

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor Batch en Sicaya - 2021**

Ericka Medalit Curilla Egoavil  
Magaly Pamela Diego Flores

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Dr. Ing. Andrés Alberto Azabache Leyton

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental sede Huancayo, por acogernos durante los cinco años de estudios superiores y por los nuevos conocimientos adquiridos de los profesionales capacitados que la conforman.

A nuestros familiares, por el apoyo y motivación que nos brindaron para lograr nuestra titulación como Ingenieras Ambientales.

A nuestro asesor de tesis, Dr. Andrés Alberto Azabache Leyton, quien nos brindó el apoyo incondicional en el seguimiento y sugerencias desde el primer día en que se decidió realizar la presente investigación hasta lograr la titulación respectiva.

Al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el servicio de análisis de pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica, humedad, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) del estiércol de vacuno, así como del biol y el bioabono.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos nuestra investigación en primer lugar a Dios, por darnos salud, por la compañía en cada paso que dimos y por las fuerzas brindadas en los momentos difíciles para lograr una de nuestras metas, como lo es titularnos como Ingenieras Ambientales.

A nuestros padres, por ser la inspiración para seguir cada día ya que sin ellos no hubiera sido posible concluir nuestros estudios; por sus palabras de motivación en todo momento y por enseñarnos a ser responsables, respetuosas, empáticas, honestas y a ser perseverantes.

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.2.1. Problema general.....	3
1.1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación .....	4
1.3.2. Importancia .....	5
1.4. Hipótesis y variables .....	5
1.4.1. Hipótesis nula .....	5
1.4.2. Hipótesis alterna .....	5
1.4.3. Hipótesis específicas.....	5
1.4.4. Descripción de variables .....	6

<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1. Antecedentes encontrados en tesis .....	8
2.1.2. Antecedentes encontrados en artículos de investigación .....	13
2.2. Bases teóricas .....	17
2.2.1. Fundamentos teóricos de la digestión anaeróbica .....	17
2.2.2. Clasificación de los biodigestores anaeróbicos .....	20
2.2.2.1. Biodigestores tipo Batch .....	20
2.2.2.2. Biodigestores tubulares o taiwaneses.....	21
2.2.2.3. Biodigestores chinos o rígidos.....	21
2.2.2.4. Biodigestor indiano .....	22
2.2.2.5. Biodigestores horizontales.....	22
2.2.3. El lactosuero .....	22
2.2.4. Productos finales de la digestión anaerobia .....	24
2.3. Definición de términos .....	26
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....	27
3.1. Método y alcance de la investigación.....	27
3.1.1. Método de la investigación.....	27
3.1.2. Tipo de la investigación .....	27
3.1.3. Nivel de la investigación .....	27
3.2. Diseño de la investigación .....	28
3.3. Construcción del biodigestor .....	28
3.4. Conducción experimental .....	29
3.5. Población y muestra .....	31
3.5.1. Población .....	31
3.5.2. Muestra.....	31
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	31
3.6.1. Técnicas.....	31

3.6.2.	Instrumentos .....	31
3.7.	Instalación del experimento .....	31
3.8.	Evaluaciones del experimento.....	33
3.9.	Técnicas de análisis de datos .....	35
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>36</b>
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	36
4.1.1.	Producción de biogás .....	36
4.1.2.	Características del bioabono.....	38
4.1.2.1.	pH.....	38
4.1.2.2.	Conductividad Eléctrica (CE).....	40
4.1.2.3.	Contenido de materia orgánica (%).....	42
4.1.2.4.	Contenido de nitrógeno (N) (%).....	44
4.1.2.5.	Contenido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%) .....	45
4.1.2.6.	Contenido de potasio (K <sub>2</sub> O) (%) .....	47
4.1.2.7.	Contenido de calcio (CaO) (%).....	49
4.1.2.8.	Contenido de magnesio (MgO) (%).....	51
4.1.2.9.	Contenido de sodio (Na) (%) .....	52
4.1.2.10.	Contenido de humedad (%).....	54
4.1.3.	Características del biol .....	56
4.1.3.1.	pH.....	56
4.1.3.2.	Conductividad Eléctrica (CE).....	58
4.1.3.3.	Contenido de material orgánica (g.L <sup>-1</sup> ) .....	60
4.1.3.4.	Sólidos totales disueltos (g/L).....	61
4.1.3.5.	Contenido de nitrógeno (mg.L <sup>-1</sup> ).....	63
4.1.3.6.	Contenido de fósforo (mg.L <sup>-1</sup> ).....	65
4.1.3.7.	Contenido de potasio (mg.L <sup>-1</sup> ) .....	66
4.1.3.8.	Contenido de calcio (mg.L <sup>-1</sup> ).....	68
4.1.3.9.	Contenido de magnesio (mg.L <sup>-1</sup> ) .....	70

4.1.3.10. Contenido de sodio (mg.L <sup>-1</sup> ) .....	72
4.2. Discusión de resultados.....	73
<b>CONCLUSIONES</b> .....	78
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	79
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	80
<b>ANEXOS</b> .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Conducción experimental.....	30
Figura 02. Ubicación del experimento.....	32
Figura 03. Método desplazamiento de agua.....	34
Figura 04. Muestras de biol.....	34
Figura 05. Muestra del bioabono.....	35
Figura 06. Prueba de Kruskal-Wallis para la producción acumulada de biogás.....	38
Figura 07. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de nitrógeno.....	45
Figura 08. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de potasio.....	49
Figura 09. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de humedad.....	56
Figura 10. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del biol.....	58
Figura 11. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de sodio.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables.....	6
Tabla 02. Características generales del biogás.....	19
Tabla 03. Propiedades químicas del bioabono.....	25
Tabla 04. Variables fisicoquímicas establecidas por normas técnicas internacionales para bioabono.....	25
Tabla 05. Tratamientos del estudio.....	28
Tabla 06. Descripción de materiales empleados en la construcción del biodigestor.....	29
Tabla 07. Análisis del bioabono.....	32
Tabla 08. Análisis del biol.....	33
Tabla 09. Resultados de la producción acumulada de biogás (mL).....	36
Tabla 10. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la producción de biogás.....	37
Tabla 11. Resultados del pH del bioabono.....	38
Tabla 12. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH del bioabono.....	39
Tabla 13. Análisis de varianza del pH.....	40
Tabla 14. Resultados de la CE del bioabono ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).....	40
Tabla 15. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la CE.....	41
Tabla 16. Análisis de varianza de la CE.....	41
Tabla 17. Resultados del contenido de materia orgánica.....	42
Tabla 18. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de materia orgánica.....	43
Tabla 19. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica.....	43
Tabla 20. Resultados del contenido de nitrógeno (N).....	44
Tabla 21. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de N.....	44
Tabla 22. Resultados del contenido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).....	46
Tabla 23. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de $\text{P}_2\text{O}_5$ .....	46
Tabla 24. Análisis de varianza del contenido de fósforo.....	47
Tabla 25. Resultados del contenido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ).....	47
Tabla 26. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de $\text{K}_2\text{O}$ .....	48
Tabla 27. Resultados del contenido de calcio ( $\text{CaO}$ ).....	49
Tabla 28. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de $\text{CaO}$ .....	50
Tabla 29. Análisis de varianza del contenido de calcio.....	50
Tabla 30. Resultados del contenido de magnesio ( $\text{MgO}$ ).....	51
Tabla 31. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de $\text{MgO}$ .....	52
Tabla 32. Análisis de varianza del contenido de magnesio.....	52

Tabla 33. Resultados del contenido de sodio (Na).....	53
Tabla 34. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de Na.....	53
Tabla 35. Análisis de varianza del contenido de sodio.....	54
Tabla 36. Resultados del contenido de humedad (%).....	54
Tabla 37. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de humedad.....	55
Tabla 38. Resultados del pH del biol.....	56
Tabla 39. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH del biol.....	57
Tabla 40. Resultados de la CE del biol (dS.m <sup>-1</sup> ).....	58
Tabla 41. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la CE.....	59
Tabla 42. Análisis de varianza de la CE.....	59
Tabla 43. Resultados del contenido de materia orgánica.....	60
Tabla 44. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de materia orgánica.....	61
Tabla 45. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica.....	61
Tabla 46. Resultados del contenido de sólidos totales disueltos (g/L).....	62
Tabla 47. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de sólidos totales disueltos.....	62
Tabla 48. Análisis de varianza de sólidos totales disueltos.....	63
Tabla 49. Resultados del contenido de nitrógeno en biol.....	63
Tabla 50. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) el para contenido de N.....	64
Tabla 51. Análisis de varianza de nitrógeno total.....	64
Tabla 52. Resultados del contenido de fósforo.....	65
Tabla 53. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de fósforo.....	66
Tabla 54. Análisis de varianza del contenido de fósforo.....	66
Tabla 55. Resultados del contenido de potasio.....	67
Tabla 56. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de potasio.....	67
Tabla 57. Análisis de varianza del contenido de potasio.....	68
Tabla 58. Resultados del contenido de calcio.....	68
Tabla 59. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de calcio.....	69
Tabla 60. Análisis de varianza del contenido de calcio.....	69
Tabla 61. Resultados del contenido de magnesio.....	70
Tabla 62. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de magnesio.....	71
Tabla 63. Análisis de varianza del contenido de magnesio.....	71
Tabla 64. Resultados del contenido de sodio.....	72
Tabla 65. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de sodio.....	72

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación titulado “Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor Batch en Sicaya - 2021”, se tiene como objetivo general determinar el efecto del lactosuero en la producción del biogás, bioabono y biol, en un biodigestor Batch en Sicaya. En la investigación se empleó el diseño experimental para cuatro tratamientos con tres repeticiones y con diferentes dosis de suero de 0, 100, 150 y 200 mL, que fueron mezclados en 3 litros de agua y 3 kg de estiércol con una relación de 1:1 en biodigestores tipo Batch (baldes de 8 litros) los cuales se instalaron en un invernadero acondicionado en el distrito de Sicaya. Los resultados de la producción de biogás mostraron que en el cuarto tratamiento se produjo la mayor cantidad de biogás con un promedio de 30.67 mL, evidenciándose el efecto de la dosis de 200 mL de lactosuero en 21 días de tiempo de retención; para la medición del biogás se utilizó el método de desplazamiento de agua que consiste en introducir la probeta en un recipiente con agua y dentro de la probeta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior. El bioabono presentó un pH promedio de 7.0, conductividad eléctrica (CE) de  $5.762 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 71.674 % de materia orgánica, 2.32 % de N, 1.918 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 0.760 % de  $\text{K}_2\text{O}$ , 5.203 % de  $\text{CaO}$ , 1.078 % de  $\text{MgO}$  y 0.138 % de Na, sin diferencias significativas entre los tratamientos. El nitrógeno (N) fue significativamente superior en el tratamiento con 150 mL de lactosuero, el potasio ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en el tratamiento 200 mL fue sobresaliente y la humedad fue significativamente superior con la dosis de 100 mL de lactosuero. El biol tuvo el pH significativamente más alto sin lactosuero con un promedio de 6.150, la CE promedio fue de  $10.92 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $19.188 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de materia orgánica,  $27.458 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de sólidos totales disueltos,  $1\,385.417 \text{ mg N}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $318.987 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $934.750 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $62.576 \text{ mg Ca}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $85.548 \text{ mg Mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $174.749 \text{ mg Na}\cdot\text{L}^{-1}$ , sin diferencias significativas entre los tratamientos.

**Palabras clave:** lactosuero, biodigestor, biodigestión, biogás, bioabono, biol.

## ABSTRACT

In the present research work entitled "Effect of whey on biogas production and the characteristics of biofertilizer and biol using cattle manure in a Batch biodigester in Sicaya - 2021", the general objective is to determine the effect of whey on biogas production. of biogas, biofertilizer and biol, in a Batch biodigester in Sicaya. In the investigation, the experimental design was used for four treatments with three repetitions and with different doses of serum of 0, 100, 150 and 200 mL, which were mixed in 3 liters of water and 3 kg of manure with a ratio of 1:1 in Batch-type biodigesters (8 liter buckets) which were installed in a conditioned greenhouse in the district of Sicaya. The results of biogas production showed that in the fourth treatment the largest amount of biogas was produced with an average of 30.67 mL, evidencing the effect of the dose of 200 mL of whey in 21 days of retention time; for the measurement of biogas, the water displacement method was used, which consists of introducing the test tube into a container with water and the gas outlet hose is placed inside the test tube up to the top. The biofertilizer presented an average pH of 7.0, electrical conductivity (EC) of 5.762 dS.m<sup>-1</sup>, 71.674 % organic matter, 2.32 % N, 1.918 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.760 % K<sub>2</sub>O, 5.203 % CaO, 1.078 % of MgO and 0.138 % of Na, without significant differences between the treatments. Nitrogen (N) was significantly higher in the treatment with 150 mL of whey, potassium (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) in the 200 mL treatment was outstanding, and moisture was significantly higher with the 100 mL dose of whey. The biol had a significantly higher pH without whey with an average of 6.150, the average EC was 10.92 dS.m<sup>-1</sup>, 19.188 g.L<sup>-1</sup> of organic matter, 27.458 g.L<sup>-1</sup> of total dissolved solids, 1 385.417 mg N.L<sup>-1</sup>, 318.987 mg P.L<sup>-1</sup>, 934.750 mg K.L<sup>-1</sup>, 62.576 mg Ca.L<sup>-1</sup>, 85,548 mg Mg.L<sup>-1</sup> and 174,749 mg Na.L<sup>-1</sup>, without significant differences between treatments.

**Keywords:** whey, biodigester, biodigestion, biogas, biofertilizer, biol.

## INTRODUCCIÓN

Existen diversas actividades económicas en el mundo, y entre la más importante se encuentra la cría de animales tales como vacunos, porcinos, cuyes entre otros. La carne de éstos es aprovechada como alimento para la población, sin embargo, en la crianza de estos animales se generan grandes cantidades de materia fecal o estiércol, lo cual viene siendo estudiado para ser utilizado como componente principal para la producción de energía renovable, no obstante, las acumulaciones del estiércol se tornan tóxicas y peligrosas, provocando daños negativos a la población y al ambiente, por lo que surge la necesidad de buscar múltiples soluciones para hacer frente esta problemática empleando alternativas como la que consiste en el aprovechamiento del estiércol por medio de la digestión anaeróbica en un biodigestor para obtener biogás la cual es producto de la degradación de la materia orgánica. El efluente del biodigestor (bioabonos: biol y biosol) contiene nutrientes para las plantas y pueden ser utilizados directamente a los cultivos (1).

Por otro lado, el lactosuero, o comúnmente llamado suero de leche, es el líquido restante más característico de la industria lechera, además es considerado como un contaminante altamente severo a nivel ambiental. Este líquido presenta un alto contenido en materia orgánica tales como la “lactosa, proteínas, sales minerales, ácido láctico y grasas”, las cuales quedan retenidas en un 55 % en el suero de leche, ya que difícilmente reaccionan con el cuajo, es por esta razón que el lactosuero tiene que ser recuperado y almacenado para su tratamiento adecuado (2). Además, si el suero de leche es vertido en los cuerpos de agua sin tratar provoca un desbalance del oxígeno disuelto, el cual es consumido en la degradación de sus componentes orgánicos y en el suelo puede generar un desequilibrio de los nutrientes (3). Según las propiedades fisicoquímicas, un lactosuero puede ser clasificado como ácido o dulce; en el primer grupo se encuentran aquellos que provienen de la fabricación de quesos frescos de pasta blanda, obtenidos a partir de leche de vaca y/o de cabra; en ellos, la lactosa se ha transformado en ácido láctico, son ricos en calcio y fósforo, y presentan un  $\text{pH} < 4.5$ . Un lactosuero dulce, en cambio, proviene de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada (vaca) y quesos de ovejas; es pobre en ácido láctico, en calcio y fósforo, y presenta un  $\text{pH} > 6.0$  (4).

Por ello, en la presente investigación, se propone la reutilización del lactosuero por ser un residuo altamente contaminante, por su alta carga orgánica (3), y el aprovechamiento del estiércol vacuno para producir biogás, biol y biosólidos mediante el uso de los biodigestores; además, la utilización del lactosuero mezclado con otros sustratos

en sistemas de co-digestión anaerobia ha permitido conseguir resultados favorables, principalmente cuando se emplea en combinación con residuos ganaderos (3), de manera que contribuyamos a resolver la problemática de la contaminación ambiental ya que estos productos del biodigestor serán utilizados en los suelos o como fuente de energía.

El trabajo consta de 4 Capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema para identificar el efecto de lactosuero en la producción del biogás, biol y bioabono, donde se consideró el problema general y específicos, objetivos, justificación, hipótesis y variables dependientes e independientes.

El Capítulo II se detalla los antecedentes de la investigación: tesis de investigación y artículos científicos relacionados a la línea de investigación, así mismo se describe las bases teóricas y definición de términos.

El Capítulo III se describe el método y alcance de la investigación, lo cual el diseño de investigación es experimental, nivel explicativo y tipo de investigación aplicada. Además, se incluye diseño la población, muestra, las técnicas y tratamiento de datos.

El Capítulo IV comprende los resultados obtenidos, el procesamiento de datos y su discusión. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

Las autoras.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

En nuestro país, existe un promedio de 824 000 productores según el informe del sector agropecuario en donde tienen por lo menos un bovino, de los cuales el 87% se encuentra ubicado en la sierra (5). La crianza de este tipo de ganado genera la comercialización de leche, derivados lácteos, carnes etc. en los últimos años existe un incremento del 4,75% anual de producción de leche fresca de vaca, esto se debe al aumento de la cantidad de vacas en ordeño (6). Es por ello que el sector productivo de lácteo genera cuantiosos daños ambientales durante la producción de sus productos debido a que se generan residuos que contienen considerables diluciones de leche cruda, agua, grasa y otros componentes químicos no menos peligrosos (7).

