similares, los cuales se mantuvieron en pH neutros, siendo de 7,5 a 8. De la misma manera, Yauyo Ramos (2016) registró un óptimo de 7 a partir del día 34 con un sistema de alimentación de excretas de porcino de una granja.

**Tabla 20.** Análisis estadístico de pH de los tratamientos en la producción de biogás

Sustrato	pH			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Tratamiento 1	5,96	7,80	7,00	$\pm 0,50$
Tratamiento 2	6,48	8,30	7,35	$\pm 0,57$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

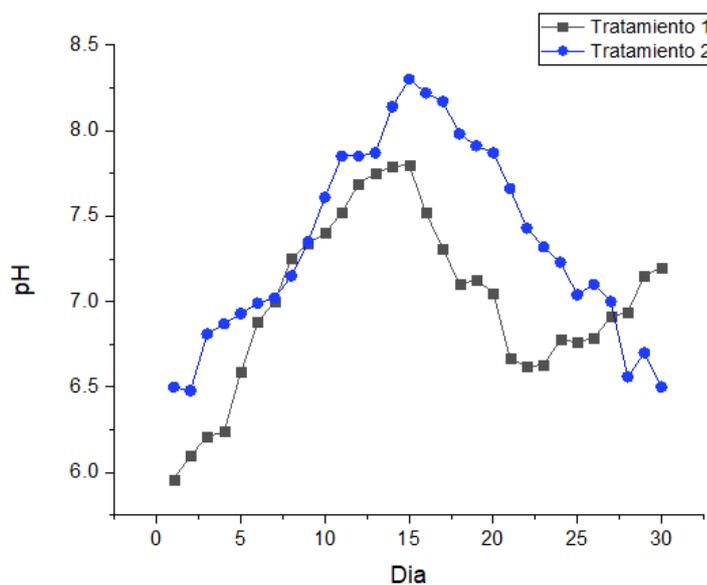


Figura 22. pH de los tratamientos en la producción de biogás.

Elaboración propia, 2018.

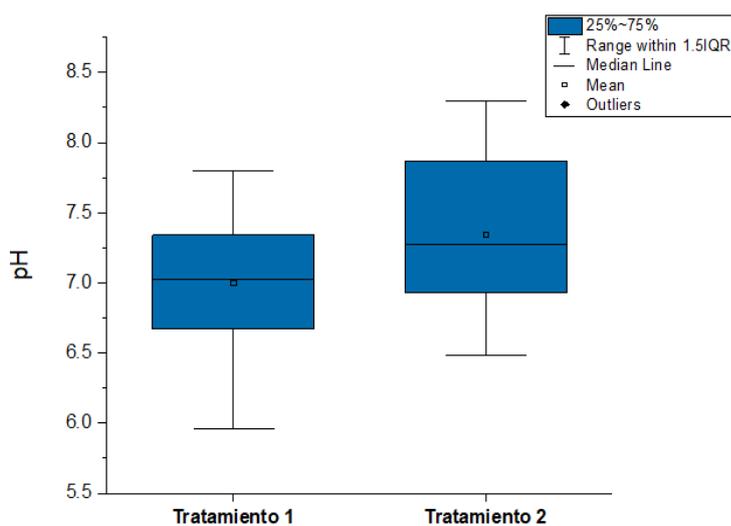


Figura 23. Diagrama de caja del pH de los tratamientos.

Elaboración propia, 2018.

La Tabla 21 indica que el P-Valor del tratamiento 1 es menor que alfa; por lo tanto, los datos de pH del tratamiento no provienen de una distribución normal. Por el contrario, el P-Valor del tratamiento 2 fue mayor que alfa; es decir, los datos de pH del tratamiento provienen de una distribución normal.

**Tabla 21.** Test de normalidad Shapiro-Wilk del pH de los tratamientos

Sustrato	Normalidad		
	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	0,0099	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	0,1412	>	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 22 presenta diferencias significativas en las medias del pH de los tratamientos 1 y 2. Por lo tanto, se concluyó que los tratamientos generan un efecto significativo en el pH durante la producción de biogás.

**Tabla 22.** Test t de Student del pH de los tratamientos

Sustrato	df	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	29	$< 2,2 \times 10^{-16}$	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	29	$< 2,2 \times 10^{-16}$	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### d. Metano (CH<sub>4</sub>)

El tratamiento 1 tuvo un porcentaje de metano mínimo de 29 %, un máximo de 55 % y en promedio 42,97 %. Mientras que, el tratamiento 2 tuvo una mayor producción de metano, siendo el mínimo de 53 %, el máximo 71 % y en promedio 63,91 % (ver Tabla 24). En tal sentido, el tratamiento 2 produjo un biogás óptimo, según INCAITI (1983), señala que la composición de biogás debe estar entre 54 – 70 % de metano.

Garcés, et al. (2014) y Fernandez, et al. (2014), obtuvieron resultados similares a la mezcla 2, presentaron un contenido de metano superior

al 50%. Sin embargo, Valdez LLantoy (2016) reportó en su evaluación una calidad mínima de biogás de 31,45%, 32,55 y 30,72% para sus tres tratamientos, en esa misma línea sus resultados fueron considerados de buena calidad. Por otro lado, Zambrano Díaz (2016) en su estudio presentó un 27,67 % de metano, producido a partir del estiércol de ganado vacuno y suero de quesería.

**Tabla 23.** Análisis estadístico del porcentaje de metano ( $CH_4$ ) de los tratamientos en la producción de biogás

Sustrato	Metano (%)			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Tratamiento 1	29,00	55,00	42,97	$\pm 8,34$
Tratamiento 2	53,00	71,00	63,91	$\pm 6,02$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

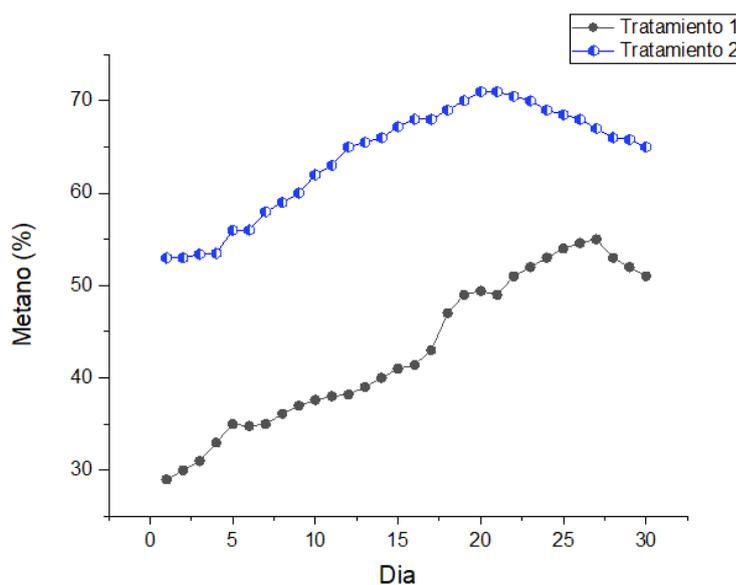


Figura 24. Porcentaje de metano ( $CH_4$ ) de los tratamientos en la producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

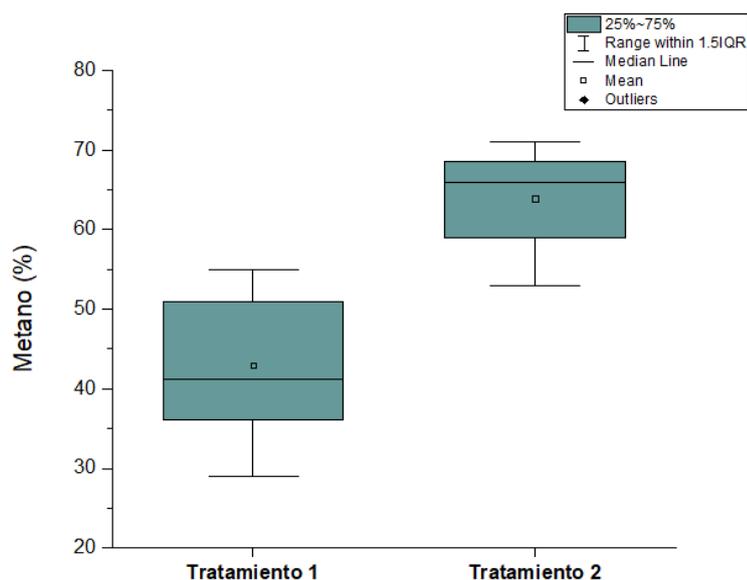


Figura 25. Diagrama de caja del porcentaje de metano ( $\text{CH}_4$ ).

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 24 indica que los P-Valor del tratamiento 1 y tratamiento 2 son menores que alfa; por lo tanto, los datos de porcentaje de metano de los tratamientos no provienen de una distribución normal.

**Tabla 24.** Test de normalidad Shapiro-Wilk del porcentaje de metano ( $\text{CH}_4$ ) en los tratamientos

Sustrato	Normalidad		
	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	0,0250	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	0,0021	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 25 presenta diferencias significativas en las medias del porcentaje de metano de los tratamientos 1 y 2. Por lo tanto, se determinó que los tratamientos generan un efecto significativo en el porcentaje de metano en la producción de biogás.

**Tabla 25.** Test *t* de Student del porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) en los tratamientos

Sustrato	df	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	29	0,0000	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	29	0,0000	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

e. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El tratamiento 1 tuvo un mínimo porcentaje de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> de 43 %, un máximo de 69,30 % y en promedio 56,02 %. Mientras que, el tratamiento 2 tuvo una menor producción de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, siendo la mínima de 30 %, el máximo 48,50 % y en promedio 35,77 % (ver Tabla 26). Igualmente, Fernandez, Rodríguez y Aquino (2014), en su investigación con un reactor geo membrana de 10 m<sup>3</sup> obtuvieron un 37,6 % de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, encontrándose dentro del rango indicado en la bibliografía. Según INCAITI (1983), señala que la composición de biogás debe tener entre un 27 - 45 % de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

**Tabla 26.** Análisis estadístico del porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos durante la producción de biogás.

Sustrato	Dióxido de carbono (%)			
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Tratamiento 1	43,00	69,30	56,02	±8,25
Tratamiento 2	30,00	48,50	35,77	±5,97

Fuente: Elaboración propia, 2018.

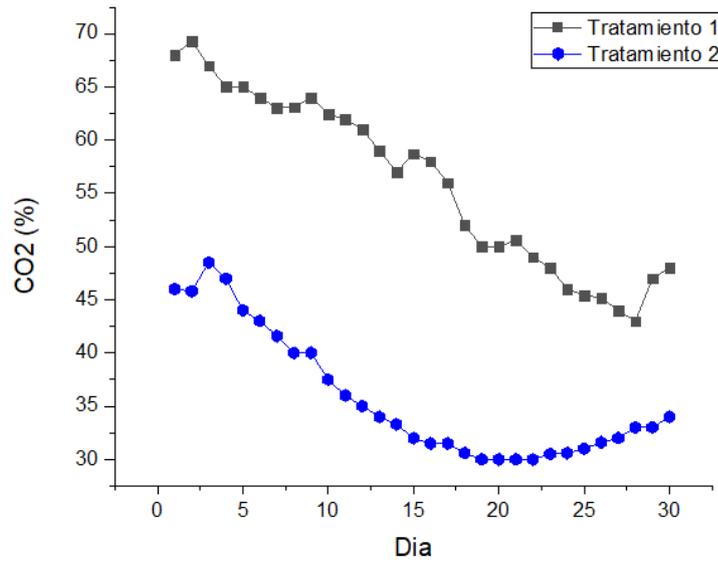


Figura 26. Porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los tratamientos en la producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

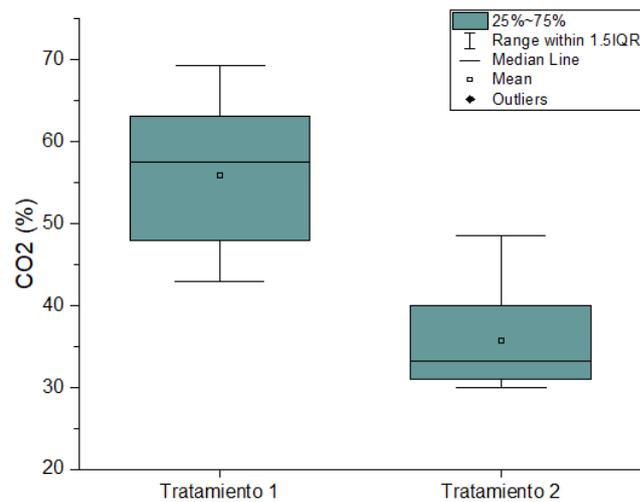


Figura 27. Diagrama de caja del porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 27 indica que los P-Valor del tratamiento 1 y tratamiento 2 son menores que alfa; por lo tanto, los datos de porcentaje de dióxido de

carbono CO<sub>2</sub> de los tratamientos no provienen de una distribución normal.

**Tabla 27.** Test de normalidad Shapiro-Wilk del porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos

Sustrato	Normalidad		
	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	0,0338	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	0,0004	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La Tabla 28 presenta diferencias significativas en las medias del porcentaje de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> en los tratamientos 1 y 2. Por lo tanto, se determinó que los tratamientos generan un efecto significativo en el porcentaje de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> durante la producción de biogás.

**Tabla 28.** Test t de Student del de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los tratamientos

Sustrato	df	P-valor	Mayor o menor	Alfa ( $\alpha$ )
Tratamiento 1	29	0,0000	<	$\alpha=0,05$
Tratamiento 2	29	0,0000	<	$\alpha=0,05$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 4.3 Calidad del biol producido en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.

#### 4.3.1 Resultados de la composición química del biol

Los resultados los parámetros del biol se muestran a continuación:

##### a. Determinación de pH

Los datos de pH del biol producido en los tratamientos fueron 6,48 y 6,95, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 29). Por

lo que, el pH del biol producido es óptimo, porque según el INN (2004) el pH de un buen compost para fertilizar se debe encontrar en un rango de 5,5 – 8,5.

**Tabla 29.** pH del biol producido en los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
pH	6,48	6,95	5,5 - 8,5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

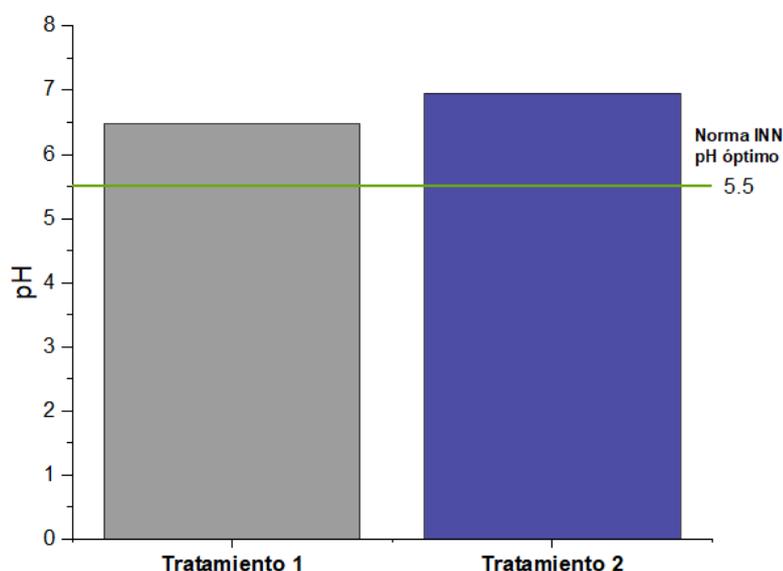


Figura 28. pH del biol producido en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### b. Conductividad eléctrica (C.E.)

Los datos de C.E. del biol producido en los tratamientos fueron 4,17 y 5,30, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 31). Por ello, la C.E. del biol en ambos tratamientos es óptima, y por lo cual el fertilizante es de Clase B. Asimismo, según el INN (2004) la C.E. para un compost de clase B de uso debe ser <8 dS/m, lo cual mantiene una disponibilidad equilibrada de sales, y este a su vez otros nutrientes. Del mismo modo, Valdez LLantoy (2016) en su estudio concluyó que la mejor concentración es 7,92 dS/cm.

**Tabla 30.** Conductividad eléctrica (C.E.) del biol producido en los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
C.E. (dS/m)	4,17	5,30	<8

Fuente: Elaboración propia, 2018.

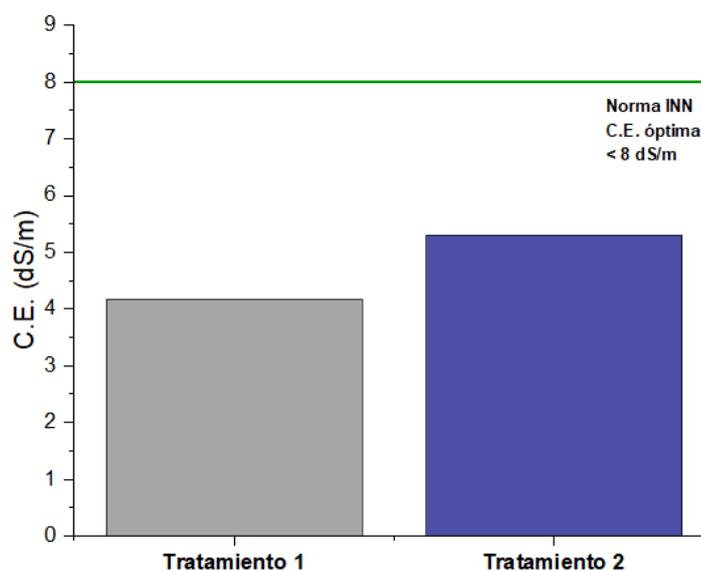


Figura 29. Conductividad eléctrica (dS/m) del biol producido en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### c. Materia orgánica

Los datos de materia orgánica del biol producido en los tratamientos fueron 0,40 y 0,25 %, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 31). El porcentaje de materia orgánica del biol en ambos tratamientos es bajo; pues, según el INN (2004) el porcentaje de materia orgánica del compost debe ser >20 %.

**Tabla 31.** Materia orgánica (%) del biol producido en los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	

Materia orgánica (%)	0,40	0,25	>20
----------------------	------	------	-----

Fuente: Elaboración propia, 2018.

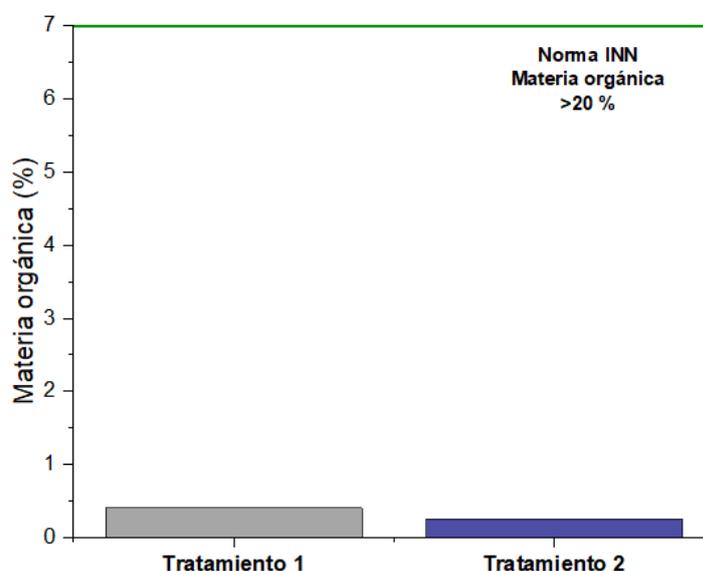


Figura 30. Materia orgánica (%) del biol producido en los tratamientos.  
Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### d. Nitrógeno total

Los datos de nitrógeno total del biol producido en los tratamientos fueron 0,50 y 1,03 %, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 32). El porcentaje de nitrógeno total del biol del tratamiento 2 cumple con la norma del INN (2004), debido a que es superior a 0,80%, esto garantizará que el fertilizante contribuirá a la nutrición vegetal.

**Tabla 32.** Nitrógeno total (%) del biol producido en los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Nitrógeno total (%)	0,05	1,03	≥ 0,80

Fuente: Elaboración propia, 2018.

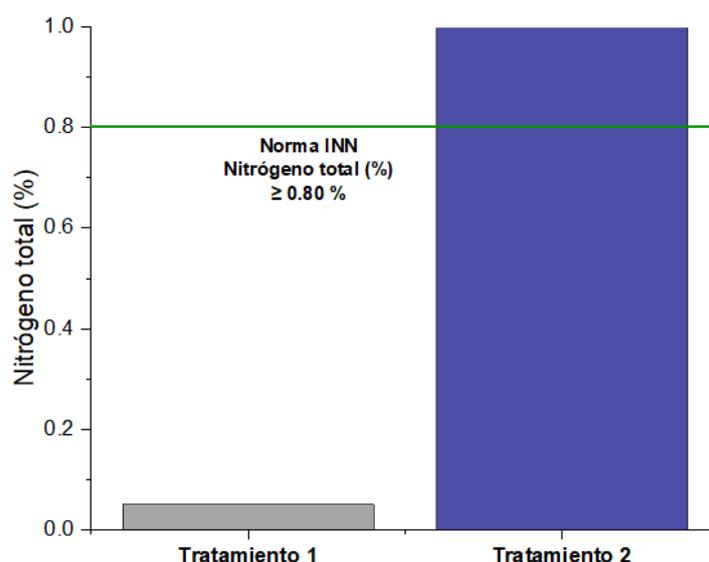


Figura 31. Nitrogeno total (%) del biol producido en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### e. Relación C/N

Los datos de la relación C/N del biol producido en los tratamientos fueron 4,64% y 0,14 %, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 33). La relación C/N del biol en ambos tratamientos fue baja; pues, según el INN (2004) la relación C/N del compost debe estar entre 10-40.

**Tabla 33.** Relación C/N del biol producido en los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Relación C/N	4,64	0,14	10-40

Fuente: Elaboración propia, 2018.