A nivel regional, la producción de leche fresca es atendida por tres grandes cuencas lecheras en el Perú (sur, centro y norte), teniendo en Junín (centro) una producción de 47 900 t, que representa el 2.5 % de la producción nacional al año 2015. Las regiones con mayor producción lechera son Cajamarca (18.2 %), Arequipa (17.9 %) y Lima (17.8 %), no obstante, en los últimos 10 años se observaron las mayores tasas anuales

de incremento en las regiones de Ica (11.65 %), Cusco (10.54 %) y Junín (10.46 %) (8).

En la región Junín la producción de leche y sus derivados es de gran importancia; para la producción de leche se emplea gran cantidad de leche, por lo tanto se genera un volumen considerable de lactosuero, el cual no es aprovechado al 100 % principalmente en la micro y pequeña agroindustria quesera, vertiéndose gran parte ocasionando contaminación a las aguas superficiales (9). Es preciso mencionar que por cada kilogramo de queso producido se generan 9 L de lactosuero que se desechan, lo cual incrementa los niveles de contaminación (10). Además, el suero contiene un alto valor nutricional el cual contiene más del 50 % de los sólidos de la leche, incluyendo vitaminas, lactosa, minerales y proteínas (11).

Por otra parte, la crianza de bovinos genera desechos (estiércol, orines, aguas de limpieza, etc.) que son contaminantes y esto se debe a que está compuesto por materia orgánica, microorganismos y nutrientes. Un tratamiento idóneo de los residuos orgánicos que provienen de la crianza de ganado puede contribuir significativamente en la conversión de estos residuos en distintas formas de energía (12).

Una forma de procesamiento de estos residuos orgánicos de la producción ganadera es la descomposición mediante la digestión anaeróbica, que es un proceso muy complejo debido tanto al número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismo involucrados en ella. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren en forma simultánea (13).

Durante el proceso de digestión anaeróbica, se genera biogás; este producto puede ser capturado y usado como fuente de electricidad. De esta forma, la digestión anaeróbica, descompone residuos orgánicos, en ausencia de oxígeno, recicla materia orgánica, que generalmente contiene contaminantes potenciales, permite disminuir su reciclaje (14).

La digestión anaeróbica es un proceso donde los materiales orgánicos son descompuestos por las bacterias en condiciones anaeróbicas para obtener productos como el biogás. Es una mezcla de metano (60 - 70 %), dióxido de carbono (40 - 30 %) y otros gases como el sulfuro de hidrógeno,

amoníaco, nitrógeno, hidrógeno y diversos compuestos orgánicos (15). Hoy en día la electricidad y la producción de calor son los beneficios directos de la digestión anaeróbica. Además, otros beneficios de la producción de biogás incluyen la reducción de olores, la mineralización de nitrógeno orgánico, la reducción de patógenos, la disminución de gases de efecto invernadero y un mejor manejo de residuos orgánicos. Además, los residuos de digestión se pueden utilizar como fertilizantes (16).

A nivel local, en el distrito de Sicaya se ha identificado que una de las actividades predominantes de la población es la crianza de ganados tales como: vacas, toros, cerdos, ovejas, etc; además se dedican a la producción de quesos y el subproducto restante de la producción de queso es desechado por los alcantarillados o vertidos a suelo sin ningún tratamiento previo, de modo que es de suma importancia contar con alternativas para la transformación de los desechos orgánicos de la actividad ganadera, como es el estiércol y el lactosuero, para obtener subproductos que beneficiaría a la población como el biogás y los abonos orgánicos que favorezcan el equilibrio entre el ambiente y el ser humano.

#### 1.1.2. Formulación del problema

##### 1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del lactosuero en la producción del biogás, bioabono y biol, en un biodigestor Batch en Sicaya?

##### 1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de cuatro dosis crecientes de lactosuero en la producción de biogás?
- ¿Cuál es el efecto de cuatro dosis crecientes de lactosuero en las características del bioabono?
- ¿Qué efecto tiene la aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero en las características biol?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del lactosuero en la producción del biogás, bioabono y biol, en un biodigestor Batch en Sicaya.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del lactosuero en la producción de biogás.
- Determinar el efecto del lactosuero en las características del bioabono.
- Determinar el efecto del lactosuero en las características del biol.

## 1.3. Justificación e importancia

### 1.3.1. Justificación

El lactosuero es un subproducto generado en la producción de quesos, el cual genera contaminación en aguas y suelos si no es debidamente tratado ya que presenta un alto contenido de materia orgánica y al ser vertido en el agua provocaría un desbalance del oxígeno disuelto el cual es consumido en la degradación de sus componentes orgánicos y puede generar un desequilibrio de los nutrientes en el suelo, sin embargo este residuo puede ser utilizado convirtiéndolo en materia prima para la producción de biogás, biol y bioabono en combinación con el estiércol de vacuno, el cual se genera en forma abundante en la actividad pecuaria del distrito de Sicaya. Las dosis de lactosuero incrementarían la producción de biogás y mejorarían las características del biol y bioabono. Estos productos al ser aplicados al suelo mejorarán las propiedades físicas, químicas y biológicas de este componente ambiental y beneficiará a los productores agrícolas de la zona al tener productos alimenticios de mejor calidad.

### 1.3.2. Importancia

La transformación de residuos orgánicos, en condiciones anaeróbicas utilizando biodigestores tipo Batch, constituye una alternativa de reciclaje, ya que se controla la descomposición y se hace efectiva cuando se agregan aditivos, como el lactosuero que contiene compuestos nitrogenados y otros nutrientes que al ser incorporados en mezclas con otros residuos orgánicos, evitarían su disposición directa a acequias o cursos de agua, evitando el generar escenarios de contaminación, además de que pueden mejorar la producción anaeróbica de abonos sólidos (bioabono), líquidos (biol) y biogás (metano) para el uso en la producción agrícola.

## 1.4. Hipótesis y variables

### 1.4.1. Hipótesis nula

$H_0$ : La aplicación de lactosuero no afecta significativamente en la producción del biogás, bioabono y biol en un biodigestor Batch en Sicaya.

### 1.4.2. Hipótesis alterna

$H_i$ : La aplicación de lactosuero afecta significativamente en la producción del biogás, bioabono y biol en un biodigestor Batch en Sicaya.

### 1.4.3. Hipótesis específicas

- $H_0$ : La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero incrementa la producción de biogás en Sicaya.  
 $H_i$ : La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero no incrementa la producción de biogás en Sicaya.

- $H_0$ : La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero tiene efecto en las características del bioabono.  
 $H_1$ : La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero no tiene efecto en las características del bioabono.
- $H_0$ : La aplicación de lactosuero tiene efecto en las características del biol.  
 $H_1$ : La aplicación de lactosuero no tiene efecto las características del biol.

#### 1.4.4. Descripción de variables

- Variable independiente:  
 $X$  = lactosuero.
- Variables dependientes:  
 $Y_1$  = cantidad de biogás.  
 $Y_2$  = características del bioabono.  
 $Y_3$  = características del biol.

Tabla 01. *Operacionalización de las variables.*

	Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
X: Independiente	Lactosuero	Producto que se obtiene durante la elaboración del queso; es una fracción líquida de la leche que se obtiene tras la precipitación y recuperación de la caseína. Este subproducto, supone aproximadamente un 85 - 95 % del volumen total de la leche empleada y en él se estima una retención del 55 % de los nutrientes (13).	mL	Dosis de lactosuero: 100 mL 150 mL 200 mL
Y: Dependientes	Y1: Cantidad de biogás	Producto del metabolismo de bacterias metanogénicas que participan en la descomposición de materias orgánicas en ambientes húmedos y carentes de oxígeno, conocidos como biodigestores (12).	mL	Volumen de biogás

<p>Y2: Características del bioabono</p> <p>Producto resultado de la fermentación y descomposición de la materia orgánica en procesos controlados anaerobios sin usar componentes sintéticos para su uso en el suelo (14).</p>	<p>Parámetros de calidad</p>	Unidad	pH
		dS.m <sup>-1</sup>	CE
			N
			Materia orgánica
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		%	K <sub>2</sub> O
			CaO
			MgO
			Na
			Humedad
<p>Y3: Características del biol</p> <p>Resultado de la fermentación de estiércol y agua a través de la descomposición, mediante transformaciones químicas de residuos orgánicos en un ambiente anaerobio. Se presenta en estado líquido (14).</p>	<p>Parámetros de calidad</p>	Unidad	pH
		dS.m <sup>-1</sup>	CE
			Sólidos totales
		g.L <sup>-1</sup>	Materia orgánica
			N
			P
			K
		mg.L <sup>-1</sup>	Ca
			Mg
			Na

Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes encontrados en tesis

En la tesis titulada “Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaerobia” se tuvo por objetivos (i) °Determinar los valores fisicoquímicos de los sustratos, para evaluar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de biogás°, (ii) °Evaluar la producción de biogás en biodigestores de carga fija°, (iii) °Establecer una metodología para el pre tratamiento al suero de quesería, antes de someterlo a la biodigestión°; (iv) °Evaluar el rendimiento de biogás de las mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería, en proporciones 1:3, 1:5 y 1:7°, y (v) °Caracterizar la composición cromatográfica del biogás para determinar su poder calórico°. Se obtuvieron muestras de estiércol fresco de los establos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), de vacas de alto rendimiento; El queso de suero fue recolectado de la leche de la misma universidad. El diseño experimental se realizó en dos fases, la primera etapa fue la caracterización y acondicionamiento de las materias primas, y la segunda etapa fue la producción de biogás a partir de una mezcla de estiércol y suero (10). El suero tuvo las siguientes características: pH = 6.5, densidad = 1.024 g.mL<sup>-1</sup>, grasa cruda = 0.45 g/100 g, materia seca = 6.37

g/100 g, proteína = 0.94 g/100 g, lactosa = 5.23 g/100 g. El estiércol de vacuno tuvo un pH = 7.5, densidad g = 1.06 g.mL<sup>-1</sup>; materia seca = 6 g/100 g. Al sexto día de biodigestión biogás del suero de quesería regulado con cal, tuvo un 99.98 % de nitrógeno gaseoso (alto). La proporción estiércol: suero 1:7, fue la óptima para la generación de biogás, obteniendo 66.38 % de nitrógeno gaseoso y 27.67 % de metano en el mismo tiempo de biodigestión (17).

En la tesis titulada “Aplicación de microorganismos catalíticos (MEc) y su efecto en la generación de biogás utilizando excretas porcinas en la Comunidad Campesina de Lamblaspata - El Tambo - 2019”, se tuvo como objetivo °Optimizar los procesos de digestión anaerobia para lograr una eficiencia en la producción anaeróbica y producción de bioabono y biogás, para reducir el impacto ambiental al río Mantaro y a la capa de ozono°. La investigación experimental de tipo explicativa utilizó un diseño completamente al azar y tuvo durante un año aproximadamente. Se utilizó un biodigestor tubular de PVC bicapa, marca SIDELSA, operado de modo Batch. Se realizaron cuatro tratamientos que contenían una mezcla de agua con estiércol de cerdo, cepas del *Lactobacillus plantarum* LPBM10 y suero de leche. La dosificación de los microorganismos catalíticos en los tratamientos fue de cepas de *Lactobacillus Plantarum* LPBM10 con un valor de 0.5 (154 x 105 UFC/mL)/L, 1.0 (154 x 105 UFC/mL)/L y 2.0 (154 x 105 UFC/mL)/L; conjuntamente se adicionó 1 L, 2 L y 4 L de lactosuero aumentando la producción de biogás, la mejor dosis fue 1.0 (154 x 105 UFC/mL)/L y 2 L de suero de leche obteniendo un 78.58 % de metano. Los valores del pH obtenido del biodigestor por un periodo de tres meses para cada uno de los tratamientos estuvieron entre 5.22 y 7.24, considerados óptimos para el crecimiento de los microorganismos. La temperatura de los tratamientos fue aumentando durante el período experimental, teniendo que para el tratamiento 1 fue de 12 a 30.34°C, para el tratamiento 2 de 13 a 30°C y para el tratamiento 3 de 13 a 29°C, en los cuales estuvieron en condiciones mesofílicas adecuadas, alcanzando así una mayor estabilidad del sistema, así como un adecuado balance energético y una mejor calidad del efluente; así mismo, los costos energéticos son significativamente menores en comparación con sistemas termofílicos (18).

En la tesis titulada "Utilización de suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol)", se tuvo por objetivo general "Utilizar suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol), así como establecer los parámetros óptimos para el proceso de elaboración del biol a base del suero de la leche, realizar el análisis fisicoquímico del producto elaborado y compararlo con un biol de referencia". Se instalaron 30 baldes de color negro y de capacidad de 20 L en un diseño tipo galpón. Se utilizaron como materia prima al estiércol vacuno, suero de leche y agua, y como insumos se utilizó alfalfa, humus, ceniza, melaza, levadura y lactofermento durante 50 días; pasado ese tiempo se realizó la cosecha del biol y bioabono. De los 10 tratamientos que se ensayó el mejor tratamiento fue el que estaba codificado como T9, presentado las siguientes características: nitrógeno 839.60 ppm, fósforo 226.44 ppm, potasio 5 833.1 ppm, azufre 1 436.26 ppm, calcio 3 165.3 ppm, magnesio 73.12 ppm, zinc 10.66 ppm, cobre 1.95 ppm, hierro 3 660.97 ppm, manganeso 1 081.67 ppm y boro 3.58 ppm, con un pH de 5.49 y una conductividad eléctrica de 16.723 mS/cm (19).

En la tesis titulada "Elaboración de un abono tipo "bocashi" a partir de desechos orgánicos y subproducto de industria láctea (Lactosuero)", se tuvo por objetivo general "Obtener un abono orgánico fermentado "bocashi" a partir de desechos orgánicos y lactosuero, así como evaluar las características fisicoquímicas (macronutrientes) del abono orgánico y comprobar estadísticamente si el contenido de macronutrientes en los abonos depende del tipo de estiércol utilizado". Se prepararon 5 recipientes para cada tratamiento con sus 4 repeticiones con capacidad para 5 kg, donde el T1 se constituyó por estiércol de vaca, el T2 por estiércol de caballo, el T3 por estiércol de gallina, el T4 por estiércol de perro y el T0 fue la mezcla de los cuatro tipos de estiércol, además de que en cada tratamiento se agregaron insumos como: cáscara de arroz, lactosuero, carbón vegetal, cal, melaza y levadura. Tras 25 días el pH y la temperatura no varió de forma significativa en los tratamientos; en caso de lo macronutrientes del abono orgánico se obtuvo que éstos presentan diferencias significativas comparándolos entre ellos, encontrándose como mejor opción el tratamiento 3 en cuanto al contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (20).

En la tesis titulada “Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas”, se tuvo como objetivo °Evaluar la producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino en un biodigestor de producción por etapas en el campus “Yumagcay”, Paute – Azuay°. Se emplearon dos biodigestores cilíndricos con volumen de 233 Litros con una capacidad de carga al 65 %, se utilizó como sustrato el estiércol bovino y porcino con una relación de 1:1 estiércol-agua en un tiempo de retención de 50 días. En cuanto a los resultados de la cantidad de biogás en litros, se evidenció que la producción de biogás con el estiércol porcino es superior al estiércol bovino con un volumen de 65.9 litros y 48.8 litros respectivamente. Así mismo se aplicó el bioabono en suelos con poca vegetación, donde se ha demostrado el crecimiento de grandes cantidades de biomasa vegetal, y se puede fomentar este sustrato como biofertilizante por ser rico en macronutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo (21).

El trabajo de investigación titulado “Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno”, se tuvo como objetivo °Identificar la relación entre la producción de biogás y biol a partir de los restos de trucha y estiércol vacuno°. El presente trabajo fue de carácter experimental utilizando 12 biodigestores con diferentes cantidades de restos de trucha mezclados con estiércol vacuno usando el modelo de biodigestor tipo Batch de régimen discontinuo. Los tratamientos se evaluaron con diferentes cantidades de estiércol vacuno: T1 (6 kg), T2 (12 kg) y T3 (24 kg). La mayor producción de biogás y composición del biol de manera descendente: T3 > T2 > T1 > Control, y T3 fue el que obtuvo resultados más elevados para ambas variables, produciendo un total de 159.3 L de biogás; del mismo modo, las características del biol estuvo conformada por la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio, que fue 6 600, 565.89, 1 136.67, 1 603.33, 563.33 y 1 408.33 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente, además se obtuvo 1.06 %, de ácidos húmicos, 1.39 % de ácidos fúlvicos y 0.48 % de huminas. Se encontró una correlación positiva entre la producción de biogás y biol obtenidos en este trabajo (22).

En el trabajo de investigación titulado “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 geo membrana de policloruro de vinilo”, se tuvo como objetivo °Determinar y comparar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio de los efluentes biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno°. El sustrato fue recogido del establo del Sr. Contreras, El trópico, Huanchaco, Trujillo. Se utilizó un biodigestor ya instalado de la Estación Experimental de Bioquímica Aplicada de la Universidad Nacional de Trujillo. Se utilizó un cilindro de 200 L como biodigestor donde se cargó la mezcla estiércol y agua, considerando una proporción de estiércol: agua 1:3. En el día 0, 15, 30 y 45 se tomaron muestras de 500 mL de cada efluente orgánico: biol y biosol, para luego ser analizadas. El nitrógeno tuvo mayor concentración en ambos efluentes. Al comparar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio del biol y biosol se observó similitud estadística. Finalmente, se propuso que ambos se pueden utilizar como fertilizantes orgánicos para así disminuir la contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes fabricados (23).