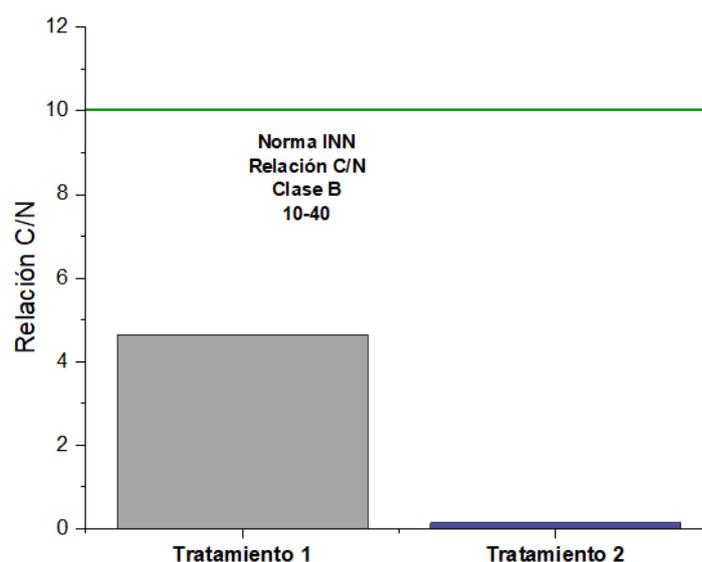


Figura 32. Relación C/N del biol producido en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

f. Boro (B)

El contenido de boro en el biol producido de los tratamientos fueron 3,40 mg/kg y 2,54 mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 34). En ambos tratamientos el contenido de boro, se encontró por muy debajo de su concentración máxima según el INN (2004); por lo tanto, la norma establece que el fertilizante es de uso irrestricto.

**Tabla 34.** *Contenido de boro (B) en el biol producido de los tratamientos*

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Boro (mg/kg)	3,40	2,54	<200

Fuente: Elaboración propia, 2018.

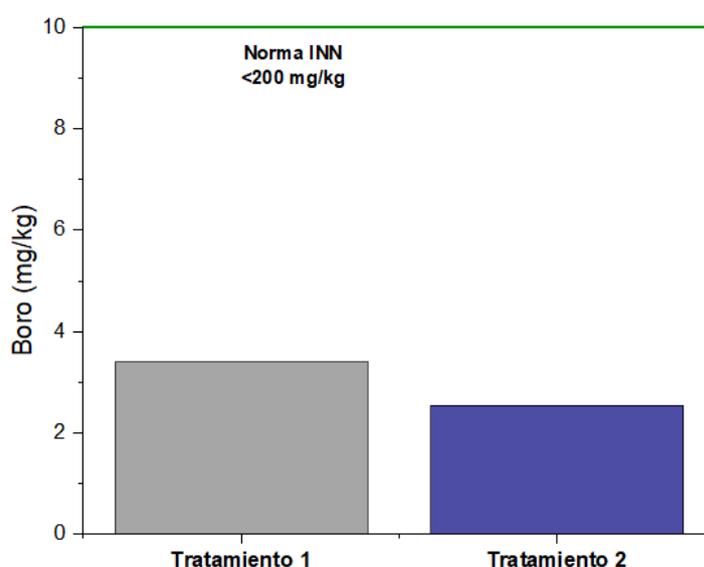


Figura 33. Contenido de boro (B) en el biol producido de los tratamientos

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### g. Zinc (Zn)

El contenido de zinc en el biol producido de los tratamientos fueron 5,51 mg/L y 5,96 mg/L, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 35). En ambos tratamientos el contenido de zinc, se encontró por muy debajo de la concentración máxima para compostaje según el INN (2004).

**Tabla 35.** *Contenido de zinc (Zn) en el biol producido de los tratamientos*

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Zinc (mg/L)	5,51	5,96	3000

Fuente: Elaboración propia, 2018.

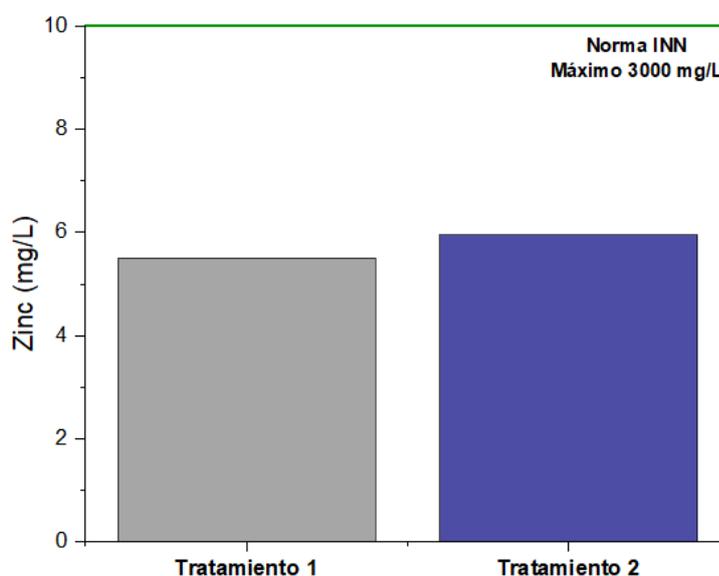


Figura 34. Contenido de zinc (Zn) en el biol producido de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### 4.3.2 Resultados del contenido de metales en el biol

Los resultados del análisis del contenido de metales del biol se muestran a continuación:

##### a. Cromo (Cr)

El contenido de cromo en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,05$  y  $<0,25$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 36). En ambos tratamientos el contenido de cromo, se encontró por debajo de la concentración máxima de metales pesados según el INN (2004).

**Tabla 36.** Contenido de cromo (Cr) en el biol producido por los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Cromo (mg/kg)	$<0,05$	$<0,25$	60

Fuente: Elaboración propia, 2018.

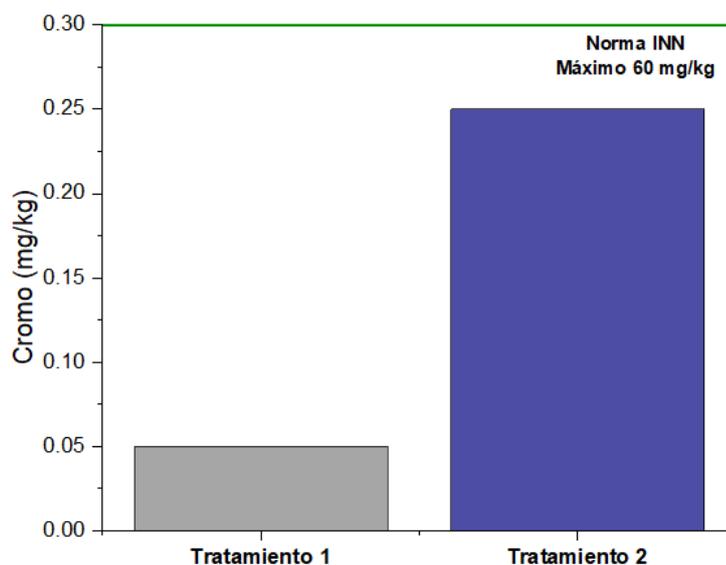


Figura 35. Contenido de cromo (Cr) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### b. Arsénico (As)

El contenido de arsénico en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,05$  mg/kg y  $<0,25$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 37). En ambos tratamientos el contenido de arsénico, se encontró por debajo de la concentración máxima de metales pesados según el INN (2004).

**Tabla 37.** Contenido de arsénico (As) en el biol producido por los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Arsénico (mg/kg)	$<0,05$	$<0,25$	10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

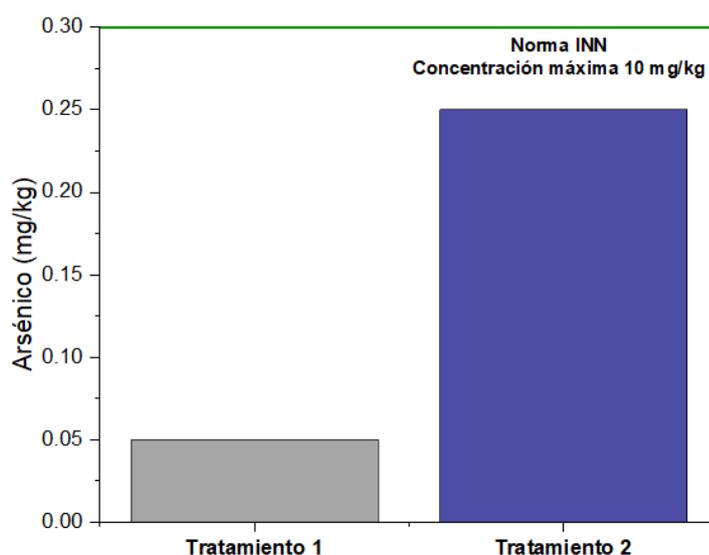


Figura 36. Contenido de arsénico (As) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### c. Selenio (Se)

El contenido de selenio en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,05$  mg/kg y  $<0,25$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 38). En ambos tratamientos el contenido de selenio, se encontró por debajo de la concentración máxima de metales pesados según el INN (2004).

**Tabla 38.** Contenido de selenio (Se) en el biol producido por los tratamientos

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Selenio (mg/kg)	$<0,05$	$<0,25$	6

Fuente: Elaboración propia, 2018.

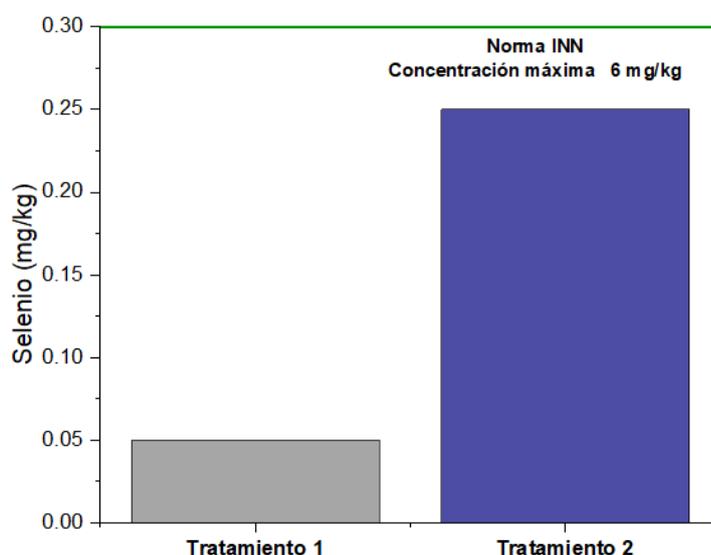


Figura 37. Contenido de selenio (Se) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### d. Cadmio (Cd)

El contenido de cadmio en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,20$  mg/kg y  $<0,10$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 39). En ambos tratamientos el contenido de cadmio, se encontró por debajo de la concentración máxima de metales pesados según el INN (2004).

**Tabla 39.** *Contenido de cadmio (Cd) en el biol producido por los tratamientos*

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Cadmio (mg/kg)	$<0,20$	$<0,10$	1

Fuente: Elaboración propia, 2018.

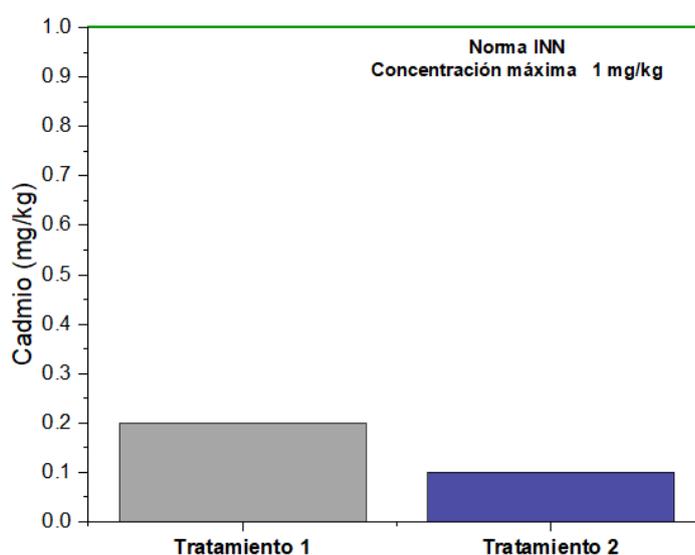


Figura 38. Contenido de cadmio (Cd) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### e. Níquel (Ni)

El contenido de níquel en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,035$  mg/kg y  $<0,175$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 40). En ambos tratamientos el contenido de níquel, se encontró por debajo de la concentración máxima de metales pesados según el INN (2004).

**Tabla 40.** *Contenido de níquel (Ni) en el biol producido por los tratamientos*

Parámetro	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Níquel (mg/kg)	$<0,035$	$<0,175$	10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

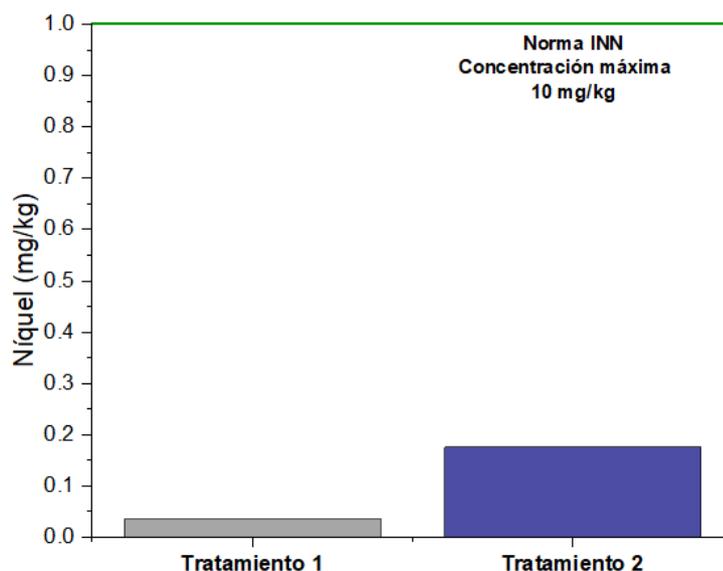


Figura 39. Contenido de níquel (Ni) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

f. Mercurio (Hg)

El contenido de mercurio en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,01$  mg/kg y  $<0,05$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 41). En ambos tratamientos el contenido de mercurio, se encontró por debajo de la concentración máxima de mercurio para la agricultura orgánica según el INN (2004).

**Tabla 41.** Contenido de mercurio (Hg) en el biol producido por los tratamientos

Metal pesado	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Mercurio (mg/kg)	$<0,01$	$<0,05$	1

Fuente: Elaboración propia, 2018.

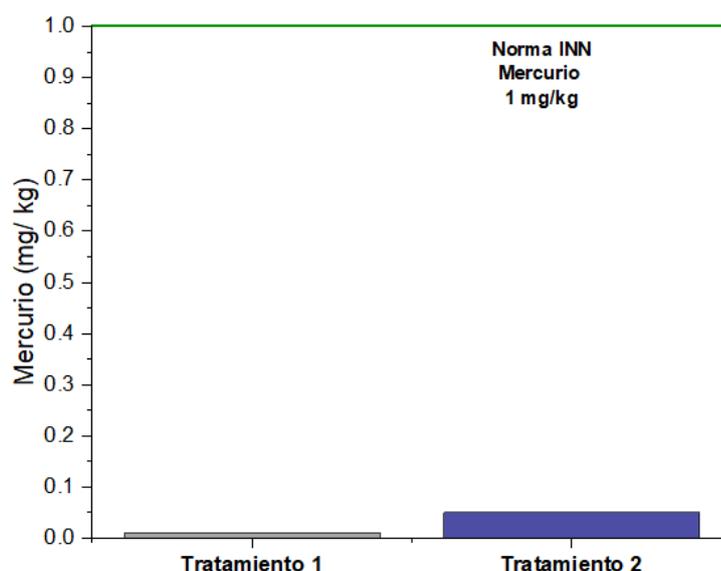


Figura 40. Contenido de mercurio (Hg) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### g. Plomo (Pb)

El contenido de plomo en el biol producido por los tratamientos fue <0,02 mg/kg y <0,10 mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 42). En ambos tratamientos el contenido de plomo, se encontró por debajo de la concentración máxima de plomo para la agricultura orgánica según el INN (2004).

**Tabla 42.** Contenido de plomo (Pb) en el biol producido por los tratamientos

Metal pesado	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Plomo (mg/kg)	<0,02	<0,10	50

Fuente: Elaboración propia, 2018.

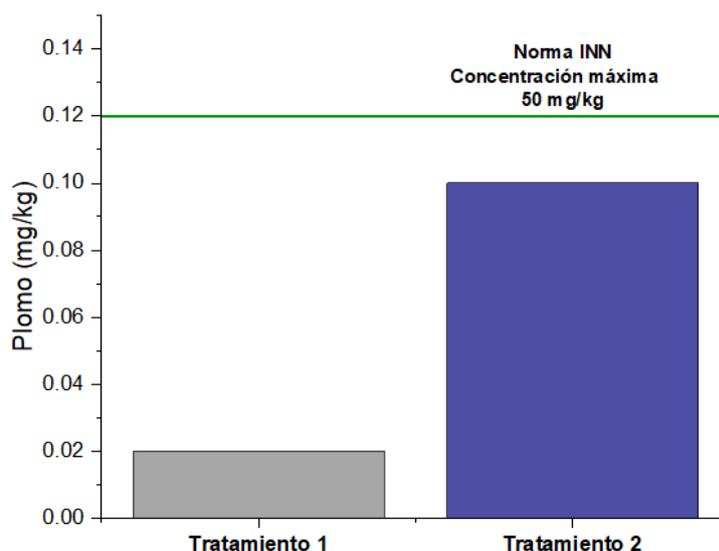


Figura 41. Contenido de plomo (Pb) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### h. Molibdeno (Mo)

El contenido de molibdeno en el biol producido por los tratamientos fue  $<0,02$  mg/kg y  $<0,10$  mg/kg, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 43). En ambos tratamientos el contenido de molibdeno, se encontró por debajo de la concentración máxima de molibdeno en compost según el INN (2004).

**Tabla 43.** Contenido de molibdeno (Mo) en el biol producido por los tratamientos

Metal pesado	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Molibdeno (mg/kg)	$<0,02$	$<0,10$	2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

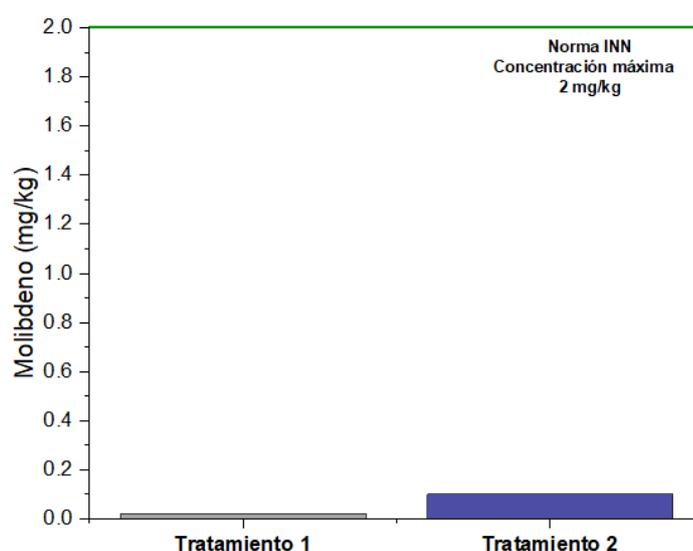


Figura 42. Contenido de molibdeno (Mo) en el biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### 4.3.3 Resultados de la composición microbiológica del biol

Los resultados del análisis microbiológico del biol se muestran a continuación:

##### a. Coliformes totales

El contenido de coliformes totales en el biol producido por los tratamientos fueron de 170 000 y 490 NMP/1 000g, en el tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 44). Se observó que la concentración más alta de coliformes totales estuvo presente en el tratamiento 1 en comparación con el tratamiento 2.

**Tabla 44.** Análisis microbiológico de Coliformes totales del biol producido por los tratamientos

Parámetro microbiológico	Muestra de biol	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Coliformes totales (NMP/100g)	170 000,00	490,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

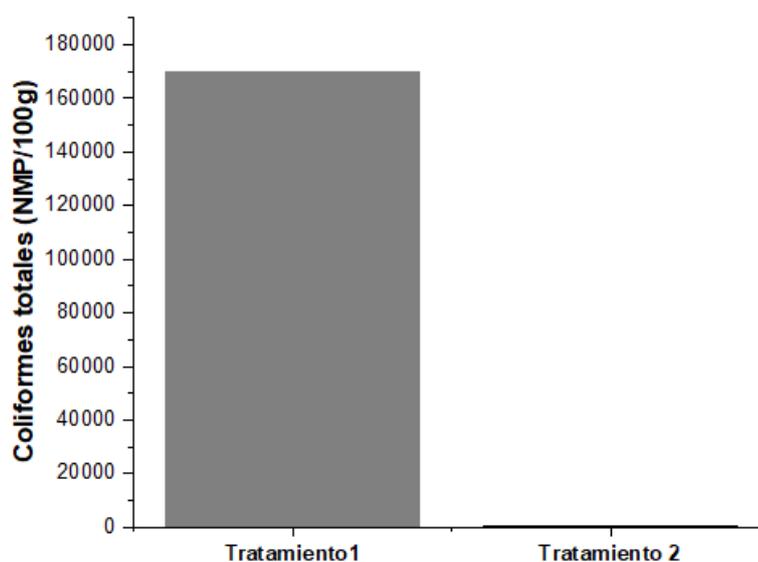


Figura 43. Análisis microbiológico de Coliformes totales del biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### b. Coliformes termotolerantes

El contenido de coliformes termotolerantes en el biol producido por los tratamientos fueron de 170 000 y 490 NMP/1 000g, en el tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 45). Se observó que la concentración más alta de coliformes termotolerantes estuvo presente en el tratamiento 1 en comparación con el tratamiento 2.

**Tabla 45.** Análisis microbiológico de Coliformes termotolerantes del biol producido por los tratamientos

Parámetro microbiológico	Muestra de biol	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Coliformes termotolerantes (NMP/100g)	170 000,00	490,00

Fuente: Elaboración propia, 2018.