En el trabajo de investigación titulado “Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas”, se tuvo por objetivo °Caracterizar el proceso de elaboración de biol y evaluar la variación de las propiedades físicas (temperatura, color y olor), químicas (pH, CE y, macro y micro nutrientes) y microbiológicas (población de bacterias, hongos y actinomicetos), durante el proceso de digestión anaerobia°. Para ello, se instalaron los biodigestores (bidones de plástico) de un volumen de 120 L, alimentados por diferentes insumos en cuatro formulaciones; posteriormente el biol obtenido fue analizado en el Laboratorio de Análisis de Aguas, Suelos, Plantas y Fertilizantes, del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), donde los parámetros físicos mostraron: (i) temperaturas de biol superiores a la temperatura ambiental, (ii) color final de los bioles similar para tres tratamientos (pardo olivo) y (iii) olor predominantemente normal y agradable. Los parámetros químicos mostraron: (i) una fase de acidificación al inicio del proceso migrando hacia la neutralidad con similar

tendencia para todos los tratamientos, (ii) incremento gradual de la conductividad eléctrica en todos los tratamientos y (iii) el contenido de macro y micronutrientes con variación significativa; el nitrógeno, potasio, calcio y boro presentaron curvas de variación con similar tendencia. Finalmente, se presentó mayor germinación en alfalfa de alfalfa al 2 % (24).

En el trabajo de investigación titulado “Propuesta de producción de bioabono a partir de estiércol bovino de la finca el Valle, Subachoque, Cundinamarca” tuvo por objetivos desarrollar una propuesta de producción de bioabono y determinar las características de la materia prima y del abono orgánico sólido o bioabono para ser comparado con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167. Para ello se instalaron cuatro biorreactores con volumen total de 30 L y volumen de carga de 24 L utilizando como insumos estiércol fresco, cenizas, melaza, jabón, agua y microorganismos benéficos durante 14 días de tiempo de retención. Los resultados obtenidos del bioabono cumplieron con el requisito de humedad, pues sobrepasaron el 20 % considerado como máximo. El pH del bioabono cumplió con la norma, el mismo que se encontró entre 4 y 9. La conductividad eléctrica fue superior a la norma ( $< 1 \text{ dS.m}^{-1}$ ). El carbono orgánico fue bajo y no cumplió con el estándar mínimo de 15 %. El contenido de nitrógeno total no cumplió con la norma (mínimo 1 %). El fósforo total varió de 0.155 a 0.278 %, el potasio total varió de 0.115 a 0.928 %, el calcio total varió de 0.319 a 1.08 %, el magnesio total varió de 0.079 a 0.292 % y el sodio total varió de 0.018 a 0.063 % (25).

#### 2.1.2. Antecedentes encontrados en artículos de investigación

En el artículo de investigación titulado “Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú”, En el Fundo Palmeras, Puma Hermana, Molinopampa, Amazonas, Perú se instaló un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de  $12 \text{ m}^3$ , así mismo tenía el gasómetro, tablero de purificación y control del biogás. El biodigestor fue alimentado el  $9 \text{ m}^3$  con mezcla de estiércol y agua en la proporción de 1:5 en un tiempo de retención

hidráulico que fue de 29 días a una temperatura ambiente promedio de 14.4°C para producir biogás para la cocción de alimentos y bioabono para así incrementar el crecimiento y la productividad del pasto Nicarion (*Setaria sphacelata*). El biogás producido cubrió la demanda como combustible de una cocina para la preparación diaria de alimentos de una familia. El biol y el biosol, se emplearon como abonos orgánicos; aquellas a las que se aplicó biol (T2) y biosol (T3) tuvieron mayor crecimiento de sus tallos del pasto Nicarion (*Setaria sphacelata*) superando en casi el doble del tamaño al testigo. El biosol favoreció a los pastos evaluados, así como mejoró los suelos del fundo, reduciendo el gasto que utilizaban para los fertilizantes químicos (26).

El artículo de investigación titulado “Calidad de biogás y biol obtenidos a partir de residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi”. Se utilizó el estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) con el fin de generar biofertilizantes y biogás mediante biodigestores. Se realizó un tratamiento previo a los residuos orgánicos, el bocashi, donde consistió utilizar microorganismos benéficos para ayudar la degradación de los residuos orgánicos. Se realizaron tres tratamientos con diferentes sustratos: T1 fue alimentado con residuos orgánicos del comedor, el T2 con estiércol de vaca y el T3 con mezcla de ambos sustratos mencionados anteriormente. La composición del biogás en promedio fue de 58.6 % de CH<sub>4</sub> y 32.6 % de CO<sub>2</sub> en el T3; 55 % de CH<sub>4</sub> y 32 % de CO<sub>2</sub> en el T2 y 26.2 % de CH<sub>4</sub> y 30.1 % de CO<sub>2</sub> en el T1. La producción de biogás fue de 0.23 m<sup>3</sup>/kg ST para el T1, 0.20 m<sup>3</sup>/kg ST para el T2 y 0.009 m<sup>3</sup>/kg ST para el T3. Se ha demostrado que el biol contiene buenas cantidades de nutrientes que pueden ser aprovechados por los cultivos al utilizarlo como biofertilizante, Las concentraciones de coliformes fecales y coliformes totales en el biol se encontraron por debajo de los límites de la legislación peruana para aguas con fines de riego. El uso del bocashi es una de las técnicas que son utilizado como pretratamiento de los residuos orgánicos ha logrado mejores resultados en la producción y calidad del biogás y biol (27).

En el trabajo de investigación titulado “Tratamiento anaerobio de desechos lácteos y estiércol de cabra”, se tuvo como objetivo “Producir metano a partir de desechos lácteos y estiércol de cabra en diferentes concentraciones para determinar la mayor concentración de metano en la fermentación en un biorreactor diseñado”. Los ensayos se llevaron a cabo en un proceso de fermentación en laboratorio usando un reactor de acero inoxidable. Se llevo a cabo una digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de residuos lácteos de crema, queso y suero de queso dulce combinado con estiércol de cabra, gracias al desarrollo de tres formulaciones manteniendo constante la cantidad de los desechos de crema y queso y en diferentes cantidades de excreta de cabra y lactosuero. Así mismo, se utilizó un inóculo de bacterias metanogénicas obtenidas a partir de una predigestión de estiércol de cabra. Durante el experimento la temperatura fue de 35°C y el pH de 7.0. Se utilizó la cromatografía para determinar el porcentaje de metano del biogás. Los resultados mostraron que la mayor concentración de metano fue de 82 %, obtenida con la formulación tres. El resultado puede estimar las dimensiones potenciales de biodigestores rurales, siempre en cuando se utilice suero de queso dulce, ya que en el autor comparo con otros investigadores que utilizaron suero de queso salado y lo mezclaron con residuos de aves de corral y con estiércol de ganado, habiendo obtenido menor porcentaje de metano (16)

En el artículo de investigación titulado “Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC”, se tuvo como objetivo evaluar de calidad de biol y bioabono considerando la caracterización mencionada. Se instalaron 04 biodigestores tubulares de PVC en las instalaciones del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos - CEMTRAR de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), además se utilizó como insumo estiércol de vacuno y agua con mezclas en proporción de 1:4 y 1:5. El resultado a los 40 días respecto a la cantidad de biogás fue mejor en la mezcla de 1:4, obteniendo 53 % de CH<sub>4</sub> y 36.9 % de CO<sub>2</sub> y el biol obtenido en el estudio evidenció una buena cantidad de N-P-K que podrían ser aprovechados como fertilizante líquido en cultivos hidropónicos (28).

En el artículo de investigación titulado “Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas”, se utilizó excretas bovinas y porcinas para realizar la biodigestión anaerobia en un tiempo de dos meses. La diferencia entre los tipos de biol (bovino y porcino) obtenidos se determinó con análisis de varianza de un factor y para cada parámetro fisicoquímico evaluado. Se monitoreó diariamente el pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial oxido reducción (ORP), sólidos disueltos totales (SDT), porcentaje de cloruro de sodio, sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST), cenizas, humedad, P, PO<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N, Na, K, Ca, Mg, Zn y Cu en su forma iónica, obteniendo así como resultados los valores de pH, CE, SDT, NaCl, OD, potencial óxido-reducción, humedad, ST, SV, cenizas, P, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub>, nitrógeno amoniacal, K y micronutrientes. Todos los análisis se realizaron por duplicado. Los sistemas biobolsa mostraron estabilidad en su funcionamiento, en condiciones mesófilas (variación de  $\pm 3$  s en cada parámetro). Existió diferencia significativa entre Ca y Mg en los tipos de excreta. El biol bovino mostró 8.94 4 mS.cm<sup>-1</sup>, 658.9, 80.90 y 581 ppm en CE, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, y K<sup>+</sup> respectivamente y 8.4 mS.cm<sup>-1</sup>, 745.0, 80.90, 39 y 521 ppm para el biol porcino respectivamente. Los porcentajes de humedad promedio fueron 95.18  $\pm$  1.90 y 96.21  $\pm$  2.88 % y de sólidos totales 4.81  $\pm$  1.89 % y 3.87  $\pm$  2.89 % para los vios de bovino y porcino respectivamente (29).

En el artículo de investigación titulado “Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino”, se estimó teóricamente el potencial que tiene esta región para la producción de biogás a través de estiércol de ganado vacuno y porcino, además de estimar la generación de energía que se podría obtener empleando este biocombustible, que se aplicaría al alumbrado municipal de esta misma región. Para determinar la producción de biogás se utilizó la información del censo agropecuario para conocer la población de ganado; para establecer la cantidad de estiércol por tipo de animal y edad acorde a un tamaño promedio. Se calculó la cantidad de estiércol total y se estimó la cantidad de biogás que se podría obtener, así como la energía eléctrica. Representó un ahorro de energía eléctrica de 4.23 % que correspondió para el año 2013 un monto de \$ 18 300 000 pesos aproximadamente, con

un costo promedio de 2.326 pesos )or cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (30).

En el trabajo de investigación titulado “Propuesta de producción de bioabono a partir de estiércol bovino de la finca el Valle, Subachoque, Cundinamarca”, se realizó un proceso experimental para la obtención de un abono orgánico líquido y sólido, cumpliendo los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167. Se realizó una selección de los materiales para el montaje de los biorreactores, la preparación de la mezcla de la alimentación y la adecuación antes, durante y después del proceso. Ninguno de los bioabonos cumplió con el requisito de humedad, pues sobrepasaron el 20 % considerado como máximo. El pH del bioabono cumplió con la norma, entre 4 y 9. La conductividad eléctrica fue superior a la norma ( $< 1 \text{ dS.m}^{-1}$ ). El carbono orgánico fue bajo, y no cumplió con el estándar mínimo de 15 %. El contenido de nitrógeno total no cumplió con la norma (mínimo 1 %). El fósforo total varió de 0.155 a 0.278 %, el potasio total varió de 0.115 a 0.928 %, el calcio total varió de 0.319 a 1.08 %, el magnesio total varió de 0.079 a 0.292 % y el sodio total varió de 0.018 a 0.063 % (25).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Fundamentos teóricos de la digestión anaeróbica

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias orgánicas específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.), y en compuestos de difícil degradación (31)..

La digestión anaeróbica es una fermentación donde una comunidad de microorganismos trabaja de forma sinérgica, se alimenta de materia orgánica y, en ausencia de oxígeno, es decir en condiciones anaeróbicas, generan biogás y bioabono como productos finales de su metabolismo.

Estos microorganismos se encuentran naturalmente en estiércol animal y en lodos de tratamiento de efluentes, entre otros (32).

La digestión anaeróbica es un proceso natural en el que intervienen diferentes complejos de microorganismos en las distintas etapas: hidrólisis, acidificación, acetogénesis y metanogénesis. De este proceso resultan los gases que componen el biogás y un efluente rico en nutrientes. El metano, obtenido de la última etapa de la digestión anaeróbica, puede utilizarse directamente como fuente de calor mediante su combustión, o puede convertirse en electricidad. El residuo de la digestión, mayormente llamado digesto, digestato o lodos, es un buen fertilizante agrícola, es recomendable realizar el análisis respectivo para ser utilizados en diferentes cultivos (33).

Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas en subproductos útiles. La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (por ejemplo,  $H_2O_2$ ). En la digestión anaeróbica más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10 % de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50 % consumido en un sistema aeróbico (34).

Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, en sistema de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un bioabono que consiste en un efluente estabilizado. El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45 % es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas y características generales presentadas en la tabla siguiente (34).

Tabla 02. *Características generales del biogás.*

Composición	55 - 70 % metano (CH <sub>4</sub> ) 30 - 45 % dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 - 6.5 kW.h.m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 - 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 - 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> )
Presión crítica	74 - 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg.m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg.kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Varnero (34).

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- a) Hidrólisis: es la primera etapa donde la materia orgánica compleja (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, etc.) es degradada por la acción de microorganismos en materia orgánica soluble (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos), lo que genera los sustratos para la siguiente etapa. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos (36).
- b) Etapa fermentativa o acidogénica: en esta etapa se tiene lugar a la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizadas directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (29).

- c) Etapa acetogénica: en esta etapa son transformados los productos de la fermentación que no pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), a través de las bacterias acetogénicas. Dentro de esta etapa se encuentran los microorganismos acetogénicos que son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini* (29).
- d) Etapa metanogénica: finalmente los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $\text{H}_2/\text{CO}_2$ , metanol y algunas metilaminas (29).

Las transformaciones químicas y físicas que sufre la materia orgánica en estos procesos no solo conducen a la producción de biogás, sino que además pueden generar biol y bioabono que tiene propiedades adecuadas para ser utilizado como fertilizantes orgánicos (36).

## 2.2.2. Clasificación de los biodigestores anaeróbicos

Los biodigestores pueden clasificarse de distintas maneras ya sea por su forma, tamaño o su nivel tecnológico. Actualmente no existe una forma estandarizada de clasificar los biodigestores. A continuación, se detalla algunos tipos de biodigestores más comunes.

### 2.2.2.1. Biodigestores tipo Batch

Este tipo de biodigestor consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás, se realiza la carga del sustrato una sola vez durante su tiempo de retención y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible.

Normalmente se usan para investigación en laboratorios. Se utilizan para conocer si un material es apto para producir biogás o no, cuánto produce y en qué tiempo, con lo que permiten determinar potenciales de producción de biogás de diferentes sustratos (35).

#### 2.2.2.2. Biodigestores tubulares o taiwaneses

Estos tipos de biodigestores son muy difundidos en Taiwán; por lo general son tubos largos que pueden ir enterrados o sobre el piso, se utilizan diferentes tipos de membranas de un mínimo un grosor de 0.80 mm. Estas pueden variar en cuanto a tipo de material, grosor, costo y características. Las más conocidas son las de policloruro de vinilo (PVC), etileno propilenodieno tipo M (EPDM) o polietileno de alta densidad (PDA). Esta característica alargada permite que, cuando se carga, toda la masa de líquido dentro del biodigestor se mueva hacia la salida, lo que provoca que la misma carga constituya una forma de agitación, como se mencionó anteriormente (35).

#### 2.2.2.3. Biodigestores chinos o rígidos

Los biodigestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de biodigestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. Comúnmente estos tipos de biodigestores están hechos con materiales rígidos, como tanques de plástico, ladrillo, hormigón o cualquier variante. Tienen como ventaja una estructura más firme y resistente, que en muchos casos permite acoplar sistemas de agitación sin mayor dificultad. Pero se tienen que construir en el lugar y su transporte puede ser dificultoso debido al tamaño (35).

#### 2.2.2.4. Biodigestor indiano

Estos biodigestores en general son de forma verticales, semejando a un pozo y son enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. En la parte superior está incorporado un gasómetro y una campa flotante para almacenar el gas producido y también es usado ara rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores (34).

#### 2.2.2.5. Biodigestores horizontales

Estos biodigestores son de forma horizontales, generalmente son enterrados, son poco profundos y alargados. Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. Así mismo no es recomendable para volúmenes mayores, ya que es dificultoso para realizar la excavación (34).

#### 2.2.3. El lactosuero

Durante el proceso de elaboración del queso se genera como subproducto el lactosuero. Se trata de la fracción líquida de la leche que se obtiene tras la precipitación y recuperación de la caseína. Este subproducto, supone aproximadamente un 85 - 95 % del volumen total de la leche empleada y en él se estima una retención del 55 % de los nutrientes. Se generan alrededor de 9 L por cada kg de queso producido, por lo que se considera que constituye el principal subproducto de la industria quesera (3).

Debido a su alto contenido en materia orgánica, el lactosuero debe de ser recuperado y recogido para su adecuada gestión. En el caso de ser vertido directamente al medio acuático o al terreno, se trataría de un importante contaminante. Asimismo, su vertido a la red de saneamiento podría suponer un problema de saturación de las estaciones de depuración de aguas residuales (3).

A pesar de la existencia de varias alternativas tecnológicas para la recuperación de los compuestos de interés, existe una cantidad considerable de producto que permanece inutilizado. Por lo tanto, es necesario incentivar su recuperación para reducir los posibles problemas de contaminación ambiental derivados de un vertido incontrolado (3).

Entre las opciones de tratamiento disponibles, se encuentran los procesos biológicos anaerobios. Éstos se caracterizan por la transformación del contenido en materia orgánica en productos de valor añadido como el biogás o el hidrógeno, y sus aplicaciones como biocombustibles (31).