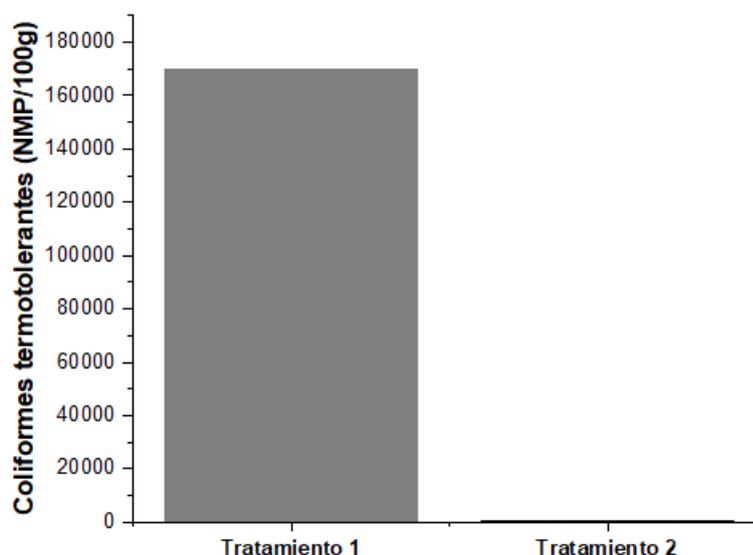


Figura 44. Análisis microbiológico de Coliformes termotolerantes del biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### c. Escherichia coli

El contenido de Escherichia coli en el biol producido por los tratamientos fue 17 y 4,9 NMP/g, tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente (ver Tabla 46). Así mismo, ambos tratamientos se encontraron por debajo de la concentración máxima de Escherichia coli en compost según el INN (2004).

**Tabla 46.** Análisis microbiológico de Escherichia coli del biol producido por los tratamientos

Parámetro microbiológico	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	
Escherichia coli (NMP/g)	17,00	4,90	<1000 NMP/g

Fuente: Elaboración propia, 2018.

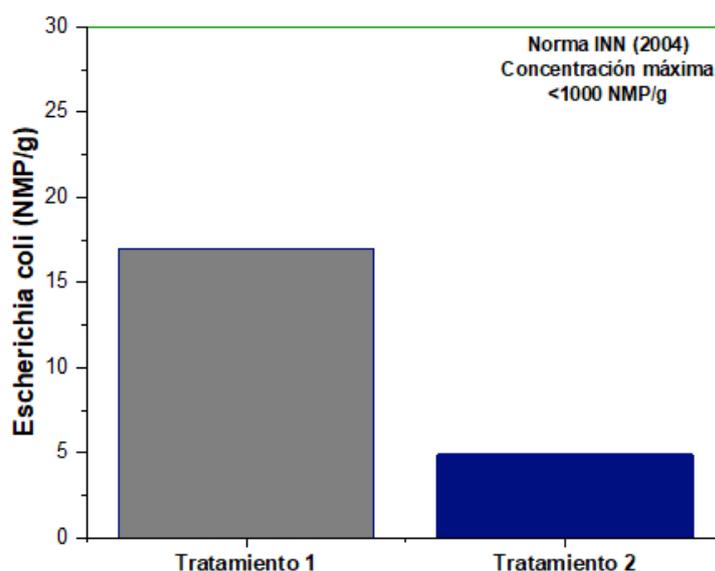


Figura 45. Análisis microbiológico de *Escherichia coli* del biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### d. Salmonella

En el análisis microbiológico del biol no se encontró la presencia de *Salmonella*, tanto para el tratamiento 1 y 2 (ver Tabla 47). Así mismo, ambos tratamientos cumplirían con la Norma del INN (2004), el cual indica que no debe haber presencia de *Salmonella* en el compost.

**Tabla 47.** Análisis microbiológico de *Salmonella* del biol producido por los tratamientos

Parámetro microbiológico	Muestra de biol		Norma INN (2004)
	Tratamiento1	Tratamiento2	
<i>Salmonella</i> (/25g)	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Elaboración propia, 2018.

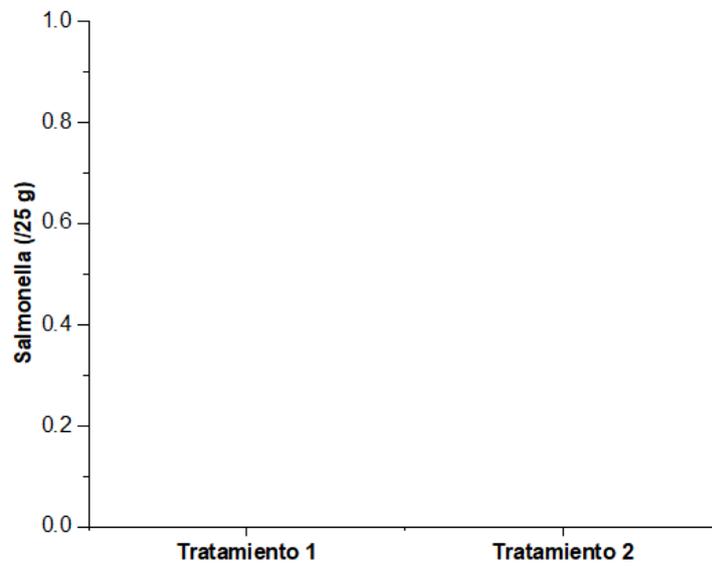


Figura 46. Análisis microbiológico de Salmonella del biol producido por los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## **CONCLUSIONES**

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron durante la producción del biogás en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L del tratamiento 2 son óptimos; mientras que el tratamiento 1 no presentó buenas características.

La combinación de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio que se agregaron en el tratamiento 2, aumentaron la calidad de producción de biogás.

Finalmente, el biol obtenido como subproducto del proceso del tratamiento 2 es de buena calidad, en comparación del tratamiento 1.

## **SUGERENCIAS**

- Se debe producir tecnologías limpias que beneficien y generen menos gastos al sector agropecuario, para fortalecer esta actividad.
- Se deben implementar proyectos con buen financiamiento para la producción de biogás en los sectores de agricultura y ganadería para disminuir la carga de desechos diariamente.
- Se debe brindar programas de capacitación para la producción de biogás en los sectores rurales.
- Se debe promover e incentivar trabajos de investigación sobre las propiedades del biol como biofertilizantes y sus beneficios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIAS Y OFICINAS AGRARIAS DE MADRE DE DIOS. 2013. Población de ganados vacunos y porcinos en la región. . Madre de Dios:

ALENCAR, Maria, COLEN, Fernando, FERNANDES, Luis, DE SOUZA, Marcos y DE CARVALHO, Osmar. 2013. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. *Energia na agricultura*, vol. 28. p. 155-164.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WATER ENVIROMENT FEDERATION (WEF). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: American Public Health Association. 1360.

ANTONIO, Edwin y AGUILERA, Reyes. 2017. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia , a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos Generation of biogas through the process of anaerobic digestion , from the use of organic substrates. ,

ARAYA ALPIZAR, Fernando. 2010. Producción y caracterización de bioles para su uso en el cultivo de banano (*Musa sp*), Río Frío, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. p.124.

BARBARO, Lorena, KARLANIAN, Monica y MATA, Diego. 2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica ( CE ) en los sustratos para plantas. p. 11.

CABOS SÁNCHEZ, Jeisson. 2014. Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. p. 40.

CANCELIER, Adriano, PATRÍCIA, Ubiridiana, SOTO, Dal, COSTELLI, Murilo Cesar, LOPES, Toni Jefferson y SILVA, Adriano. 2015. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. *Eng Sanit Ambient*, vol. 20, p. 209-217. DOI 10.1590/S1413-41522015020000101264.

COOPERATIVE FOR ASSISTANCE AND RELIEF EVERYWHERE PERÚ. Instalación y uso de biogás. Ganadería Puneña, generando energía limpia «biogás» para calefacción y cocina familiar. Primera Ed. Lima: Balcari Editores SAC., 2016. p. 17.

CEDEÑO, Roxy y ALCÍVAR, Colon. 2013. Bioestimulante a base de compuesto rumial sobre la productividad en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L). S.I.: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. p. 77.

DÍAZ, Angela. 2017. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación en semillas. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina. p. 42-43.

DIEGO, A. 2010. Diseño y construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo Pistón que trate los Residuos generados en una explotación Ganadera de la Localidad De Loja Empleando Tecnologías Apropriadas. *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica.*

DURAN, F. 2004. Manual de cultivos orgánicos y alelopatía.

ECOREGA. Sistemas de gestión de los residuos orgánicos en las explotaciones ganaderas. Santiago de Compostela: Unións Agrarias - UPA. 2011. p. 51.

EL COMERCIO. 2014. Perú ratificó la enmienda al Protocolo de Kioto. Lima, septiembre 2014. pp. 1.

EL PERUANO. 2014. Disponen la publicación del Proyecto de la “Estrategia

Nacional ante el Cambio Climático”, en el portal web del Ministerio del Ambiente. *Normas Legales*. Lima, julio 2014. pp. 2.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. [FNR]. 2010. Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso. Alemania: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit Mark. pp. 249.

FAO. Manual del Biogás. Chile: Rem. Santiago de Chile: La Agricultura, Global Environment Facility. 2011.

FAO. Residuos agrícolas y residuos ganaderos. S.I.: Ministerio Federal Alemán de Alimentación y Agricultura. 2014. p. 9.

FERNÁNDEZ ROMERO, Vadick. 2016. Diseño del Sistema de Biodigestión e instalaciones en el Centro de Beneficio Frigorífico Manu E.I.R.L.Perú. 4p.

FERNANDEZ, Vadick, RODRÍGUEZ, Liset y AQUINO, Nohemi. 2014. Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios. , vol. 4.

FERRER, Ivet, UGGETTI, Enrica, POGGIO, Davide y VELO, Enric. 2008. Producción de Biogás a partir de residuos organicos en Biodigestores de bajo coste. *Researchgate.Net*, pp. 7. ISSN 0169-2070. DOI 10.1016/j.intcom.2005.06.005.

FUNDACIÓN ENERGÍA SIN FRONTERAS. 2012 Biomasa y desarrollo: Oportunidades de la biomasa para mejorar el acceso local a la energía en comunidades rurales aisladas de América Latina. 1ra edició. Madrid: Gráficas Áncora, S.A.. p.112.

GARCÉS, Luz; GUTIERREZ, Paula; REYES, Jenny. 2014. Producción de Biogás a partir de residuos agrícolas.

GÓMEZ, Diana; RUALES, Jorge ; GUACHAGMIRA, Robinson; ROBALINO, Luis. 2010 Biodigestores: Experiencia Biodigestores, tecnología limpiapara mitigar el cambio climático. Primera ed. Ibarra: Identidad Gráfica®,. p. 38.

- GONZÁLEZ, José. 2013. Alternativas para la reducción de emisiones de metano. *CEGESTI*, vol. 246, pp. 1-4.
- GREENPEACE. 2005. Recomendaciones para un tratamiento Ambientalmente Saludable de los Residuos Orgánicos. .
- GUASUMBA, José. 2009. Generación rápida de biogás, como alternativa energética promisoría.
- HERNANDEZ, Roberto, MENDEZ, Sergio, MENDOZA, Christian y CUEVAS, Ana. 2017, Fundamentos de investigación. México: p. 265.
- HERRERO, M. 2008. Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica*. La Paz: s.n., pp. 3-26. pp. 3-26.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE. 2007 Biomasa Digestores anaerobios. Madrid - España: s.n.. 48. ISBN 9788496680210
- Instituto Nacional de Estadística E Informática, INEI. 2013. Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012. . Lima: p.4.
- INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. 1983. Manual de construcción y operación planta económica de biogás. Costa Rica: Proyecto de leña y fuentes alternas de energía. ISBN 1148
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2004. *Norma Chilena de Compost 2880-2004 (NCh 2880-2004). Compost -Clasificación y Requisitos*.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS [ICMSF ]. 1983 Ecología Microbiana de Los Alimentos. Volumen 2. España: Editorial Acribia, S.A.. 657. ISBN 8420005525

- ISO 11885. 2007. *Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*. 2007. Switzerland: 11885.
- MATA-ALVAREZ, J., DOSTA, J., ROMERO-GÜIZA, M., FONOLL, X., PECES, M. y ASTALS, S. 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 36, pp. 412–427.
- MEDINA, Alicia, QUIPUZCO, Lawrence y JUSCAMAITA, Juan. 2015. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, vol. 76, n°.1, pp. 116-124. ISSN 2519-7398. DOI 10.21704/ac.v76i1.772.
- NMX-AA-008-SCFI-2011. 2011. *Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba - (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000)*. México, D.F.
- NMX-AA-034-SCFI-2001, 2001. *Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a las NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)*.
- NOM-021-RECNAT-2000, 2002. *Norma Oficial Mexicana Nom-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. México: Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.
- NORMA MEXICANA (NMX-FF-109-SCFI). 2008. *Humus de lombriz (Lombricomposta-especificaciones y método de prueba)*. 2008. México.
- NUSRAT, Jahan y DIDO, Mann. 2014. Biogas production potencial from municipal organic wastes in Dhaka city, Bangladesh. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, num. 1, pp. 453 – 460. DOI 2319-1163.
- PANTOJA CABRERA, Nectario Arley y PARRA PAZ, Ángela Sofía. 2017.

Obtención de biogás a partir de estiércol de cerdo utilizando un biodigestor tipo tubular. *Libros Editorial UNIMAR*, pp. 378-395.

PEREZ MEDEL, Javier. 2010. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros: Universidad de Chile. p. 8.

PONTÓN SIGCHA, Rubén Darío. 2010. Diseño de un sistema para la obtención de biol mediante los residuos sólidos orgánicos generados en el catón Joya de los Sachas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE. 2016 Residuos ganaderos. Mundiprens. Madrid - España.

RUIZ BASTIDAS, Rosa. 2017. Aprovechamiento del estiércol bovino generado en el municipio de Cumbal-Nariño para obtener energía renovable mediante digestión anaerobia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. p. 129.

SADZAWKA, A., MA., Carrasco, GREZ, R. y MORA, ML. 2004 Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, p. 113.

SANCHEZ DE ROJAS, Isabel, DE LUXAN, Pilar y FRIAS, Moises. 1986. La espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. *Materiales de Construcción*, vol. 36, no. 202, pp. 31-46. ISSN 0465-2746. DOI 10.3989/mc.1986.v36.i202.896.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (SMEWW);, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA);, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); y WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). 2012. pH Value. Electrometric Method. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd Ed. Washington: Part 4500-H+ B,

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (SMEWW), AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures (PROPOSED). Escherichia coli Test (Indole Production). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 nd Ed. Washington.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (SMEWW), AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). 2017a. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Ed. Washington.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (SMEWW), AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). 2017b. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Ed. Washington: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

TEJEDO, Evans y YOPÁN, Edwin. 2014. Rendimiento de biogas como combustible en un grupo electrógeno de 1 KW. Fundo San Isidro, Colcamar. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

TOALA MOREIRA, Edwin Eyner. 2013. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. p. 5-28.

- UPME, IDEAM y COLCIENCIAS. 2014. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Editorial Cambridge University Press pp. 1-30
- VALDEZ LLANTOY, Bladimir. 2016. Evaluación de la calidad de biogás y biol producido en biodigestores usando excretas de animales del Parque zoológico de Huachipa. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina. p.173.
- VARNERO, M.T. 1991 Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. p. 48.
- VARNERO MORENO, María Teresa. 2011 Manual del Biogás. Chile: Rem. Santiago de Chile: ntación y la Agricultura, Global Environment Facility,.
- VERA, Ivan; MARTINEZ, José; ESTRADA, Melitón; ORTIZ, Agustina. 2014. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I : excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XV, no. 3, pp. 429-436. DOI 1405-7743 FI-UNAM.
- YAUYO RAMOS, Luz. 2016. Elaboración de un biodigestor piloto tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la Asociación Agropecuaria Los Lúcumos de Pachacamac. S.I.: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. p. 131.
- ZAMBRANO DÍAZ, Marisol. 2016. Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molinba. p. 135.
- ZARKADAS, I., SOFIKITI, A., VOUDRIAS, E. y PILIDIS, G. 2015. Thermophilic anaerobic digestion of pasteurised food wastes and dairy cattle manure in batch and large volume laboratory digesters: Focussing on mixing ratios. *Renewable Energy*, vol. 80, pp. 432–440.



## ANEXOS

### ANEXO 1. Matriz consistencia

**Tabla 48.** Matriz de consistencia del informe de tesis “Evaluación de la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio frigorífico Manu EIRL. de Puerto Maldonado en Madre de dios 2016”

<b>Problema General :</b>	<b>Objetivos:</b>	<b>Marco Teórico Conceptual.</b>	<b>Hipótesis.</b>	<b>Variables e Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
<p>¿Cómo será la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>P-1.- ¿Cuál será la calidad y el nivel de producción de biogás a partir de los residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino generados en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado en Madre De Dios 2016.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la calidad y el nivel de producción de biogás a partir de los residuos orgánicos de ganado vacuno y</li> </ul>	<p>Antecedentes de la Investigación Fernandez, Rodríguez, Aquino (2014), investigaron el aprovechamiento de residuos orgánicos de la actividad pecuaria, mediante la instalación de un reactor tubular de geo-membrana de PVC de 10m<sup>3</sup> con capacidad de reserva de 5m<sup>3</sup> para el gas metano (CH<sub>4</sub>) generado por la descomposición anaeróbica de estiércol de ganado bovino y porcino para la generación de biogás y biol, y concluyeron que en condiciones ambientales, de la región de Madre de Dios se puede generar gas metano con combustión completa a partir del día 10 en porcinos y 12 en bovinos, además</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La producción de energía renovable utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL. de la ciudad de Puerto Maldonado será efectiva.</p> <p><b>Hipótesis alterna</b></p> <p><b>H<sub>i</sub>:</b> La producción de biogás a partir de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino del centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL es alta.</p> <p><b>Hipótesis nula</b></p> <p><b>H<sub>0</sub>:</b> La producción de biogás a partir de desechos orgánicos</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Desechos orgánico de vacuno y porcino</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Sólidos totales</li> <li>• Sólidos volátiles</li> <li>• Materia orgánica</li> <li>• Cenizas</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Energía renovable (biogás)</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> </ul>	<p>El proyecto tendrá los componentes:</p> <p>Por cada animal que se beneficia en el centro de beneficio Manu E.I.R.L se extraerá estiércol de la siguiente forma una vez que lo animales son beneficiados se les extrae el estómago seguido del colon para la extracción del estiércol para así depositarlo en el biodigestor de geo membrana y de igual manera en el caso de los porcinos una vez que estos animales ya sean beneficiado</p> <p>Para la construcción e instalación de un biodigestor tubular de geomembrana de PVC y el posterior uso de combustible y fertilizante orgánico generado a partir del</p>

<p>P-2.- ¿Será posible desarrollar un modelo sostenible a pequeña escala basado en las tecnologías existentes de Digestión Anaerobia?</p> <p>P-3.- ¿Qué propiedades fisicoquímicas se dan en la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino generados en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado?</p> <p>P-4.- ¿Cuál será la calidad de producción de biogás con la combinación de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio?</p> <p>P-5.- ¿Cuál será la calidad del biol obtenido como subproducto del proceso?</p>	<p>porcino generados en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un modelo sostenible a pequeña escala basado en las tecnologías existentes de Digestión Anaerobia.</li> <li>• Determinar los parámetros fisicoquímicos durante la producción del biogás.</li> <li>• Evaluar la calidad de producción de biogás con la combinación de residuos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y carbonato de sodio.</li> <li>• Evaluar la calidad del biol obtenido como subproducto del proceso.</li> </ul>	<p>recomendaron plantear la implementación de tecnologías de manejo de residuos sólido en centros pecuarios para la generación de energías renovables.</p>	<p>de ganado bovino y porcino del centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL es baja.</p> <p><b>Hipótesis derivadas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La calidad y nivel de producción de biogás del total de residuos orgánicos a partir de los residuos orgánicos de ganado vacuno y porcino generados en el centro de beneficio Frigorífico Manu EIRL de Puerto Maldonado es buena.</li> <li>• El modelo sostenible a pequeña escala basado en las tecnologías existentes de Digestión Anaerobia es aplicable.</li> <li>• Los parámetros fisicoquímicos que se dan durante la producción del biogás son óptimos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color de la llama</li> <li>• pH</li> <li>• Metano (CH<sub>4</sub>)</li> <li>• Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</li> </ul>	<p>mismo se plantea el siguiente Plan de Operaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Construcción de las instalaciones donde se ubicará el Biodigestor Tubular de Geomembrana de 10m<sup>3</sup> de capacidad.</li> <li>▪ Preparación de cama para el reactor</li> <li>▪ Instalación del reactor de Geomembrana. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Inflado de reactor.</li> <li>b) Ubicación del reactor.</li> <li>c) Instalación de entrada y salida de sólidos.</li> <li>d) Instalación de salida de gas.</li> <li>e) Instalación de válvula de seguridad.</li> </ul> </li> <li>▪ Construcción de techo de Módulo <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Instalación y techado</li> </ul> </li> <li>▪ Instalación de Gaseoducto. <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Realización de pruebas de seguridad.</li> </ul> </li> <li>▪ Instalación de Reservorio de gas. <ul style="list-style-type: none"> <li>b) Realización de pruebas de seguridad.</li> </ul> </li> <li>▪ Instalación de quemadores y lámparas a gas.</li> <li>▪ Carga del reactor con la solución de sólidos</li> </ul>
--	--	--	--	---	--

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• La combinación de desechos orgánicos de ganado bovino y porcino con urea y bicarbonato de sodio aumenta la calidad de producción de biogás.</li> <li>• El biol obtenido como subproducto del proceso es una posible fuente de fertilizante orgánico</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Primera carga de biodigestor.</li> <li>b) Carga diaria del reactor</li> <li>▪ Construcción de cerco de seguridad y protección</li> <li>▪ Utilización del combustible generado en el reactor</li> <li>▪ Encendido de quemadores y lámparas a gas.</li> <li>▪ Utilización del abono orgánico</li> <li>▪ Colección de efluentes generados dentro del reactor.</li> <li>▪ Utilización de abono orgánico</li> <li>▪ Recopilación de Datos diarios por un periodo de 120 días</li> <li>▪ Tabulación de datos obtenidos</li> <li>▪ Interpretación de datos y variables de:             <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Gas metano</li> <li>b) Biol</li> <li>c) Temperatura</li> <li>d) Tiempo de Retención</li> </ul> </li> </ul>
--	--	--	---	--	--

## Anexo 2: Solicitud de autorización para realización de estudio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**  
Decanatura de la Facultad de Ingeniería  
"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

---

**RESOLUCIÓN DE DECANATURA N° 340-2017-UNAMAD-DFI**

Puerto Maldonado, 08 de septiembre de 2017

**VISTO**

El Memorando N° 808-2017-UNAMAD-R-VRA-DFI, de fecha 08 de septiembre de 2017; Exp. N°2596, de fecha 06 de septiembre de 2017; Informe N°001-2017-UNAMAD/FI-GAA-CAHL-WCC, de fecha 05 de septiembre de 2017; Estatuto de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, y;

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Ley N° 27297, de fecha 05 de julio del año 2000, se crea la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Que, el **Artículo 8** la Ley Universitaria N° 30220 indica; "El estado reconoce la autonomía universitaria. La autonomía inherente a las universidades se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución Política del Perú, la presente ley y demás normativa aplicable".