El lactosuero es un producto susceptible de ser valorizado por su contenido en compuestos de interés que pueden ser recuperados. Algunos de los compuestos que contiene son: lactosa, proteínas, sales minerales, ácido láctico y grasas. Además, también se distinguen cantidades apreciables de otros componentes como ácido cítrico, compuestos de nitrógeno no protéico (urea y ácido úrico) y vitaminas (33).

Con objeto de que se puedan recuperar se aplican tanto tratamientos fisicoquímicos como biológicos. Posteriormente, algunas de las alternativas planteadas para su aprovechamiento son: aplicación para alimentación animal, alimentación humana, producción de fertilizantes, recuperación de compuestos de interés y valorización energética (31).

Otro tipo de utilización comprende su uso como fertilizante aprovechando su alto contenido en agua y nutrientes que sirven como complementos para los cultivos. Sin embargo, su aplicación debe ser controlada para evitar posibles daños en la estructura fisicoquímica del suelo, derivados del contenido en sales, sólidos y grasas (38).

En el caso del aprovechamiento industrial, éste se orienta al fraccionamiento de sus principales componentes para la recuperación de las proteínas y la lactosa. La incorporación de plantas destinadas a este fin es una alternativa viable en el caso de industrias con volúmenes elevados de producción. No obstante, en industrias de dimensiones más reducidas, estos sistemas suponen un elevado coste económico y se opta por la recogida y entrega del lactosuero para su tratamiento posterior en instalaciones externas (31).

Por último, el lactosuero debido a su contenido en lactosa adquiere un considerable contenido en materia orgánica que le convierte en un sustrato susceptible de ser valorizado energéticamente mediante la aplicación en procesos biológicos de fermentación. En función de las condiciones de operación y los microorganismos empleados hay diferentes alternativas de tratamiento. Entre las posibilidades, se pueden aplicar procesos de fermentación alcohólica, orientados a la obtención de etanol, digestión anaerobia para la producción de biogás, fermentación oscura para la obtención de hidrógeno o procesos de dos etapas combinadas para generar ambos (31).

#### 2.2.4. Productos finales de la digestión anaerobia

Durante el proceso de digestión anaerobia se van a generar subproductos, siendo estos principalmente el biogás y un bioabono el cual consta de un efluente estabilizado.

- a) Biogás: es un agregado gaseoso, producto de la disgregación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Está compuesta por una alta cantidad correspondiente al metano; el cual es un gas combustible que va a permitir el uso del producto con fines energéticos, al igual que va a estar formado por dióxido de carbono, y también con varias impurezas (34). La composición del biogás va a depender del material digerido, tanto como la actividad durante el proceso. Cuando la concentración de metano es mayor al 45 %, indica que el biogás es inflamable. Los componentes que están presentes en

el biogás son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), amoníaco (NH<sub>3</sub>), gas nitrógeno (N<sub>2</sub>), vapor de agua, siloxenos y polvo (38).

- b) El bioabono: es el residuo de la producción de biogás. Es el resultado de la degradación de la materia orgánica compleja en elementos simples por acción de diversos microorganismos y en condiciones anaeróbicas. Esta degradación se lleva a cabo en depósitos herméticamente cerrados con el nombre de “digestores”. El bioabono, que también se le llama “lodo residual” es el que se obtiene como producto de la descarga o limpieza total del biodigestor, está compuesto de sustancias orgánicas solubles, sales minerales (fosfatos), alcoholes y hormonas vegetales (38).

Tabla 03. *Propiedades químicas del bioabono.*

Componente	Valor promedio
Sólidos totales	1.40 %
pH	6.7 - 7.9
Carbono orgánico	0.26 - 0.30 %
Nitrógeno total	0.04 - 0.09 %
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	400 mg.kg <sup>-1</sup>
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	1 100 mg.kg <sup>-1</sup>
Calcio	0.25 %
Magnesio	0.135 %

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (38).

Tabla 04. *Variables fisicoquímicas establecidas por normas técnicas internacionales para bioabono.*

Variable	Norma Chilena	Normal Colombiana
Carbono (%)	No indicado	Mínimo 15 %
Nitrógeno total (%)	≤ 0.5	> 1
Fósforo total (%)	No indicado	>1
Potasio total (%)	No indicado	>1
Humedad (%)	30 a 45	Máximo 35
pH	5.0 a 8.5	4.0 a 9.0
Conductividad eléctrica	< 8 dS.m <sup>-1</sup>	<1 dS.m <sup>-1</sup>

Fuente: cotejo propio de cada normativa internacional.

### 2.3. Definición de términos

- Alimentación de biosólidos: “método de cargar sustratos directamente al digestor” (35).
- Amoniaco: gas nitrogenado proveniente de la degradación de compuestos que contienen nitrógeno como proteínas, urea y ácido úrico (35).
- Biodigestión o digestión anaerobia: “es un proceso natural mediante el que bacterias -en ausencia de oxígeno- descomponen los residuos orgánicos” (35).
- Biogás: “es un combustible, una mezcla de gases compuesta, en su mayor parte, por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en proporciones que varían según el residuo con el cual se alimenta al biodigestor y habitualmente rondan en un 50 % de  $\text{CH}_4$ ” (34).
- Biol: “es residuo líquido, considerado como biofertilizante que se obtiene al final a la biodigestión” (34).
- Bioabono: “es residuo líquido, considerado como biofertilizante que se obtiene al final a la biodigestión” (34).
- Biodigestor: “recipiente en el que se degrada microbiológicamente un sustrato y se genera biogás” (35).
- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): “gas incoloro, no combustible, de olor ligeramente ácido, intrínsecamente no tóxico que conforma junto con el agua el producto final de todos los procesos de combustión” (35).
- Estiércol: “residuos generados como consecuencia de la crianza de ganado” (35).
- Lactosuero o suero de leche: “es un subproducto de la elaboración de quesos que se obtiene luego de la cuajada” (33).
- Metano ( $\text{CH}_4$ ): “gas incoloro, inodoro y no tóxico. Los productos de su combustión son el dióxido de carbono y el agua” (35).
- Microorganismos anaeróbicos: “microorganismos que crecen en ausencia de oxígeno; para algunos, la presencia de oxígeno puede ser letal” (35).
- Proporción de C:N: “proporción de masa de carbono total a nitrógeno total en la materia orgánica; factor determinante en la biodegradación” (35).
- Sustrato: “es la materia prima que es alimentada en el biodigestor para la digestión o fermentación” (35).
- Tiempo de retención: “tiempo de permanencia promedio del sustrato en el digestor. También se conoce como tiempo de residencia” (35); es el lapso durante el cual el material de fermentación permanece en el biodigestor.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método y alcance de la investigación

##### 3.1.1. Método de la investigación

El método de la investigación empleado fue el científico, ya que se pretendió generar nuevos conocimientos (39) lo cual nos permitió producir biogás, biol y bioabono utilizando cuatro dosis crecientes de lactosuero con sustrato de estiércol de vacuno.

##### 3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada (40) pues fue de naturaleza eminentemente práctica al aplicar los principios de la microbiología y el procesamiento de materiales orgánicos en la transformación anaerobia de estiércol de vacuno con diferentes dosis de lactosuero.

##### 3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación fue el explicativo (40), el mismo que se basa en conocer el grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En

ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables; en la investigación se analizó el efecto de las diferentes dosis de lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol.

### 3.2. Diseño de la investigación

Se aplicó el diseño experimental puro (40) con 4 tratamientos, donde se incluyó un grupo control o testigo, cada uno con 3 repeticiones, resultando en total 12 unidades experimentales.

Modelo aditivo lineal del diseño experimental completamente al azar (40):

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_i$$

Donde:

- $\gamma_{ik}$  = cualquier observación del experimento.
- $\mu$  = media poblacional.
- $\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento.
- $\varepsilon$  = error experimental.
- $i$  = cualquier tratamiento.

Tabla 05. *Tratamientos del estudio.*

Tratamiento	Descripción
<b>T1</b>	3 kg de estiércol: 3 L agua + 0 mL de lactosuero
<b>T2</b>	3 kg de estiércol: 3 L agua + 100 mL de lactosuero
<b>T3</b>	3 kg de estiércol: 3 L agua + 150 mL de lactosuero
<b>T4</b>	3 kg de estiércol: 3 L agua + 200 mL de lactosuero

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Construcción del biodigestor

La construcción del biodigestor de tipo Batch se realizó a partir de los materiales presentados en la tabla siguiente.

Tabla 06. *Descripción de materiales empleados en la construcción del biodigestor.*

Ítem	Materiales	Cantidad
01	Baldes de plástico de 8 litros	12 unidades
02	Válvulas de gas	12 unidades
03	Llaves de paso de PVC de ½ “	12 unidades
04	Adaptadores de PVC de ½ “	12 unidades
05	Manguera transparente	3 metros
06	Sikaflex FC blanco	2 unidades

Fuente: elaboración propia.

Se armaron 12 pequeños biodigestores piloto con baldes de plástico transparente de un volumen de 8 L cada uno; se habilitó en la parte superior del balde la salida para el biogás con válvulas de gas cerradas a presión para evitar pérdida de biogás, de igual forma se habilitó un medidor de temperatura con manguera transparente de nivel de una longitud de 20 cm hacia la parte interior del balde, en la parte inferior del balde se instaló la llave de paso de media pulgada (ft) con su respectivo adaptador, por último se selló cada material con Sikaflex para asegurar que no haya fuga de biogás (ver anexo 11). Para la mezcla de los insumos se consideró una relación de estiércol vacuno y agua de 1:1, es decir 1 L de agua y 1 kg de estiércol vacuno, acorde a lo propuesto por Durazno (21).

#### 3.4. Conducción experimental

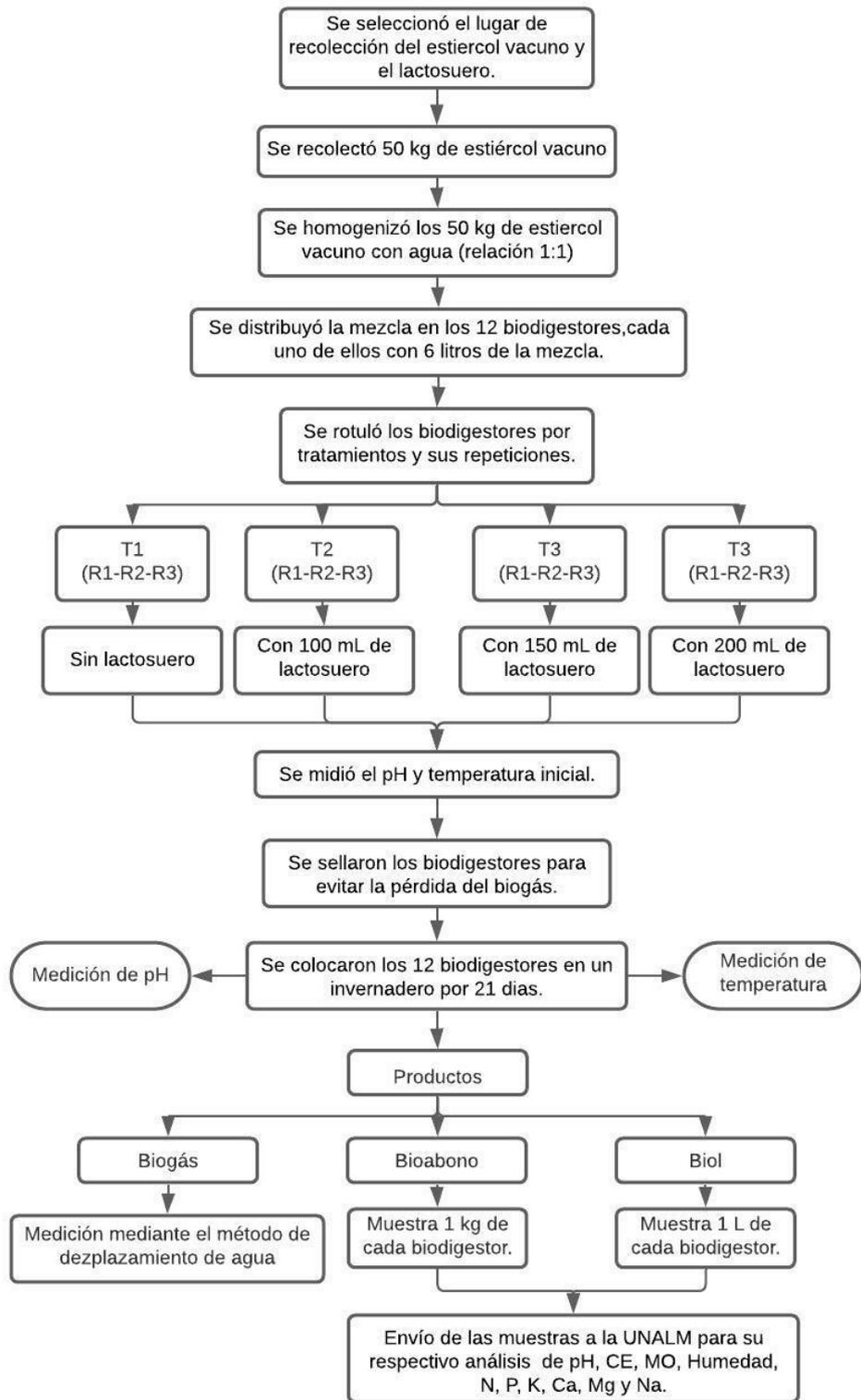


Figura 01. Conducción experimental.

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población estuvo constituida por la cantidad de biol y bioabono producido en el biodigestor.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 1 L biol y 1 kg bioabono de cada tratamiento para los análisis fisicoquímicos.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnicas

Para la presente investigación se empleó la técnica del análisis documental y la observación, ya que se implementó biodigestores con 4 tratamientos y 3 repeticiones, en los cuales se monitorearon parámetros de temperatura y pH.

#### 3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron el termómetro, el papel tornasol y el cuaderno de notas para el cotejo de los datos obtenidos de los parámetros de temperatura y pH. Para el análisis estadístico de los resultados del experimento se utilizó el software InfoStat.

### 3.7. Instalación del experimento

La instalación del experimento se realizó en el distrito de Sicaya, provincia de Huancayo, departamento de Junín, con coordenadas UTM 18L X = 469755, Y = 8671066.

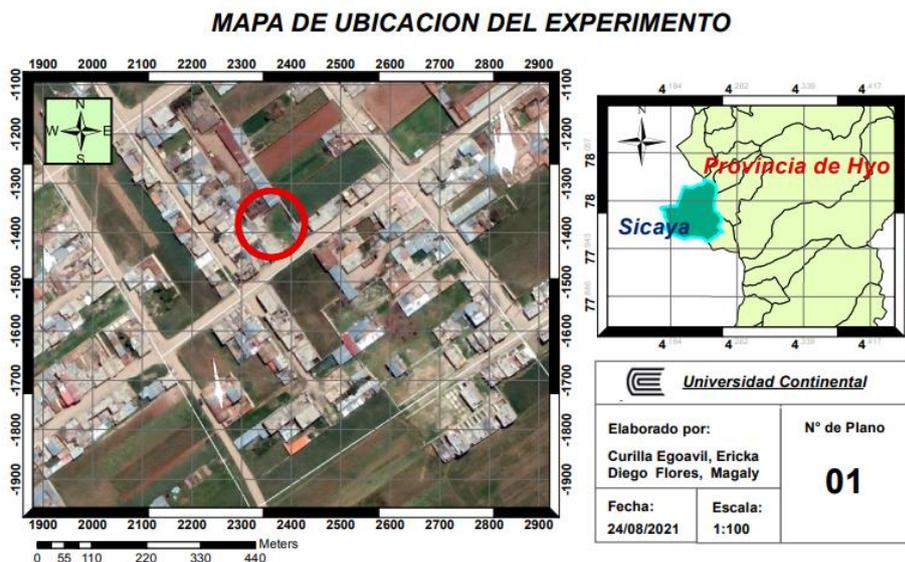


Figura 02. Ubicación del experimento.

Fuente: elaboración propia empleando Google Earth y ArcMap.

Tabla 07. Análisis del bioabono.

Parámetro	Método	Unidad
<b>Conductividad Eléctrica (CE)</b>	Conductómetro	dS.cm <sup>-1</sup> .
<b>pH</b>	Potenciómetro	Unidad pH
<b>Materia orgánica</b>	Walkley-Black	%
<b>Nitrógeno</b>	Micro Kjeldahl	%
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	Olsen modificado	%
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>	Acetato de amonio 1N	%
<b>Calcio (CaO)</b>	Absorción atómica	%
<b>Magnesio (MgO)</b>	Absorción atómica	%
<b>Sodio</b>	Absorción atómica	%
<b>Humedad</b>	Gravimétrico	%

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima, Perú.

Tabla 08. *Análisis del biol.*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>
<b>Conductividad Eléctrica (CE)</b>	Conductómetro	dS.cm <sup>-1</sup> .
<b>pH</b>	Potenciómetro	Unidad pH
<b>Materia orgánica</b>	Walkley-Black	g.L <sup>-1</sup>
<b>Nitrógeno</b>	Micro Kjeldahl	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Fósforo</b>	Olsen modificado	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Potasio</b>	Acetato de amonio 1N	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Calcio</b>	Absorción atómica	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Magnesio</b>	Absorción atómica	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Sodio</b>	Absorción atómica	mg.L <sup>-1</sup>
<b>Sólidos Totales disueltos</b>	Conductómetro	g.L <sup>-1</sup>

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima, Perú.