Que, mediante el **Artículo 17** del Estatuto de la UNAMAD indica; "las Facultades de la UNAMAD son las unidades de formación académica, profesional y de gestión. Propician la investigación, la proyección social, extensión cultural y universitaria. Están integrada por Docentes y estudiantes. Gozan de autonomía académica y administrativa en los asuntos de su competencia dentro de la Ley y del Estatuto.

Que, mediante Resolución N° 292-2010-CU de fecha 11 de octubre del 2010, se aprueba el Reglamento Académico de la UNAMAD, señalando en el artículo 158° que una de las modalidades para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios es por Tesis Profesional.

Que, mediante Resolución de Consejo de la Comisión de Orden y Gestión N° 038 – 2012 –UNAMAD-CO y G, de fecha 27 de enero del 2012, se aprueba el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. .

Que, el **Artículo 26** del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, establece que; dentro de la Modalidad "A" exige; Primero: La elaboración y aprobación de un proyecto de investigación, asimismo, el Artículo 29° establece que quien opte por esta modalidad debe presentar, a partir del último semestre de estudios de su carrera, un proyecto de investigación por cuadruplicado, según modelo aprobado por cada Facultad, el cual es flexible, con el visto bueno del asesor de tesis propuesto por el estudiante, solicitando al Decano de la Facultad la revisión del proyecto. El Decano designa una comisión Revisora Ad Hoc, integrado por tres docentes especialistas y le remite el proyecto de investigación para revisión.

Que, el **Artículo 31** del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, establece que; con el informe favorable de la Comisión Revisora Ad hoc el Decano emitirá la resolución aprobando el proyecto de investigación. En el libro de Proyectos de Investigación de la Facultad se registrara el título, el nombre del autor y del asesor, el número de la resolución.

Que, el **Artículo 32**, del mismo cuerpo normativo indica: Emitida la resolución de Decanatura, el estudiante procederá a desarrollar su proyecto de investigación de tesis en un tiempo mínimo de sesenta (60) días hábiles y máximo de un año.

Que, mediante Resolución de Decanatura N° 215-2017-UNAMAD-DFI, de fecha 19 de junio de 2017, se reconfirma la Comisión Revisora Ad-Hoc para la revisión del Proyecto de Investigación de Tesis intitulado "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO Y PORCINO EN EL CENTRO DE BENEFICIO FRIGORÍFICO MANU EIRL. DE PUERTO MALDONADO EN MADRE DE DIOS 2016", presentado por **Jonatán Cáceres Jurado**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio



---

DECANATURA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
Av. Jorge Chávez N° 1160 - Ciudad Universitaria - Puerto Maldonado  
082-572652

Pág.: 1 de 2

Figura 47. Resolución de aprobación del proyecto de tesis, parte 1.


**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**

Decanatura de la Facultad de Ingeniería

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

**RESOLUCIÓN DE DECANATURA N° 340-2017-UNAMAD-DFI**

Puerto Maldonado, 08 de septiembre de 2017

Ambiente, la misma que está integrada por los docentes **Dr. Gabriel Alarcón Aguirre** (Presidente), **Ing. Cesar Alejandro Huisa López** (Secretario) y **M.Sc. Wilberth Caviedes Contreras** (Vocal).

Que, mediante Informe N° 001-2017-UNAMAD/FI-GAA-CAHL-WCC, de fecha 05 de septiembre de 2017, la Comisión Revisora Ad-Hoc, informa al Decano de la Facultad de Ingeniería, que el Proyecto de Investigación de Tesis intitulado "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO Y PORCINO EN EL CENTRO DE BENEFICIO FRIGORÍFICO MANU EIRL. DE PUERTO MALDONADO EN MADRE DE DIOS 2016", cumple con lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos y recomiendan su aprobación.

Que, mediante Memorando N° 808-2017-UNAMAD-R-VRA-DFI, de fecha 08 de septiembre de 2017, el Dr. Eliseo Punacallahui Salcedo, Decano de la Facultad de Ingeniería, autoriza al M.Sc. Wilberth Caviedes Contreras, Secretario Académico de la Facultad de Ingeniería, proyectar resolución de aprobación del Proyecto de Investigación de Tesis intitulado "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO Y PORCINO EN EL CENTRO DE BENEFICIO FRIGORÍFICO MANU EIRL. DE PUERTO MALDONADO EN MADRE DE DIOS 2016", presentado por el bachiller Jonatán Cáceres Jurado.

Estando dentro de las atribuciones conferidas al Decano, por la Ley Universitaria N° 30220; el Estatuto de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y en uso de las atribuciones conferidas mediante Resolución de Comité Electoral Universitario N° 015-2016-UNAMAD-CEU de fecha 28 de abril del 2016.

**SE RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO: APROBAR**, el Proyecto de Investigación de Tesis intitulado "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE GANADO VACUNO Y PORCINO EN EL CENTRO DE BENEFICIO FRIGORÍFICO MANU EIRL. DE PUERTO MALDONADO EN MADRE DE DIOS 2016", presentado Jonatán Cáceres Jurado, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

**ARTICULO SEGUNDO: DISPONER**, se notifique con la presente resolución al Asesor del proyecto de investigación de Tesis en mención, al **Ing. Mauro Vela Da-Fonseca** y al Co-Asesor el **M.Sc. Liset Rodríguez Achata**, para conocimiento y fines pertinentes.

**ARTICULO TERCERO: NOTIFICAR**, a **Jonatán Cáceres Jurado**, que su proyecto ha sido inscrito en los libros de proyectos de tesis teniendo un tiempo mínimo de sesenta (60) días y máximo de un año para su ejecución, computados a partir de la emisión de la presente resolución, tal como establece el artículo 32 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.**

 UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MDD  
 FACULTAD DE INGENIERIA

 Dr. ELISEO PUNACALLAHUI SALCEDO  
 DECANO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MDD  
 FACULTAD DE INGENIERIA

 M.Sc. Wilberth Caviedes Contreras  
 SECRETARIO ACADÉMICO

 C.c.  
 Asesor  
 Interesados  
 EPS/Decano  
 WCC/SA  
 Archivo

Pág.: 2 de 2.

 DECANATURA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
 Av. Jorge Chávez N° 1160 - Ciudad Universitaria - Puerto Maldonado  
 082-572652

Figura 48. Resolución de aprobación del proyecto de tesis, parte 2.

### Anexo 3: Ficha de validación



**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**INFORME DE ENSAYO N° 3-08667/16** Pág. 1/2

Solicitante : FERNANDEZ ROMERO, VADICK

Domicilio Legal : Mza. G Lote 6 Urb. Pioneros Cachuela – Tambopata – Tambopata – Madre de Dios

Producto Declarado : BIOL

Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 02 L.  
Muestra proporcionada por el solicitante

Forma de Presentación : En frasco de plástico, cerrado

Fecha de Recepción : 2016 – 08 – 17

Fecha de Inicio del ensayo : 2016 – 08 – 17

Fecha de Término del ensayo : 2016 – 08 – 27

Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología

Identificado con : H/S 16013123 (EXAG-17387-2016)

Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

---

**Metales totales por ICP-MS:**

Ensayos	Resultados
Litio (mg/kg) (LD: 0,025 mg/kg)	< 0,025
Berilio (mg/kg) (LD: 0,015 mg/kg)	< 0,015
Aluminio (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	0,6754
Titanio (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Vanadio (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Cromo (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Cobalto (mg/kg) (LD: 0,030 mg/kg)	< 0,030
Niquel (mg/kg) (LD: 0,035 mg/kg)	< 0,035
Arsénico (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Selenio (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Estroncio (mg/kg) (LD: 0,045 mg/kg)	0,8606
Molibdeno (mg/kg) (LD: 0,020 mg/kg)	< 0,020
Plata (mg/kg) (LD: 0,005 mg/kg)	< 0,0050
Cadmio (mg/kg) (LD: 0,020 mg/kg)	< 0,020
Estaño (mg/kg) (LD: 0,025 mg/kg)	< 0,0250
Antimonio (mg/kg) (LD: 0,020 mg/kg)	< 0,020
Bario (mg/kg) (LD: 0,015 mg/kg)	0,9056
Mercurio (mg/kg) (LD: 0,010 mg/kg)	< 0,010
Talio (mg/kg) (LD: 0,025 mg/kg)	< 0,0250
Piomo (mg/kg) (LD: 0,020 mg/kg)	< 0,020
Bismuto (mg/kg) (LD: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Uranio (mg/kg) (LD: 0,005 mg/kg)	< 0,0050

LD: Límite de detección



CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000  
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE  
Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
T. (043) 311 048

PIURA  
Urb. Angamos IE Av. Panamericana  
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura  
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 49. Resultados de metales totales del tratamiento 1.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.

**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**INFORME DE ENSAYO N° 3-08667/16**

Pág. 2/2

**Análisis Microbiológico:**

Ensayos	Resultados
Coliformes totales (NMP/100g)	170 000
Coliformes termotolerantes (NMP/100g)	170 000
Escherichia coli (NMP/100g)	1 700
Salmonella (25g)	Ausencia

**Métodos:**  
**Metales totales por ICP-MS:** Litio, Berilio, Aluminio, Titanio, Vanadio, Cromo, Cobalto, Niquel, Arsénico, Selenio, Estroncio, Molibdeno, Plata, Cadmio, Estaño, Antimonio, Bario, Mercurio, Talio, Plomo, Bismuto, Uranio: EPA 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry.  
**Coliformes totales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 B, 22 nd Ed.2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.  
**Coliformes termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 E1, 22 nd Ed.2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium).  
**Escherichia coli:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 F1, 22 nd. Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium).  
**Salmonella:** ICMSF 2da. Ed. 1983, Vol. 1, Parte II, Pág. 172-176 Pto. 10 (a) y (c),177-178 (Trad. de la Versión Original 1978) Reimpresión 2000. Editorial Acrcbia. Salmonetas.