### 3.8. Evaluaciones del experimento

#### a. Biogás:

- Producción de biogás: para la medición del volumen del biogás se utilizó el método de desplazamiento de agua, el cual consiste en insertar la probeta de manera inversa en un envase con agua; se coloca la manguera de salida del biogás en el interior de la probeta, a continuación, se abre la válvula del gas para medir el desplazamiento del agua que representa el volumen del biogás en mL. Finalmente, la sumatoria de cada medición realizada resultó el total del volumen de biogás producido en cada tratamiento (ver figura 03).



*Figura 03.* Método desplazamiento de agua.

Fuente: propia.

- Cantidad de biol: después de medir el biogás se procedió a recolectar 1 L de biol de cada tratamiento (T1, T2, T3 y T4), para luego ser envasado en una botella descartable con su respectiva rotulación, como se puede observar en la figura 04, con la finalidad de ser enviado al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para el análisis del biol.



*Figura 04.* Muestras de biol.

Fuente: propia.

- Cantidad de bioabono: finalmente se procedió a recolectar 1 kg de bioabono de cada tratamiento (T1, T2, T3 y T4), para luego ser envasado

en una bolsa transparente con su respectiva rotulación, como se puede observar en la figura 05, con la finalidad de ser enviado al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para el análisis del bioabono.



*Figura 05.* Muestra del bioabono.

Fuente: propia.

b. Estiércol de vacuno:

Se recolectó 1 kg de estiércol de vacuno del establo de la familia Meza y fue envasado en una bolsa transparente al igual del bioabono para ser enviado al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su análisis respectivo.

### 3.9. Técnicas de análisis de datos

Al finalizar el experimento se sistematizaron los resultados obtenidos y se analizaron los datos a través de la estadística descriptiva. Inicialmente se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos de la población de donde proviene la muestra. Para los datos que tuvieron distribución normal se realizó el análisis de varianza y para los datos que no tuvieron distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, además la prueba de Duncan permitió la comparación múltiple de los promedios de los tratamientos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1. Producción de biogás

Tabla 09. *Resultados de la producción acumulada de biogás (mL).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	25	23	22	23.33
T2: 100 mL de lactosuero	30	28	26	28
T3: 150 mL de lactosuero	25	23	25	24.33
T4: 200 mL de lactosuero	31	32	29	30.67

Fuente: elaboración propia.

En los resultados obtenidos se observa que la mayor cantidad de biogás se presenta en el tratamiento cuatro (T4), esto se verifica ya que en las tres repeticiones realizadas se presentan sus máximos valores. El tratamiento uno (T1) genera menor cantidad de biogás. Los datos se presentan en la tabla 9.

El incremento de las cantidades de lactosuero incrementan significativamente la producción de biogás, debido a las dosis crecientes aplicadas, además por la acción de los compuestos proteicos los cuales

también incrementaron la generación de biogás, lo cual se corrobora por las referencias que indican que, normalmente, en la digestión anaerobia más del 90 % de la energía disponible, por oxidación directa, se transforma en metano (30).

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 10. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la producción de biogás.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	23.33	0.58	0.75	< 0.0001
T2: 100 mL de lactosuero	28.00	2.00	1.00	> 0.9999
T3: 150 mL de lactosuero	24.33	1.15	0.75	< 0.0001
T4: 200 mL de lactosuero	30.67	1.53	0.96	< 0.0001

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos (T1 = < 0.0001), se rechaza la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 10. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

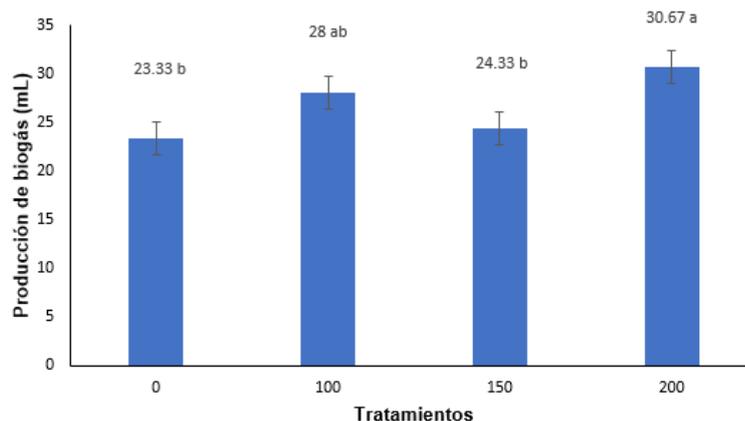


Figura 06. Prueba de Kruskal-Wallis para la producción acumulada de biogás.

Fuente: Elaboración propia.

\*Nota: Las líneas al centro de las barras representan el error típico.

En la figura 06 se observa la producción acumulada de biogás de cada tratamiento, junto a cada promedio se encuentra la significación estadística, evidenciando que los promedios con la misma letra son iguales estadísticamente. El tratamiento cuatro (T4) con 200 mL de lactosuero tiene la mayor producción de biogás estadísticamente y el tratamiento uno (T1), es decir el tratamiento testigo, tiene la menor producción junto con el tratamiento dos (T2) con 150 mL de lactosuero.

#### 4.1.2. Características del bioabono

##### 4.1.2.1. pH

Tabla 11. Resultados del pH del bioabono.

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	7.13	7.28	6.96	7.12
T2: 100 mL de lactosuero	6.81	6.98	7.03	6.94
T3: 150 mL de lactosuero	7.00	6.89	6.97	6.95
T4: 200 mL de lactosuero	6.96	7.12	6.85	6.98

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 11 se observa que en el tratamiento uno (T1) con 0 mL de lactosuero se obtuvo mayor pH a diferencia de los demás tratamientos que contienen diferentes dosis de lactosuero.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 12. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH del bioabono.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	7.12	0.16	1.00	0.9302
T2: 100 mL de lactosuero	6.94	0.12	0.91	0.4162
T3: 150 mL de lactosuero	6.95	0.06	0.94	0.5122
T4: 200 mL de lactosuero	6.98	0.14	0.99	0.7961

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 12.

Se procedió a realizar el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si los tratamientos son iguales o diferentes estadísticamente; si  $p > 0.05$  son iguales y si  $p < 0.05$  son diferentes estadísticamente.

Tabla 13. *Análisis de varianza del pH.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	0.065	3	0.022	1.421	0.3065
Error	0.121	8	0.015		
Total	0.186	11			
S = 0.122		$\bar{x} = 7.00$		CV = 1.759 %	

Fuente: elaboración propia.

No se observó diferencias significativas en los valores de pH de los diferentes tratamientos (p-valor > 0.05) debido a los niveles de lactosuero aplicados, lo cual muestra que los compuestos constituyentes del lactosuero (por ejemplo, la lactosa) no evidenciaron el incremento significativo de H<sup>+</sup> u OH<sup>-</sup> para hacer variar el pH. Se alcanzó un promedio de pH = 7.0. Los datos se presentan en la tabla 13.

#### 4.1.2.2. Conductividad Eléctrica (CE)

Tabla 14. *Resultados de la CE del bioabono (dS.m<sup>-1</sup>).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	3.69	4.15	6.40	4.75
T2: 100 mL de lactosuero	6.21	6.17	6.20	6.19
T3: 150 mL de lactosuero	6.24	6.08	4.85	5.72
T4: 200 mL de lactosuero	6.35	6.64	6.16	6.38

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En los resultados se observa que el T1, el cual no tiene lactosuero, tuvo un menor promedio de las tres repeticiones de CE en comparación a los demás tratamientos que contienen lactosuero. Así también, los promedios de cada tratamiento

muestran un alto contenido de sales ya que los valores son mayores a 4 dS.m<sup>-1</sup>, una de las explicaciones podría ser que los productores de quesos adicionan sal en el proceso de producción.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 15. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la CE.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	4.747	1.450	0.873	0.3026
T2: 100 mL de lactosuero	6.193	0.021	0.923	0.4628
T3: 150 mL de lactosuero	5.723	0.761	0.835	0.2080
T4: 200 mL de lactosuero	6.383	0.242	0.986	0.7713

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 15.

Tabla 16. Análisis de varianza de la CE.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	4.814	3	1.605	2.342	0.1494
Error	5.481	8	0.685		
Total	10.294	11			
S = 0.828		$\bar{x} = 5.762$		CV = 14.366 %	

Fuente: elaboración propia.

No se observó significación estadística entre los tratamientos de las dosis de lactosuero para la conductividad eléctrica del sustrato final ( $p$ -valor  $> 0.05$ ), con un promedio de  $5.762 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  que evidencia una alta concentración de sales ( $> 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Los datos se presentan en la tabla 16.

#### 4.1.2.3. Contenido de materia orgánica (%)

Tabla 17. *Resultados del contenido de materia orgánica.*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	68.37	67.81	73.03	69.74
T2: 100 mL de lactosuero	70.92	73.76	74.64	73.11
T3: 150 mL de lactosuero	72.55	72.24	69.97	71.59
T4: 200 mL de lactosuero	71.30	74.09	71.41	72.27

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados de la tabla 17 representan el porcentaje (%) de materia orgánica presentes en el bioabono producido en cada tratamiento, se observa que el T1, el cual no contiene lactosuero, muestra un menor porcentaje de materia orgánica, en cambio en el T2 muestra mayor porcentaje de materia orgánica en comparación a los demás tratamientos.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, proponiendo las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 18. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de materia orgánica.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	69.737	2.866	0.29	0.1870
T2: 100 mL de lactosuero	73.107	1.944	0.915	0.4354
T3: 150 mL de lactosuero	71.587	1.409	0.839	0.2111
T4: 200 mL de lactosuero	72.267	1.580	0.780	0.0673

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 18. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 19. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	18.494	3	6.165	1.497	0.2876
Error	32.947	8	4.118		
Total	51.441	11			
S = 2.029		$\bar{x} = 71.674$		CV = 2.831 %	

Fuente: elaboración propia.

No se encontró significación estadística entre los tratamientos de lactosuero para el contenido de materia orgánica (p-valor > 0.05), alcanzando un promedio de 71.674 %, considerado alto, debido a los componentes proteínicos y carbohidratos presentes en el estiércol y lactosuero. Los datos se presentan en la tabla 19.

#### 4.1.2.4. Contenido de nitrógeno (N) (%)

Tabla 20. *Resultados del contenido de nitrógeno (N).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	2.14	2.22	2.28	2.21
T2: 100 mL de lactosuero	2.32	2.29	2.41	2.34
T3: 150 mL de lactosuero	2.37	2.37	2.36	2.37
T4: 200 mL de lactosuero	2.26	2.44	2.37	2.36

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados de la tabla 20 representa el porcentaje de nitrógeno presentes en el bioabono. Se observa que el T1 tiene un porcentaje menor de nitrógeno y el T3 muestra un mayor porcentaje de nitrógeno.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, proponiendo las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 21. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de N.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	2.213	0.070	0.993	0.8439
T2: 100 mL de lactosuero	2.340	0.062	0.923	0.4628
T3: 150 mL de lactosuero	2.367	0.006	0.750	< 0.0001
T4: 200 mL de lactosuero	2.357	0.091	0.984	0.7700

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos ( $T3 = < 0.0001$ ), se rechazó la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 21. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

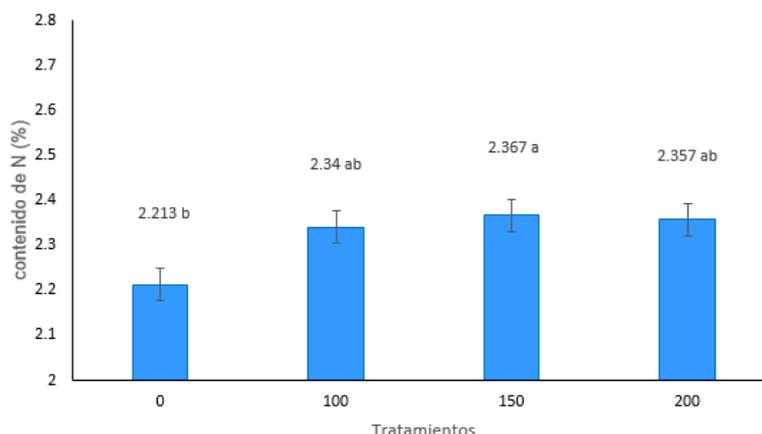


Figura 07. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de nitrógeno.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 07 se observa el contenido de nitrógeno en porcentaje de cada tratamiento, junto a cada promedio se encuentra la significación estadística, evidenciando que los promedios con la misma letra son iguales estadísticamente. La cantidad de nitrógeno sobresaliente se dio en el tratamiento tres (T3) con 150 mL de lactosuero, sin diferencias significativas con los tratamientos de 100 y 200 mL, y todos superiores al tratamiento sin lactosuero.

#### 4.1.2.5. Contenido de fósforo ( $P_2O_5$ ) (%)

Tabla 22. Resultados del contenido de fósforo ( $P_2O_5$ ).

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	1.99	2.16	1.76	1.97
T2: 100 mL de lactosuero	2.21	1.61	1.65	1.82
T3: 150 mL de lactosuero	1.61	1.56	2.29	1.82
T4: 200 mL de lactosuero	2.29	1.71	2.18	2.06

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 22 se observa que los promedios del tratamiento dos (T2) y tres (T3) tuvieron menor porcentaje de fósforo y en el tratamiento cuatro (T4) se tuvo mayor porcentaje de fósforo. Se evidencia que el lactosuero no tuvo efecto en la producción de fósforo.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\* $H_0$ : La población está distribuida normalmente.

\* $H_a$ : La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 23. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de  $P_2O_5$ .

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	1.970	0.201	0.993	0.8339
T2: 100 mL de lactosuero	1.823	0.335	0.800	0.1149
T3: 150 mL de lactosuero	1.820	0.408	0.801	0.1186
T4: 200 mL de lactosuero	2.060	0.308	0.886	0.3395

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la

población de donde provienen las muestras, tienen una distribución normal. Se procedió a realizar el análisis de varianza. Los datos se presentan en la tabla 23.

Tabla 24. *Análisis de varianza del contenido de fósforo.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	0.124	3	0.041	0.400	0.7567
Error	0.828	8	0.104		
Total	0.952	11			
S = 0.322		$\bar{x} = 1.918$		CV = 16.771 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza para el contenido de fósforo no presentó significación estadística ( $p\text{-valor} > 0.05$ ) para la fuente de variación de tratamientos, debido a que las diferentes dosis de lactosuero no afectaron el contenido de fósforo en el bioabono, alcanzando un promedio de 1.918 % de  $P_2O_5$ . Los datos se presentan en la tabla 24.

#### 4.1.2.6. Contenido de potasio ( $K_2O$ ) (%)

Tabla 25. *Resultados del contenido de potasio ( $K_2O$ ).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	0.76	0.78	0.78	0.77
T2: 100 mL de lactosuero	0.69	0.71	0.68	0.69
T3: 150 mL de lactosuero	0.80	0.75	0.76	0.77
T4: 200 mL de lactosuero	0.76	0.87	0.79	0.81

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 25 se observa que en el tratamiento dos (T2) con 100 mL de lactosuero se obtuvo menor porcentaje de potasio y con 200 mL de lactosuero se obtuvo un mayor porcentaje de potasio, esto evidencia que el lactosuero tuvo efectos en el porcentaje de fósforo.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 26. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de K<sub>2</sub>O.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	0.773	0.012	0.750	< 0.0001
T2: 100 mL de lactosuero	0.693	0.015	0.964	0.6394
T3: 150 mL de lactosuero	0.770	0.026	0.893	0.3614
T4: 200 mL de lactosuero	0.807	0.057	0.936	0.5122

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos (T1 = < 0.0001), se rechaza la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 26. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

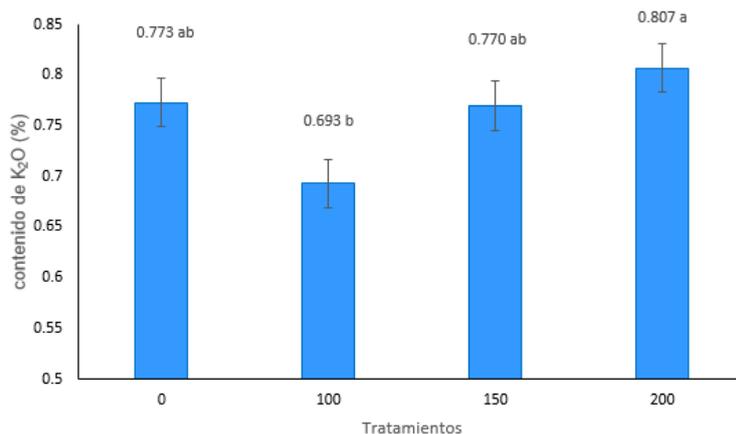


Figura 08. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de potasio.

Fuente: elaboración propia.

El contenido de potasio tuvo que al tratamiento de 200 mL de lactosuero como sobresaliente, sin diferencias significativas con los tratamientos de 0 mL y 150 mL de lactosuero, sin embargo, superaron al tratamiento con 100 mL de lactosuero. Esto se atribuye al efecto del lactosuero en dosis de 150 y 200 mL (dosis altas), en favorecer la solubilidad del potasio en el material preparado para biodigestar y a la presencia de este elemento en el estiércol utilizado, pero a bajas dosis (100 mL de lactosuero) no incrementó significativamente el potasio en el bioabono. Los datos se presentan en la figura 08.

#### 4.1.2.7. Contenido de calcio (CaO) (%)

Tabla 27. Resultados del contenido de calcio (CaO).