**OBSERVACIONES**

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 29 de Agosto de 2016  
 DV

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**

ING ROSA PALOMINO LOO  
 C.I.P. N° 40302  
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

<b>CALLAO</b> Oficina Principal Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao T. (511) 319 9000 info@cerper.com - www.cerper.com	<b>CHIMBOTE</b> Urb. José Carlos Mariátegui s/n Centro Cívico, Nuevo Chimbote T. (043) 311 048	<b>PIURA</b> Urb. Angamos IE Av. Panamericana Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura T. (073) 322 908 / 9975 63161
--	---	--

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 50. Resultados del análisis microbiológico del tratamiento 1.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.

**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**PROTOCOLO DE RESULTADOS**

<b>Solicitante</b> Fernandez Romero, Vadick <b>Domicilio Legal</b> 2016-08-17 <b>Fecha de recepción</b> 2016-08-18 <b>Fecha de inicio</b> 16013123 <b>Identificado con HIS</b>	<b>Producto:</b> Biol <b>Identificación:</b> 2016-08-16 2016-08-27 <b>Fecha de muestreo</b> 2016-08-27 <b>Fecha de término</b> Laboratorio ambiental <b>Ensayo realizado en</b>
--	--

MUESTRA	pH	°CE (dSm)	Humedad (g/100g)	Materia orgánica (g/100ml)	Nitrogeno total (g/100ml)	Relacion C/N	Fosforo (g/100ml)	Potasio (g/100ml)	Calcio (g/100ml)	Magnesio (g/100ml)	Sodio Total (g/100ml)	Azufre (g/100ml)	Boro (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cobre (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Zinc (mg/L)
Biol	6.46	4.17	99.59	0.40	0.05	4.64	0.01	0.02	0.17	0.03	0.35	0.04	3.40	19.94	3.05	5.63	5.51

Densidad: 1.00 g/ml  
\*Lectura Directa

Figura 51. Protocolo de resultados del tratamiento 1.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.

**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**INFORME DE ENSAYO N° 3-10905/16** Pág. 1/2

Solicitante : FERNANDEZ ROMERO, VADICK  
 Domicilio Legal : Mza. G Lote 6 Urb. Pioneros Cachuela – Tambopata – Tambopata – Madre de Dios  
 Producto Declarado : BIOL  
 Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 02 L.  
 Forma de Presentación : Muestra proporcionada por el solicitante  
 Fecha de Recepción : 2016 – 10 – 15  
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 – 10 – 15  
 Fecha de Término del ensayo : 2016 – 10 – 21  
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología  
 Identificado con : H/S 16016486 (EXAG-22332-2016)  
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

**Metales totales por ICP-MS:**

Ensayos	Resultados
Litio (mg/kg) (LC: 0,125 mg/kg)	< 0,025
Berilio (mg/kg) (LC: 0,075 mg/kg)	< 0,075
Aluminio (mg/kg) (LC: 0,250 mg/kg)	0,5047
Titanio (mg/kg) (LC: 0,250 mg/kg)	< 0,25
Vanadio (mg/kg) (LC: 0,250 mg/kg)	< 0,25
Cromo (mg/kg) (LC: 0,250 mg/kg)	< 0,25
Cobalto (mg/kg) (LC: 0,150 mg/kg)	< 0,15
Niquel (mg/kg) (LC: 0,175 mg/kg)	< 0,175
Arsénico (mg/kg) (LC: 0,25 mg/kg)	< 0,25
Selenio (mg/kg) (LC: 0,25 mg/kg)	< 0,25
Estroncio (mg/kg) (LC: 0,225 mg/kg)	0,9893
Molibdeno (mg/kg) (LC: 0,100 mg/kg)	< 0,1
Plata (mg/kg) (LC: 0,025 mg/kg)	< 0,025
Cadmio (mg/kg) (LC: 0,100 mg/kg)	< 0,1
Estaño (mg/kg) (LC: 0,125 mg/kg)	< 0,125
Antimonio (mg/kg) (LC: 0,100 mg/kg)	< 0,1
Bario (mg/kg) (LC: 1,398 mg/kg)	1,398
Mercurio (mg/kg) (LC: 0,050 mg/kg)	< 0,050
Talio (mg/kg) (LC: 0,125 mg/kg)	< 0,125
Piomo (mg/kg) (LC: 0,100 mg/kg)	< 0,1
Bismuto (mg/kg) (LC: 0,25 mg/kg)	< 0,25
Urano (mg/kg) (LC: 0,025 mg/kg)	< 0,025

LC: Limite de cuantificación

**LABORATORIO CERPER**

CALLAO  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000  
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE  
Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
T. (043) 311 048

PIURA  
Urb. Angamos IE Av. Panamericana  
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura  
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 52. Resultados de metales totales del tratamiento 2.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.



**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

**INFORME DE ENSAYO N° 3-10905/16**

Pág. 2/2

**Análisis Microbiológico:**

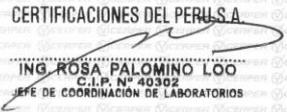
Ensayos	Resultados
Coliformes totales (NMP/100g)	490
Coliformes termotolerantes (NMP/100g)	490
Escherichia coli (NMP/100g)	490
Salmonella (/25g)	Ausencia

**Métodos:**  
**Metales totales por ICP-MS:** Litio, Berilio, Aluminio, Titanio, Vanadio, Cromo, Cobalto, Níquel, Arsénico, Selenio, Estroncio, Molibdeno, Plata, Cadmio, Estaño, Antimonio, Bario, Mercurio, Talio, Plomo, Bismuto, Uranio; EPA 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry  
**Coliformes totales:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 B, 22 nd Ed.2012, Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.  
**Coliformes termotolerantes:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22 nd Ed.2012, Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium).  
**Escherichia coli:** SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 F1; 22 nd. Ed. 2012, Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate: Escherichia coli Test (EC-MUG Medium).  
**Salmonella:** ICMSF 2da. Ed. 1983, Vol. 1, Parte II, Pág. 172-176 Pto. 10 (a) y (c),177-178 (Trad. de la Versión Original 1978) Reimpresión 2000.  
**Editorial Acarbia, Salmonelas.**

**OBSERVACIONES**  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 25 de Octubre de 2016  
 RT

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**



**ING. ROSA PALOMINO LOO**  
 C.I.P. N° 40302  
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

**CALLAO**  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
 T. (511) 319 9000  
 info@cerper.com - www.cerper.com

**CHIMBOTE**  
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
 T. (043) 311 048

**PIURA**  
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana  
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura  
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 53. Resultados del análisis microbiológico del tratamiento 2.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.



**CERPER**  
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

### INFORME DE ENSAYO N° 3-13366/16

**Solicitante:** FERNANDEZ ROMERO, VADICK  
Mza. G Lote 6 Urb. Pioneros Cañahuella -  
Tambopata - Tambopata - Madre de Dios

**Domicilio Legal:** 2016-10-12

**Fecha de recepción:** 2016-10-13

**Fecha de inicio:** 16016486 (EXAG-22332-2016)

**Identificado con H/S:**

**Producto:** Biol

**Identificación:** 2016-10-11

**Fecha de muestreo:** 2016-10-24

**Fecha de término:**

**Ensayo realizado en:** Laboratorio ambiental

**Relacion CN:** 0,14

**Nitrogeno total (g/100ml):** 1,03

**Materia organica (g/100ml):** 0,25

**Humedad (g/100g):** 99,92

**°C.E (dSm):** 5,30

**pH:** 6,95

MUESTRA	pH	°C.E (dSm)	Humedad (g/100g)	Materia organica (g/100ml)	Nitrogeno total (g/100ml)	Relacion CN	Fosforo (g/100ml)	Potasio (g/100ml)	Calcio (g/100ml)	Magnesio (g/100ml)	Sodio total (g/100ml)	Azufre total (g/100ml)	Boro (mg/L)	Hierro (mg/L)	Cobre (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Zinc (mg/L)
Biol	6,95	5,30	99,92	0,25	1,03	0,14	0,02	0,03	0,05	0,01	0,08	0,01	2,54	42,23	1,31	4,73	5,96

**Métodos:**  
 pH: SMEWW/AFHA-AWWA-WEF Part 4500-H<sub>+</sub> B, 22 nd Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method.  
 Conductividad Eléctrica: NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.2.5 Especificaciones de Fertilidad, Salud y Clasificación de Suelos. Estudio, Muestreo y Análisis.  
 Materia Orgánica: NOM 021-RECNAT-2000 sección 7.1.7 Especificaciones de Fertilidad, Salud y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis.  
 Nitrogeno: SMEWW 21 th Ed. 2005 Part. 4500-N org-B. APHA-AWWA-WEF Nitrogen Organic Micro-Kjeldahl Method.  
 Fósforo, Azufre, Potasio, Calcio, Boro, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso: ISO 11885, 2007. Water Quality Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).  
 Humedad: Comisión de Normalización y acreditación sociedad chilena de la ciencia del suelo 2004. Método de análisis recomendado para los suelos chilenos.  
 2. Contenido de agua 2.1 Pérdida de masa a 105°C

**CALLAO**  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000  
info@cerper.com - www.cerper.com

**CHIMBOTE**  
Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
T. (043) 311 048

**PIURA**  
Urb. Angamos IE Av. Panamericana  
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura  
T. (073) 322 908 / 9975 63161

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**

**ING. ROSA PALOMINO LOO**  
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Figura 54. Protocolo de resultados del tratamiento 2.

Fuente: Certificaciones del Perú S.A., 2016.

#### Anexo 4: Registro fotográfico de la secuencia de la investigación



**Foto 01:** Limpieza del terreno para la implementación del sistema de biodigestión.

Fuente: Toma directa.



**Foto 02:** Mediciones en el terreno.

Fuente: Toma directa.



**Foto 03:** Mediciones de los lechos para el reactor de geomembrana.

Fuente: Toma directa.



**Foto 04:** Excavaciones para la construcción de los lechos.

Fuente: Toma directa.

6



**Foto 05:** Construcción del sistema de biodigestión.

Fuente: Toma directa.



**Foto 06:** Sistema de biodigestión implementado.

Fuente: Toma directa.



**Foto 07:** Vaciado de estiércol.

Fuente: Toma directa.



**Foto 08:** Ajuste de las tuberías en el sistema.

Fuente: Toma directa.



**Foto 09:** Colocación de tanques.

Fuente: Toma directa.



**Foto 10:** Reactores de geomembrana.

Fuente: Toma directa.



**Foto 11:** Montaje de Sistema de biodigestión en el centro frigorífico.

Fuente: Toma directa.



**Foto 12:** Mezcla del estiércol.

Fuente: Toma directa.



**Foto 13:** Preparación de la muestra para determinar el pH.

Fuente: Toma directa.



**Foto 14:** Medición del pH.

Fuente: Toma directa.



**Foto 15:** Equipo para la medición del pH.

Fuente: Toma directa.



**Foto 16:** Medición de la conductividad eléctrica.

Fuente: Toma directa.



**Foto 17:** Muestra de la mezcla 2

Fuente: Toma directa.



**Foto 18:** Pesado del crisol para prueba de sólidos totales.

Fuente: Toma directa.



**Foto 19:** Prueba de sólidos totales.

Fuente: Toma directa.



**Foto 20:** Determinación del porcentaje de metano.

Fuente: Toma directa.



**Foto 21:** Llama del biogás del tratamiento 2.

Fuente: Toma directa.



**Foto 22:** Determinación del color de la llama.

Fuente: Toma directa.