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	6.36	5.36	5.26	5.66
T2: 100 mL de lactosuero	4.90	4.60	4.21	4.57
T3: 150 mL de lactosuero	5.58	4.75	5.32	5.22
T4: 200 mL de lactosuero	5.26	5.21	5.63	5.37

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 27 se observa que el tratamiento uno (T1) con 0 mL de lactosuero tuvo mayor porcentaje de calcio y los tratamientos que contienen lactosuero presentaron menores porcentajes de calcio.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 28. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de CaO.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	5.660	0.608	0.818	0.1575
T2: 100 mL de lactosuero	4.570	0.346	0.994	0.8579
T3: 150 mL de lactosuero	5.217	0.425	0.956	0.5928
T4: 200 mL de lactosuero	5.367	0.229	0.838	0.2086

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 28. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 29. Análisis de varianza del contenido de calcio.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	1.910	3	0.637	3.524	0.0685

Error	1.445	8	0.181
Total	3.355	11	
S = 0.425		$\bar{x} = 5.203$	CV = 8.168 %

Fuente: elaboración propia.

El contenido de calcio (%) en el biosólido no presentó diferencias significativas entre los tratamientos con lactosuero ( $p$ -valor > 0.05), debido posiblemente al bajo contenido de este elemento en las fuentes orgánicas a biodigestar. Los datos se presentan en la tabla 29.

#### 4.1.2.8. Contenido de magnesio (MgO) (%)

Tabla 30. Resultados del contenido de magnesio (MgO).

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	1.04	1.09	1.21	1.11
T2: 100 mL de lactosuero	1.00	1.09	0.95	1.01
T3: 150 mL de lactosuero	1.21	0.97	1.02	1.07
T4: 200 mL de lactosuero	1.06	1.13	1.16	1.12

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 30 se observa que el promedio de los tratamientos uno (T1) y cuatro (T4) son valores cercanos, de modo que es posible afirmar que el lactosuero no tuvo efecto en el porcentaje de magnesio.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 31. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de MgO.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	5.660	0.608	0.818	0.1575
T2: 100 mL de lactosuero	4.570	0.346	0.994	0.8579
T3: 150 mL de lactosuero	5.217	0.425	0.956	0.5928
T4: 200 mL de lactosuero	5.367	0.229	0.838	0.2086

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 31. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 32. *Análisis de varianza del contenido de magnesio.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	0.021	3	0.007	0.900	0.4822
Error	0.063	8	0.008		
Total	0.084	11			
S = 0.089		$\bar{x} = 1.078$		CV = 8.214 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de magnesio (%) mostró que no hubo diferencias significativas en la fuente de tratamientos (p-valor > 0.05), evidenciando que las dosis de lactosuero no influenciaron en el contenido de magnesio del biosólido. Los datos se presentan en la tabla 32.

#### 4.1.2.9. Contenido de sodio (Na) (%)

Tabla 33. Resultados del contenido de sodio (Na).

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	0.13	0.16	0.11	0.13
T2: 100 mL de lactosuero	0.14	0.11	0.12	0.12
T3: 150 mL de lactosuero	0.13	0.12	0.15	0.13
T4: 200 mL de lactosuero	0.16	0.15	0.17	0.16

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 33 se observan los porcentajes de sodio de cada tratamiento, lo cual indica que los valores obtenidos no tuvieron efecto por la adición de lactosuero, ya que las tres repeticiones mostraron valores cercanos.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 34. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de Na.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	0.133	0.025	0.987	0.7806
T2: 100 mL de lactosuero	0.123	0.015	0.964	0.6394
T3: 150 mL de lactosuero	0.133	0.015	0.964	0.6394
T4: 200 mL de lactosuero	0.160	0.010	1.000	> 0.9999

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 34. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 35. *Análisis de varianza del contenido de sodio.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	0.002	3	0.001	2.472	0.1361
Error	0.002	8	3.0E-04		
Total	0.005	11			
S = 0.017		$\bar{x} = 0.138$		CV = 12.597 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de sodio (%) en el bioabono mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (p-valor > 0.05), indicando que las dosis de lactosuero no afectaron el contenido de este elemento alcalino térreo. Los datos se presentan en la tabla 35.

#### 4.1.2.10. Contenido de humedad (%)

Tabla 36. *Resultados del contenido de humedad (%).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	85.74	86.84	86.62	86.40
T2: 100 mL de lactosuero	87.45	87.43	87.24	87.37
T3: 150 mL de lactosuero	86.85	86.56	86.65	86.69
T4: 200 mL de lactosuero	87.67	87.18	87.18	87.34

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 36 se observa que el mayor porcentaje de humedad se presentó en el tratamiento dos (T2) y en el tratamiento cuatro (T4) con 100 mL y 200 mL de lactosuero respectivamente, y en menor porcentaje se presentó en el tratamiento uno (T1) el cual no contiene lactosuero.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 37. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de humedad.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	86.400	0.582	0.893	0.3614
T2: 100 mL de lactosuero	87.373	0.116	0.821	0.1652
T3: 150 mL de lactosuero	86.687	0.148	0.954	0.5861
T4: 200 mL de lactosuero	87.343	0.283	0.750	> 0.0001

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos (T3 = < 0.0001), se rechaza la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 37. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

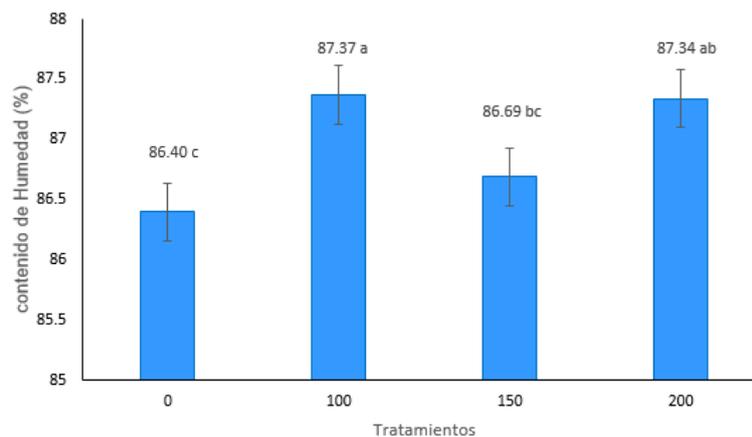


Figura 09. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de humedad.

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que el tratamiento con 100 mL de lactosuero sobresalió en contenido de humedad, sin diferencias significativas con el tratamiento de 200 mL de lactosuero, pero ambos tratamientos fueron superiores significativamente que los tratamientos con 0 y 150 mL de lactosuero. Los datos se presentan en la figura 09.

#### 4.1.3. Características del biol

##### 4.1.3.1. pH

Tabla 38. Resultados del pH del biol.

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	6.23	6.20	6.02	6.150
T2: 100 mL de lactosuero	6.05	6.00	6.02	6.023
T3: 150 mL de lactosuero	6.01	6.00	6.00	6.003
T4: 200 mL de lactosuero	5.99	5.95	6.02	5.987

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 38 se observan los resultados de pH del biol, donde los tratamientos 1, 2 y 3 se mantuvieron por encima de 6, mientras que el tratamiento 4 se encontró por debajo de 6. Además, se observa que el pH desciende; cuanto más alta sea la dosis de lactosuero menor valor de pH.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, proponiendo las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 39. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH del biol.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	6.150	0.114	0.855	0.2519
T2: 100 mL de lactosuero	6.023	0.025	0.987	0.7806
T3: 150 mL de lactosuero	6.003	0.006	0.750	< 0.0001
T4: 200 mL de lactosuero	5.987	0.035	0.993	0.8439

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos (T3 = < 0.0001), se rechaza la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 39. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

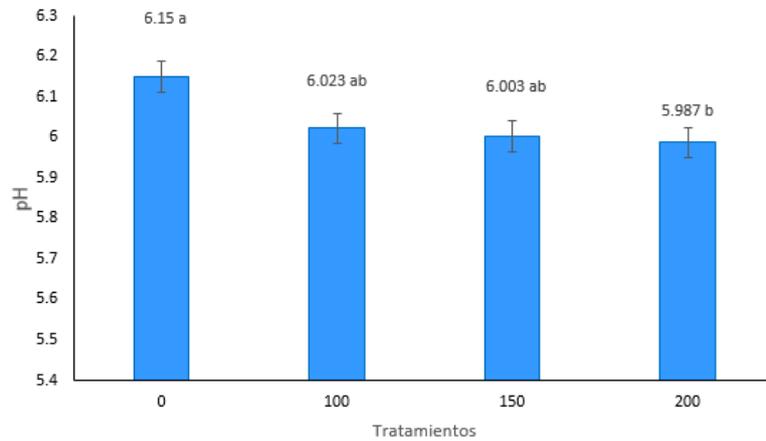


Figura 10. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del biol.

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que los tratamientos con lactosuero (100, 150 y 200 mL) disminuyeron significativamente el pH del biol, debido al incremento de iones hidrógeno en solución, derivados de la descomposición anaeróbica de los materiales orgánicos en el biodigestor. Los datos se presentan en la figura 10.

#### 4.1.3.2. Conductividad Eléctrica (CE)

Tabla 40. Resultados de la CE del biol ( $dS.m^{-1}$ ).

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	11.20	9.35	11.50	10.683
T2: 100 mL de lactosuero	9.60	11.20	11.00	10.600
T3: 150 mL de lactosuero	11.80	11.60	9.83	11.077
T4: 200 mL de lactosuero	11.00	11.60	11.30	11.300

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados de CE del biol oscilan entre 9.35 y 11.60  $dS.m^{-1}$ , estos valores muestran un alto contenido de sales ( $> 4 dS.m^{-1}$ ).

El tratamiento tres (T3) y cuatro (T4) presentaron mayor contenido de sales tal como se observa en la tabla 40.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 41. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la CE.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	10.683	1.164	0.852	0.2455
T2: 100 mL de lactosuero	10.600	0.872	0.842	0.2190
T3: 150 mL de lactosuero	11.077	1.084	0.825	0.1769
T4: 200 mL de lactosuero	11.300	0.300	1.000	> 0.9999

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 41. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 42. Análisis de varianza de la CE.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	0.982	3	0.327	0.387	0.7655
Error	6.763	8	0.845		
Total	7.745	11			
S = 0.919		$\bar{x} = 10.92$		CV = 8.424 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) del biol no mostró significación estadística en la fuente de tratamientos, debido a que no hubo efecto de los tratamientos con lactosuero en la salinidad del abono líquido obtenido. El promedio general fue de  $10.92 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , un valor que indica alta concentración de sales. Los datos se presentan en la tabla 42.

#### 4.1.3.3. Contenido de material orgánica ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )

Tabla 43. Resultados del contenido de materia orgánica.

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	26.90	20.49	14.88	20.76
T2: 100 mL de lactosuero	22.11	16.32	14.75	17.73
T3: 150 mL de lactosuero	13.90	16.23	19.14	16.42
T4: 200 mL de lactosuero	27.25	19.49	18.79	21.84

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados de materia orgánica en  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  del biol mostrada en la tabla 43 evidencian que el tratamiento cuatro (T4) presenta mayor concentración de materia orgánica y el tratamiento tres (T3) presentó menor contenido. Lo cual indica que el lactosuero no tuvo efecto respecto a la materia orgánica.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\* $H_0$ : La población está distribuida normalmente.

\* $H_a$ : La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 44. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de materia orgánica.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	20.76	6.014	0.999	0.9238
T2: 100 mL de lactosuero	17.73	3.876	0.901	0.3859
T3: 150 mL de lactosuero	16.42	2.625	0.996	0.8778
T4: 200 mL de lactosuero	21.84	4.695	0.812	0.1425

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 44. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 45. Análisis de varianza del contenido de materia orgánica.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	57.871	3	19.290	0.963	0.4559
Error	160.278	8	20.035		
Total	218.149	11			
S = 4.476		$\bar{x} = 19.188$		CV = 23.328 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de materia orgánica en el biol no mostró significación estadística en la fuente de tratamientos (p-valor > 0.05) debido a que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de materia orgánica en el biol. Los datos se presentan en la tabla 45.

#### 4.1.3.4. Sólidos totales disueltos (g/L)

Tabla 46. *Resultados del contenido de sólidos totales disueltos (g/L).*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	39.93	29.44	21.27	30.213
T2: 100 mL de lactosuero	31.03	23.19	21.27	25.163
T3: 150 mL de lactosuero	20.38	23.30	27.38	23.687
T4: 200 mL de lactosuero	38.26	27.44	26.60	30.767

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 46 se observan los resultados de las concentraciones de sólidos totales disueltos (g/L), donde los tratamientos 1 y 4 presentaron resultados similares de sólidos totales disueltos, por lo tanto, el lactosuero no tuvo efecto.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 47. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de sólidos totales disueltos.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	30.213	9.354	0.995	0.8644
T2: 100 mL de lactosuero	25.163	5.171	0.891	0.3535
T3: 150 mL de lactosuero	23.687	3.516	0.991	0.8239
T4: 200 mL de lactosuero	30.767	6.503	0.804	0.1242

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la

población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 47. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 48. *Análisis de varianza de sólidos totales disueltos.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	114.083	3	38.028	0.901	0.4820
Error	337.767	8	42.221		
Total	451.850	11			
S = 6.498		$\bar{x} = 27.458$		CV = 23.665 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de sólidos totales disueltos en el biol no mostró significación estadística en la fuente de tratamientos ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), debido a que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de sólidos totales disueltos. Los sólidos totales disueltos cuando tienen altos valores presentan turbidez en la solución de biol. Los datos se presentan en la tabla 48.

#### 4.1.3.5. Contenido de nitrógeno ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Tabla 49. *Resultados del contenido de nitrógeno en biol.*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	2 023.00	1 589.00	1 232.00	1 614.667
T2: 100 mL de lactosuero	1 442.00	1 267.00	959.00	1 222.667
T3: 150 mL de lactosuero	1 127.00	1 169.00	1 309.00	1 201.667
T4: 200 mL de lactosuero	1 701.00	1 393.00	1 414.00	1 502.667

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima

En la tabla 49 se observan los resultados del contenido de nitrógeno del biol, donde el tratamiento uno (T1) presentó mayor contenido de nitrógeno mientras que los demás tratamientos que contienen lactosuero presentaron menor contenido de nitrógeno.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 50. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) el para contenido de N.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	1 614.667	396.124	0.997	0.8970
T2: 100 mL de lactosuero	1 222.667	244.533	0.975	0.7043
T3: 150 mL de lactosuero	1 201.667	95.296	0.912	0.4213
T4: 200 mL de lactosuero	1 502.667	172.082	0.801	0.1169

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 50. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 51. Análisis de varianza de nitrógeno total.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	379 664.250	3	126 554.750	1.982	0.1953
Error	510 808.667	8	63 851.083		
Total	890 472.917	11			

S = 252.688	$\bar{x} = 1\ 385.417$	CV = 18.239 %
-------------	------------------------	---------------

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de nitrógeno total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) en el biol no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) evidenciando que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de este elemento. El promedio del contenido de nitrógeno de todo el experimento fue de  $1\ 385.417\ \text{mg.L}^{-1}$ . Los datos se presentan en la tabla 51.

#### 4.1.3.6. Contenido de fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Tabla 52. Resultados del contenido de fósforo.

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	497.31	343.31	269.89	370.170
T2: 100 mL de lactosuero	307.50	282.43	268.10	286.010
T3: 150 mL de lactosuero	253.77	291.38	302.12	282.423
T4: 200 mL de lactosuero	368.38	332.57	311.08	337.343

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados del contenido de fósforo del biol mostrado en la tabla 52 evidencian que el tratamiento uno (T1) presentó mayor contenido de fósforo en comparación a los demás tratamientos que contienen lactosuero.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 53. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de fósforo.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	370.170	116.065	0.960	0.6120
T2: 100 mL de lactosuero	286.010	19.942	0.976	0.6993
T3: 150 mL de lactosuero	282.423	25.389	0.907	0.4068
T4: 200 mL de lactosuero	337.343	28.947	0.980	0.7233

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 53. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 54. Análisis de varianza del contenido de fósforo.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	16 143.116	3	5 381.039	1.402	0.3113
Error	30 702.538	8	3 837.817		
Total	46 845.654	11			
S = 61.950		$\bar{x} = 318.987$		CV = 19.421 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de fósforo en el biol, no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), evidenciando que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de fósforo. El promedio alcanzado en todo el experimento fue de 318.987 mg P.L<sup>-1</sup>. Los datos se presentan en la tabla 54.

#### 4.1.3.7. Contenido de potasio (mg.L<sup>-1</sup>)

Tabla 55. Resultados del contenido de potasio.

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	1 228.75	860.50	115.75	1 068.333
T2: 100 mL de lactosuero	1 056.00	1 087.25	919.50	1 020.917
T3: 150 mL de lactosuero	764.50	595.50	952.00	770.667
T4: 200 mL de lactosuero	922.75	910.50	804.00	879.083

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En los resultados del contenido del potasio en el biol mostrados en la tabla 55 se observa que el tratamiento uno (T1) mostró mayor contenido de potasio y el tratamiento tres (T3) presentó menor contenido de potasio.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 56. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de potasio.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	1 068.333	188.649	0.953	0.5794
T2: 100 mL de lactosuero	1 020.917	89.208	0.884	0.3330
T3: 150 mL de lactosuero	770.667	178.330	0.999	0.9412
T4: 200 mL de lactosuero	879.083	65.312	0.826	0.1808

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una

distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 56. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 57. *Análisis de varianza del contenido de potasio.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	165 873.958	3	55 291.319	2.778	0.1102
Error	159 227.292	8	19 903.411		
Total	325 101.250	11			
S = 141.079		$\bar{x} = 934.750$		CV = 15.093 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de potasio en el biol mostró que en la fuente de tratamientos no hubo diferencias significativas ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), debido a que las dosis de lactosuero no afectaron el contenido de potasio en solución. El valor promedio de todo el experimento fue de 934.750 mg K.L<sup>-1</sup>. Los datos se presentan en la tabla 57

#### 4.1.3.8. Contenido de calcio (mg.L<sup>-1</sup>)

Tabla 58. *Resultados del contenido de calcio.*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	79.25	59.03	67.30	68.527
T2: 100 mL de lactosuero	54.33	52.75	73.75	60.277
T3: 150 mL de lactosuero	53.20	67.45	67.00	62.550
T4: 200 mL de lactosuero	53.98	54.98	70.05	59.670

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

En la tabla 58 se observan los resultados del contenido de calcio en donde se indica que el tratamiento uno (T1) sin contenido de lactosuero presentó mayor contenido de calcio en comparación a los demás tratamientos con lactosuero.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 59. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de calcio.

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	68.527	10.166	0.989	0.7993
T2: 100 mL de lactosuero	60.277	11.695	0.806	0.1280
T3: 150 mL de lactosuero	62.550	8.100	0.774	0.0523
T4: 200 mL de lactosuero	59.670	9.003	0.796	0.1063

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la H<sub>0</sub> y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 59. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 60. Análisis de varianza del contenido de calcio.

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	147.041	3	49.014	0.507	0.6884
Error	773.577	8	96.697		
Total	920.618	11			
S = 9.833		$\bar{x} = 62.576$		CV = 15.669 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de calcio en el biol, no mostró diferencias estadísticas significativas en la fuente de variación (F. de V.) de los tratamientos, debido a que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de calcio en la solución. El promedio alcanzado en todo el experimento fue de 62.576 mg.L<sup>-1</sup>. Los datos se presentan en la tabla 60.

#### 4.1.3.9. Contenido de magnesio (mg.L<sup>-1</sup>)

Tabla 61. *Resultados del contenido de magnesio.*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	84.63	82.75	84.25	83.877
T2: 100 mL de lactosuero	87.98	78.03	89.25	85.087
T3: 150 mL de lactosuero	86.50	88.98	91.58	89.020
T4: 200 mL de lactosuero	84.40	82.75	85.48	84.210

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados del contenido de magnesio presentes en el biol varían entre 83.877 y 89.020 mg/L, evidenciándose que no hubo efecto del lactosuero, tal como se observa en la tabla 61.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 62. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de magnesio.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	83.877	0.994	0.894	0.3642
T2: 100 mL de lactosuero	85.087	6.144	0.834	0.1995
T3: 150 mL de lactosuero	89.020	2.540	1.000	0.9733
T4: 200 mL de lactosuero	84.210	1.375	0.986	0.7711

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) en todos los tratamientos, se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población de donde provienen las muestras tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 62. Se procedió a realizar el análisis de varianza.

Tabla 63. *Análisis de varianza del contenido de magnesio.*

F. de V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	50.554	3	16.851	1.432	0.3037
Error	94.164	8	11.770		
Total	144.717	11			
S = 3.431		$\bar{x} = 85.548$		CV = 4.010 %	

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de magnesio en el biol no mostró diferencias estadísticas significativas en la fuente de variación (F. de V.) de los tratamientos, debido a que los niveles de lactosuero (100, 150 y 200 mL) no hicieron variar el contenido de este elemento en solución. El promedio alcanzado en todo el experimento fue de 85.548 mg  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Los datos se presentan en la tabla 63.

#### 4.1.3.10. Contenido de sodio (mg.L<sup>-1</sup>)

Tabla 64. *Resultados del contenido de sodio.*

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: 0 mL de lactosuero	147.25	179.50	168.00	164.917
T2: 100 mL de lactosuero	272.50	189.50	139.00	200.333
T3: 150 mL de lactosuero	147.75	109.25	176.25	144.417
T4: 200 mL de lactosuero	232.00	168.25	167.75	189.333

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima.

Los resultados del contenido de sodio presentes en el biol mostraron que el tratamiento tres (T3) tuvo menor contenido de sodio y el tratamiento dos (T2) tuvo mayor contenido de sodio, tal como se muestra en la tabla 64.

Se procedió a verificar si los datos de la muestra provienen de una población normal, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis:

\*H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

\*H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

\*Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

Tabla 65. *Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el contenido de sodio.*

Tratamiento	Media	D.E.	W	p-valor
T1: 0 mL de lactosuero	164.917	16.345	0.973	0.6918
T2: 100 mL de lactosuero	200.333	67.406	0.981	0.7387
T3: 150 mL de lactosuero	144.417	33.624	0.993	0.8346
T4: 200 mL de lactosuero	189.333	36.951	0.756	0.0127

Fuente: elaboración propia.

Como el p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), en al menos uno de los tratamientos ( $T4 = 0.0127$ ), se rechaza la  $H_0$  y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal. Los datos se presentan en la tabla 65. Se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis.

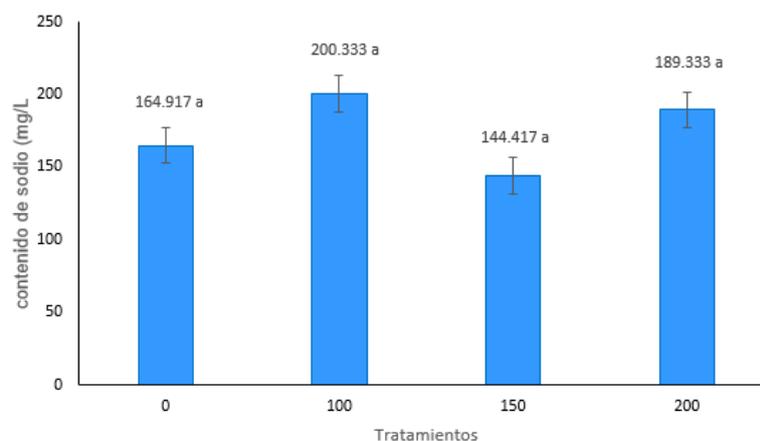


Figura 11. Prueba de Kruskal-Wallis para contenido de sodio.

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal Wallis para el contenido de sodio en el biol no presentó diferencias estadísticas significativas en la fuente de variación de los tratamientos, debido a que las dosis de lactosuero no hicieron variar el contenido de este elemento alcalino en la solución. Los datos se presentan en la figura 11.

#### 4.2. Discusión de resultados

Los resultados de la cantidad producida de biogás presentaron un incremento respecto al tratamiento sin lactosuero (T1), debido a las dosis del lactosuero utilizado en este experimento. En el tratamiento 4 con 200 mL de lactosuero se obtuvo mayor producción de biogás; similares resultados se obtuvieron en la investigación de Zambrano (17) quien utilizó proporciones de estiércol y lactosuero de 1:3, 1:5 y 1:7 mostrando en sus resultados que la proporción de 1:7 donde se

utilizó mayor cantidad de lactosuero resultando la mezcla óptima para la producción de biogás. Entonces, esto genera la propuesta de nuevos ensayos, donde la proporción de lactosuero sea mayor para evaluar su efecto en la producción de biogás. Así también es importante considerar los parámetros de pH y temperatura ya que son factores relevantes en la producción del biogás, como lo menciona Giraldo (18). Sin embargo, los investigadores Barrena *et al.* (26) mencionan que teniendo la temperatura ambiente promedio de 14.4°C (relativamente baja) se obtuvo biogás a los 29 días, que fue utilizado como combustible de una cocina para la preparación diaria de los alimentos de la familia.

El pH del bioabono producido en el proceso de digestión anaerobia no tuvo efecto por las dosis de lactosuero de acuerdo al análisis de varianza ya que se determinó que los tratamientos son iguales estadísticamente. Tal como se observa en la tabla 13, alcanzando un promedio de los cuatro tratamientos de 7.00, siendo inferior al resultado de 8.18 obtenido por Aguirre y Leal (25); el aumento se debe a que ellos utilizaron como insumo a la ceniza, provocando un rápido aumento del pH.

La Conductividad Eléctrica (CE) del bioabono producido por la digestión anaeróbica de la mezcla de estiércol de vacuno y cuatro dosis de lactosuero no mostró diferencias significativas teniendo un promedio de 5.762 dS.m<sup>-1</sup>, siendo muy inferior al resultado de 13.61 dS.m<sup>-1</sup> obtenido por Aguirre y Leal (25), eso quiere decir que el resultado de CE de esta investigación tiene menor concentración de sales solubles.

Los resultados de materia orgánica obtenidos del bioabono no evidenciaron un efecto por las dosis de lactosuero de acuerdo al análisis de varianza, ya que se determinó que los tratamientos son iguales estadísticamente. El promedio obtenido del porcentaje de materia orgánica fue 71.674 % superando el rango de 60 - 70 % mencionada en la investigación de Piedrahita y Caviedes (20).

Los resultados del porcentaje de nitrógeno total en el bioabono de cada tratamiento tuvieron efecto por las dosis de lactosuero mostrando significación estadística; se obtuvo como promedio 2.32 %, superando el 0.9 % según la investigación de Piedrahita y Caviedes (20). Así también, este valor supera el rango de 1 - 2 % establecido en el manual del compostaje del agricultor de la FAO (38).

El porcentaje de contenido de fósforo en el bioabono presentó similaridad estadística según las dosis de lactosuero, teniendo un promedio de 1.918 % siendo

mayor en comparación al resultado de 0.24 % de la investigación de Piedrahita y Caviedes (20).

El porcentaje de contenido de potasio en bioabono fue significativamente mayor con el tratamiento de 200 mL de lactosuero. El promedio de contenido de potasio se encuentra en un rango de 0.693 - 0.807 %, estos valores se encuentran dentro del rango de 0.3 - 1 % establecido en el manual del compostaje del agricultor de la FAO (38).

La humedad del bioabono, al final del experimento, fue significativamente mayor en el tratamiento con 100 mL de lactosuero, y en general en todos los tratamientos con lactosuero, respecto al tratamiento testigo, indicando mayor retención de agua por el incremento de compuestos orgánicos descompuestos. Los resultados de humedad se encuentran en el rango de 86.40 y 87.37 %; según la FAO, en el año 2013, el rango óptimo para la humedad debe estar entre 30 a 40 % (38).

El pH del biol disminuyó significativamente conforme se incrementó la dosis de lactosuero en la mezcla orgánica a biodigestar. El promedio del pH obtenido fue 6.04 siendo mayor al resultado del pH 5.49 obtenido en la investigación de Gordón (19), donde utilizó como materia prima al estiércol vacuno y lactosuero en diferentes proporciones, sin embargo en la investigación de Quipuzo, Baldeón y Tang (28) el promedio del pH del biol fue 7, debido a que solo se utilizó el estiércol vacuno sin lactosuero en biodigestores tubulares de PVC.

La Conductividad Eléctrica del biol no mostró significación estadística según los tratamientos de lactosuero, con un promedio de  $10.92 \text{ dS.m}^{-1}$  para todos los tratamientos, el cual es superior al resultado obtenido por Cano *et al.* (29), que obtuvo un promedio de 8.94 y  $8.40 \text{ dS.m}^{-1}$  para biol bovino y porcino respectivamente, y Giraldo (18) que obtuvo un promedio de  $6.39 \text{ dS.m}^{-1}$ . La diferencia fue que en el presente experimento se utilizó biodigestor tipo Batch, en cambio Cano *et al.* (29) utilizaron un sistema biobolsa y Giraldo (18) utilizó un biodigestor tubular, marca SIDElsa, lo que puede haber influido en la concentración de sales solubles. Así también en la investigación de Gordón (19) se obtuvo un promedio de  $16.244 \text{ dS.m}^{-1}$  de los diez tratamientos que se realizó en su investigación utilizando como materia prima estiércol de vacuno y lactosuero, además de insumos como: alfalfa, humus, ceniza, melaza, levadura y lactofermento (levadura en pasta y *Lactococcus lactis* de las subespecies *lactis* y *cremoris*).

El contenido de materia orgánica en el biol no presentó efecto significativo de la dosis de lactosuero, presentado un promedio de  $19.188 \text{ g.L}^{-1}$  para todos los tratamientos. Este dato llevado a carbono orgánico representa el 1.11 % ( $\text{CO} = (\text{MO}/1.724)$ ), un valor relativamente bajo de materia orgánica, pero superando el resultado de  $10.21 \text{ g.L}^{-1}$  obtenido por Cárdenas *et al.* (27), donde se utilizó como materia prima el estiércol de vaca y los residuos orgánicos del comedor de la Universidad Agraria La Molina (UNALM) durante 30 días.

El contenido de sólidos totales disueltos en el biol no tuvo diferencias significativas según la dosis de lactosuero, alcanzando un promedio de  $27.458 \text{ g/L}$ , comparativamente alto según lo reportado por Zambrano (17), quien reportó  $0.0412 \text{ g/L}$  utilizando sustratos como estiércol vacuno, lactosuero, hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) y rumen de vaca en un biodigestor con carga fija.

El contenido de nitrógeno en el biol no presentó diferencias significativas debido a las dosis de lactosuero, alcanzando un promedio, en todo el experimento, de  $1385.417 \text{ mg.L}^{-1}$ , inferior al trabajo de Garavito (22) quien obtuvo  $6600 \text{ mg.N.L}^{-1}$ , utilizando  $24 \text{ kg}$  de estiércol de vacuno mezclados con restos de trucha, materiales con mayor contenido de nitrógeno, sin embargo, estuvo dentro del rango de obtención de biol con cuatro diferentes mezclas orgánicas, durante 121 días, teniendo una similitud en los resultados con los investigadores Cabos *et al.* (23), donde se obtuvo  $6625 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrógeno en el biol. Esto demuestra que los tipos de insumos y el periodo de biodigestión influye en el contenido de elementos, como el nitrógeno, en el biol.

El contenido de fósforo no mostró diferencias significativas en el biol, como efecto de las dosis de lactosuero, alcanzando un promedio total de  $318.987 \text{ mg.L}^{-1}$ , siendo relativamente mayor al resultado  $210 \text{ mg.L}^{-1}$  obtenido por Díaz (24), considerando que dicho autor menciona que la disponibilidad del fósforo decrece al incrementarse el pH, esta sería la razón del porqué se tiene mayor cantidad de fósforo en nuestra investigación.

El potasio presente en el biol no mostró efecto de las dosis de lactosuero, presentando un promedio general de  $934.750 \text{ mg.L}^{-1}$ , siendo inferior al resultado de  $1152.37 \text{ mg.L}^{-1}$  obtenido por Cabos *et al.* (23) y muy inferior al resultado de  $3183 \text{ mg.L}^{-1}$  obtenido por Díaz (24) a los 121 días, esto se debe a que utilizó la ceniza como insumo en dicho experimento.

El calcio en el biol no mostró significación estadística según los tratamientos de lactosuero, alcanzando un promedio general de  $62.576 \text{ mg.L}^{-1}$ , muy inferior a lo encontrado por los investigadores como: Díaz (24), que alcanzó un promedio de  $1\,326 \text{ mg.L}^{-1}$ , lo cual está relacionado con el uso de insumos, como cáscara de huevo molido y ceniza, Garavito (22) obtuvo como promedio  $763.87 \text{ mg.L}^{-1}$  en un periodo de 70 días y Giraldo (18) obtuvo como promedio  $354.63 \text{ mg.L}^{-1}$  en un periodo de 90 días.

El contenido de magnesio en el biol no presentó diferencias significativas con las dosis de lactosuero, obteniéndose un promedio de  $85.548 \text{ mg.L}^{-1}$ , muy inferior a lo encontrado por los investigadores como: Díaz (24) que obtuvo  $635 \text{ mg.L}^{-1}$ , Garavito (22) que obtuvo  $248.96\,635 \text{ mg.L}^{-1}$  y Giraldo (18) que obtuvo como promedio  $313.58 \text{ mg.L}^{-1}$ .

El contenido de sodio en el biol no mostró significación estadística debido a las dosis de lactosuero, con un promedio general de  $174.749 \text{ mg.L}^{-1}$ , muy inferior a lo encontrado por los investigadores como: Díaz (24) que obtuvo un valor de  $1\,038 \text{ mg.L}^{-1}$  y Garavito (22) que obtuvo  $778.87 \text{ mg.L}^{-1}$ , esto es favorable porque el exceso de sodio es perjudicial al suelo y la planta en caso si este biol fuese utilizado para la agricultura.

En general se observó bastante variabilidad en las características fisicoquímicas del bioabono y biol, y resulta difícil establecer estándares o máximos y mínimos, lo cual no consideramos un problema, como lo manifiesta Díaz (24), pues los técnicos y productores durante diferentes ensayos adaptan las formulaciones en la producción de abonos orgánicos y reducción de biomasa orgánica fresca, con fines de utilización en la agricultura, ya sea como mejoradores de suelo o abonos orgánicos.

## CONCLUSIONES

1. Las dosis crecientes de lactosuero incrementaron la producción de biogás, siendo el tratamiento 4 con una dosis de 200 mL de lactosuero el que se obtuvo la mayor cantidad de biogás en un promedio de 30.67 mL. El tratamiento 1 sin lactosuero obtuvo menor cantidad de biogás con promedio de 23.33 mL.
2. Las características del bioabono que tuvieron efecto del lactosuero fueron: nitrógeno, potasio y humedad, y las características que no tuvieron efecto del lactosuero fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio y sodio.
3. Las características del biol que tuvieron efecto del lactosuero fue el pH y las características que no tuvieron efecto del lactosuero fueron: conductividad eléctrica, materia orgánica, sólidos totales disueltos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos con dosis de estiércol de vacuno en relaciones mayores con lactosuero, por ejemplo 1:5, 1:10, 1:15 y 1:20, para verificar las características de producción de biogás, bioabono y biol.
2. Realizar análisis de la composición del biogás para determinar las cantidades de cada gas producido en los biodigestores, debido a que el biogás no es absolutamente puro, puesto que contiene otros gases que pueden ser perjudiciales y deben ser filtradas dependiendo del tipo de utilización que tendrá el biogás.
3. Se recomienda utilizar el lactosuero que no contiene sal para ser reutilizado en el biodigestor. Así también se debe de realizar el análisis fisicoquímico del lactosuero para conocer el contenido de proteínas y grasas.
4. Ensayar la aplicación de bioabono y biol a suelos agrícolas con diferentes cultivos, para determinar su efecto en el crecimiento de los cultivos y analizar parámetros microbiológicos del biol principalmente de bacterias patógenas, como: coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y *Salmonella sp.* para no causar efectos negativos sobre los cultivos.
5. Realizar las mediciones de pH y temperatura con instrumentos digitales para obtener valores exactos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VARGAS, P. y VILLAVICENCIO, M. Eficacia del biogás elaborado con estiércol de ganado bovino y porcino del camal municipal de Moyobamba 2019. Trabajo de Investigación (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Moyobamba: Universidad César Vallejo, 2019.
- (2) BARRERA, M., y otros. Optimización de la producción de biogás a escala de laboratorio a partir de estiércol de bovino, lactosuero y totora (*Scirpus californicus*). INDES, 2015, 3(2). ISSN: 2520-0119.
- (3) FERNÁNDEZ, C., MARTÍNEZ, E. y MORÁN, A. Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. ION, 2016, 29(1). ISSN: 0120-100X.
- (4) CALLEJAS, J., PRIETO, F. y REYES, V. Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. Acta Universitaria, 2012, 22(1). ISSN: 0188-6266.
- (5) MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. *Diagnóstico de crianzas priorizadas para el plan ganadero 2017 - 2021*. Lima: Dirección General de Políticas Agrarias, 2017.
- (6) MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. *Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima: INEI, 2012.
- (7) GAMARRA, J. Evaluación del impacto ambiental del lactosuero generado en la línea de producción de quesos de la planta de lácteos Huacariz alternativas de mitigación Cajamarca - Perú - 2016. Tesis (Doctor en Ciencias). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2018.
- (8) MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. *Estudio de la ganadería lechera en el Perú. Análisis de su estructura, dinámica y propuestas de desarrollo*. Lima: s.n., 2017.
- (9) CÓRDOVA, S. Determinación de las características microbiológicas, físico-químicas y sensoriales de una bebida fermentada probiótica a partir de lactosuero. Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.

- (10) SORIA, M., y otros. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 2001, 19(4). ISSN: 2395-8030.
- (11) GODOY, L. Evaluación del impacto ambiental en la industria de derivados lácteos Tinajani EIRL 2019. Trabajo de Investigación (Bachiller en Ingeniería Industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2019.
- (12) HILBERT, J. *Manual para la producción de biogás*. Argentina: Instituto de Ingeniería Rural, 1999.
- (13) GUEVARA, A. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: producción de gas y saneamiento de efluentes*. Lima: CEPIS, 1996.
- (14) GÁLVEZ, L. Producción de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio. Informe de Prácticas Pre Profesionales. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2017.
- (15) WEN-TIEN, TSAI y CHE-I, LIN. Overview analysis of bioenergy from livestock manure management in Taiwan. *Renewable and Suitable Energy Reviews*, 2009, 9(13). ISSN: 1364-0321.
- (16) MAGAÑA-RAMÍREZ, L., y otros. Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra. *Ingeniería e Investigación*, 2011, 31(1). ISSN: 0120-5609.
- (17) ZAMBRANO, M. Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Agraria La Molina, 2016.
- (18) GIRALDO, D. Aplicación de microorganismos catalíticos (MEc) y su efecto en la generación de biogás utilizando excretas porcinas en la Comunidad Campesina de Lamblaspata - El Tambo - 2019. Tesis (Maestro en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible). El Tambo: Universidad Continental, 2019.
- (19) GORDÓN, V. Utilización de suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol). Tesis (Título de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario). Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carcchi, 2013.

- (20) PIEDRAHITA, C. y CAVIEDES, D. Elaboración de un abono tipo "bocashi" a partir de desechos orgánicos y subproducto de industrias lácteas (lactosuero). Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial). Colombia: Universidad de San Buenaventura Cali, 2015.
- (21) DURAZNO, A. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- (22) GARAVITO, O. Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Científica del Sur, 2018.
- (23) CABOS, J., BARDALES, C. y LEÓN, C. 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. Tesis (Título de Biólogo). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2019.
- (24) DÍAZ, A. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas. Tesis (Magíster en Suelos). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
- (25) AGUIRRE, N. y LEAL, L. Propuesta de producción de bioabono a partir de estiércol bovino de la finca el Valle, Subachoque, Cundinamarca. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019.
- (26) BARRENA, M., y otros. Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 2019, 26(2). ISSN: 2413-3299.
- (27) CÁRDENAS, J., QUIPUZCO, L. y MEZA, V. Calidad de biogás y biol obtenidos a partir de residuos orgánicos domésticos pretratados con la técnica del bocashi. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 2013, 16(32).
- (28) QUIPUZCO, L., BALDEÓN, W. y TANG, O. Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Investigación*, 2011.
- (29) CANO, M., y otros. Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencias*, 2016, 50(4). 2521-9766.

- (30) VERA, I., y otros. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2014, 15(3). ISSN: 1405-7743.
- (31) INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Biomasa: digestores anaerobios*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica, 2007. ISBN: 978-84-96680-21-0.
- (32) GOBIERNO DE SANTA FE. *Manual de uso del biodigestor*. Argentina: s.n., 2019.
- (33) HERNÁNDEZ, F. *Producción de biogás con suero de queso: tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero*. 2015.
- (34) VARNERO, M. *Manual de biogás*. Santiago de Chile: MINENERGIA, 2011. ISBN: 978-95-306892-0.
- (35) CASANOVAS, G., y otros. *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Madrid: FAO, 2019. ISBN: 978-92-5-131559-0.
- (36) LOAYZA, M. y ALARCÓN, F. Producción de biogás utilizando tres tipos de estiércol (ovino, equino y vacuno) en sustrato de silo de maíz en la zona de Sama Inclán, Tacna. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Tacna: Universidad Privada de Tacna, 2020.
- (37) PÉREZ, J. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Tesis (Título de Ingeniero Civil Mecánico). Chile: Universidad de Chile, 2010.
- (38) ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M. y PANTOJA, A. *Manual de compostaje del agricultor*. Chile: FAO, 2013. ISBN: 978-92-5-307844-8.
- (39) BERNAL, C. *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson, 2010.
- (40) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, L. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 2015.

## **ANEXOS**

**Anexo 01. Matriz de consistencia.**

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables
<p>General:</p> <p>¿Cuál es el efecto del lactosuero en la producción del biogás, bioabono y biol, en un biodigestor Batch en Sicaya?</p> <p>Específicos:</p> <p>*¿Cuál es el efecto de cuatro dosis crecientes de lactosuero en la producción de biogás?</p> <p>*¿Cuál es el efecto de cuatro dosis crecientes de lactosuero en las características del bioabono?</p> <p>*¿Qué efecto tiene la aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero en las características del biol?</p>	<p>General:</p> <p>Determinar el efecto del lactosuero en la producción del biogás, bioabono y biol, en un biodigestor Batch en Sicaya.</p> <p>Específicos:</p> <p>*Determinar el efecto del lactosuero en la producción de biogás.</p> <p>*Determinar el efecto del lactosuero en las características del bioabono.</p> <p>*Determinar el efecto del lactosuero en las características del biol.</p>	<p>General:</p> <p>H<sub>i</sub>: La aplicación de lactosuero afecta significativamente en la producción del biogás, bioabono y biol en un biodigestor Batch en Sicaya.</p> <p>H<sub>0</sub>: La aplicación de lactosuero no afecta significativamente en la producción del biogás, bioabono y biol en un biodigestor Batch en Sicaya.</p> <p>Específicas:</p> <p>H<sub>0</sub>: La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero incrementa la producción de biogás en Sicaya.</p> <p>H<sub>i</sub>: La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero no incrementa la producción de biogás en Sicaya.</p> <p>H<sub>0</sub>: La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero tiene efecto en las características del bioabono.</p> <p>H<sub>i</sub>: La aplicación de cuatro dosis crecientes de lactosuero no tiene efecto en las características del bioabono.</p> <p>H<sub>0</sub>: La aplicación de lactosuero tiene efecto en las características del biol.</p> <p>H<sub>i</sub>: La aplicación de lactosuero no tiene efecto las características del biol.</p>	<p>Dependiente:</p> <p>*Lactosuero.</p> <p>Independientes:</p> <p>*cantidad de biogás.</p> <p>*características del bioabono.</p> <p>*características del biol.</p>

**Anexo 02.** Resultados de la medición de temperatura durante el proceso de biodigestión.

FECHA	T1			T2			T3			T4		
	R1	R2	R3									
28/02/21	21.0	21.5	22.0	20.0	22.0	21.5	19.0	21.0	20.0	21.0	21.5	20.0
01/03/21	23.0	22.0	21.5	21.5	23.0	22.0	21.5	22.0	20.0	22.0	23.0	23.0
02/03/21	24.0	23.0	22.0	22.0	24.0	22.0	20.5	23.0	22.0	20.5	20.5	19.5
03/03/21	22.5	21.0	23.0	21.0	20.0	22.0	19.0	19.0	20.0	21.0	20.0	21.0
04/03/21	22.0	22.0	24.0	23.0	22.5	23.5	22.5	21.0	22.5	23.0	21.0	22.0
05/03/21	23.0	24.0	23.0	22.0	24.0	22.5	23.0	24.0	22.0	24.0	23.0	24.0
06/03/21	21.5	21.5	22.5	21.0	20.0	21.0	21.0	20.0	20.5	22.0	20.5	20.5
07/03/21	19.0	19.0	19.0	18.0	18.5	18.5	18.0	18.0	18.5	18.5	18.0	19.5
08/03/21	20.0	20.0	20.0	20.0	19.0	20.0	19.5	19	19.5	19.5	19.5	20.5
09/03/21	19.0	19.5	20.0	19.5	18.0	18.5	18.5	18.5	19.0	19.5	20.0	19.0
10/03/21	18.0	18.5	18.5	18.0	18.5	18.5	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
11/03/21	18.0	18.0	18.0	18.5	18.5	19.0	18.0	18.0	18.5	18.5	18.0	18.5
12/03/21	19.0	18.5	18.5	18.0	18.0	18.5	19.0	18.0	18.0	18.5	18.0	18.5
13/03/21	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.5	18.5	18.0	18.0	18.5	18.0	18.0
14/03/21	18.0	18.0	18.5	18.5	18.0	19.0	18.0	18.0	18.5	18.5	18.0	18.5
15/03/21	18.0	19.0	19.5	18.5	19.0	20.0	19.0	19.0	20.0	19.0	19.0	20.0
16/03/21	18.0	18.0	18.5	17.0	17.5	18.0	18.0	18.0	18.5	18.0	18.0	19.0
17/03/21	17.0	17.5	17.0	16.5	17.0	16.5	17.0	17.0	16.5	16.5	16.0	16.5
19/03/21	17.5	18.0	18.0	17.0	17.5	17.5	17.5	17.5	17.0	17.0	17.5	17.5

Fuente: elaboración propia.

Temperatura inicial = 19°C.

**Anexo 03.** Temperatura ambiente durante la biodigestión.

Fecha	°C
28/02/21	28.0
01/03/21	27.5
02/03/21	29.0
03/03/21	25.0
04/03/21	30.0
05/03/21	29.0
06/03/21	26.0
07/03/21	25.0
08/03/21	25.0
09/03/21	26.0
10/03/21	24.0
11/03/21	25.0
12/03/21	24.0
13/03/21	20.0
14/03/21	21.0
15/03/21	16.0
16/03/21	18.0
17/03/21	15.0
19/03/21	19.0
20/03/21	20.0

Fuente: elaboración propia.

**Anexo 04.** Resultados del pH durante el proceso de biodigestión.

FECHA	T1			T2			T3			T4		
	R1	R2	R3									
28/02/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
01/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
02/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
03/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
04/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
05/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
06/03/21	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
07/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
08/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
09/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
10/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
11/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
12/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
13/03/21	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
14/03/21	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0
15/03/21	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0
16/03/21	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0
17/03/21	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0
19/03/21	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0
20/03/21	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0

Fuente: elaboración propia.

pH inicial = 6.0

Anexo 05. Resultados del análisis del biol.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE  
 MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAGALY PAMELA DIEGO FLORES  
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANGAYO/ SIGAYA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 74060  
 BOLETA : 4514  
 FECHA : 22/04/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
199	T1R1	6.23	11.20	39.93	26.90	2023.00	497.31	1228.75
200	T1R2	6.20	9.35	29.44	20.49	1589.00	343.31	860.50
201	T1R3	6.02	11.50	21.27	14.88	1232.00	208.09	1115.75
202	T2R1	6.05	9.60	31.03	22.11	1442.00	307.50	1056.00
203	T2R2	6.00	11.20	23.19	16.32	1267.00	282.43	1087.25
204	T2R3	6.02	11.00	21.27	14.75	959.00	200.10	919.50

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
199	T1R1	79.25	84.63	147.25
200	T1R2	59.03	82.75	179.50
201	T1R3	67.30	84.25	168.00
202	T2R1	64.33	87.98	272.50
203	T2R2	52.75	78.03	189.50
204	T2R3	73.75	89.25	139.00



*Braulio La Torre Martínez*  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 Celular: 946-506-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAGALY PAMELA DIEGO FLORES  
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ SICAYA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 74060  
 BOLETA : 4514  
 FECHA : 22/04/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	Sólidos Totales g/L	M.O. en Solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L
205	T3R1	6.01	11.60	20.38	13.90	1127.00	253.77	764.50
206	T3R2	6.00	11.60	23.30	16.23	1169.00	291.38	595.50
207	T3R3	6.00	9.83	27.38	19.14	1309.00	302.12	952.00
208	T4R1	5.99	11.00	38.26	27.25	1701.00	368.38	922.75
209	T4R2	5.95	11.60	27.44	19.49	1393.00	332.57	910.50
210	T4R3	6.02	11.30	28.60	18.79	1414.00	311.08	804.00

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
205	T3R1	53.20	86.50	147.75
206	T3R2	67.45	88.98	109.25
207	T3R3	67.00	91.58	176.25
208	T4R1	53.98	84.40	232.00
209	T4R2	54.98	82.75	168.25
210	T4R3	70.05	85.48	167.75



*B. La Torre*  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe de Laboratorio

**Anexo 06.** Resultados del análisis del estiércol de vacuno y el bioabono.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAGALY PAMELA DIEGO FLORES

PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ SICAYA

REFERENCIA : H.R. 74059

BOLETA : 4514

FECHA : 04/05/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E dS/m	M.O %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
186	ESTIERCOL VACUNO	7.08	4.75	66.85	2.28	1.32	0.78
187	T1R1	7.13	3.69	68.37	2.14	1.99	0.76
188	T1R2	7.28	4.15	67.81	2.22	2.16	0.78
189	T1R3	6.96	6.40	73.03	2.28	1.76	0.78
190	T2R1	6.81	6.21	70.92	2.32	2.21	0.69
191	T2R2	6.98	6.17	73.76	2.29	1.61	0.71
192	T2R3	7.03	6.20	74.84	2.41	1.65	0.68

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
186	ESTIERCOL VACUNO	3.56	0.91	83.25	0.25
187	T1R1	6.36	1.04	85.74	0.13
188	T1R2	5.36	1.09	86.84	0.16
189	T1R3	5.26	1.21	86.62	0.11
190	T2R1	4.90	1.00	87.45	0.14
191	T2R2	4.60	1.09	87.43	0.11
192	T2R3	4.21	0.95	87.24	0.12



Ing. *Braulio La Torre Martínez*  
**Jefe de Laboratorio**

---

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : MAGALY PAMELA DIEGO FLORES  
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO/ SICAYA  
 REFERENCIA : H.R. 74059  
 BOLETA : 4514  
 FECHA : 04/05/2021

N° LAB	CLAVES	pH	C.E dS/m	M.O %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
193	T3R1	7.00	6.24	72.55	2.37	1.61	0.80
194	T3R2	6.89	6.08	72.24	2.37	1.56	0.75
195	T3R3	6.97	4.85	69.97	2.36	2.29	0.76
196	T4R1	6.96	6.35	71.30	2.26	2.29	0.76
197	T4R2	7.12	6.64	74.09	2.44	1.71	0.87
198	T4R3	6.85	6.16	71.41	2.37	2.18	0.79

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
193	T3R1	5.58	1.21	88.85	0.13
194	T3R2	4.75	0.97	86.56	0.12
195	T3R3	5.32	1.02	86.65	0.15
196	T4R1	5.26	1.06	87.67	0.16
197	T4R2	5.21	1.13	87.18	0.15
198	T4R3	5.63	1.16	87.18	0.17



*B. La Torre*  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe de Laboratorio

**Anexo 07.** Recolección de la muestra de estiércol de vacuno.



**Anexo 08.** Homogenización de la muestra de estiércol vacuno.



**Anexo 09.** Llenado de la muestra a cada biodigestor.



**Anexo 10.** Dosis de lactosuero.



**Anexo 11.** Sellado de cada biodigestor.



**Anexo 12.** Instalación de los biodigestores en el invernadero prefabricado.



**Anexo 13.** Medición del biogás con el método de probeta invertida.



**Anexo 14.** Recolección y pesado del bioabono.



**Anexo 15.** Recolección del biol.

