



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“APROVECHAMIENTO DEL EFLUENTE RESIDUAL DE SUERO  
DE QUESO Y ESTIÉRCOL DE BOVINO EN LA PRODUCCIÓN DE  
BIOGÁS Y ABONOS LÍQUIDOS ORGÁNICOS DE UNA PLANTA  
EN PUNO-CABANA”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Nohemi Quispe Apaza (0000-0002-9318-9919)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)

Lima – Perú

2022

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 31 de marzo de 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Noé Ordóñez Machicao
Miembro: Mg. Catherine Coronado León
Miembro: Mg. Fabiola Herrera Oré

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**"APROVECHAMIENTO DEL EFLUENTE RESIDUAL DE SUERO DE QUESO Y ESTIÉRCOL DE BOVINO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y ABONOS LÍQUIDOS ORGÁNICOS DE UNA PLANTA EN PUNO-CABANA"**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Nohemi Quispe Apaza**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Luis Abraham Gómero Osorio

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

Tesista: Nohemi Quispe Apaza	Nota (en letras): (Diecisiete) 17		
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. Noé Ordóñez Machicao**  
Presidente

**Dr. Noé Ordóñez Machicao**  
Presidente



**Mg. Catherine Coronado León**  
Miembro 1

**Mg. Catherine Coronado León**  
Miembro 1



**Mg. Fabiola Herrera Oré**  
Miembro 2

**Mg. Fabiola Herrera Oré**  
Miembro 2



**Mg. Luis Abraham Gómero Osorio**  
Asesor

**Mg. Luis Abraham Gómero Osorio**  
Asesor

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

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

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

Lima, 14 de abril del 2023

Señor,

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

De nuestra consideración,

Yo: Nohemi Quispe Apaza, estudiante/egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis Luis Abraham Gomero Osorio declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno-Cabana, sustentado para obtener el título/grado de Ingeniería Ambiental es original.

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

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

Firmamos en conformidad con lo declarado,



\_\_\_\_\_  
 Firma tesista  
 DNI: 70311841



\_\_\_\_\_  
 Firma del asesor de tesis  
 DNI: 10681962

## INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

**Título del documento evaluado.** Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno-Cabana

**Autores.** Nohemi Quispe Apaza.

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 2264243688).

**Resultado de la evaluación.** 5%

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

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



**DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a mi familia por ser mi soporte, apoyo y sobre todo por motivarme a concluir la presente tesis.

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por darme fuerzas para seguir adelante con mi proyecto de investigación.

Agradezco infinitamente a mis padres, Hipolito y Natividad, quienes me apoyaron en todo el proceso de ejecución, a mis hermanos por su apoyo incondicional y a todos mis compañeros y amigos, por su motivación durante el desarrollo.

A mi asesor, Ing. Luis Gomero Osorio por orientarme en el desarrollo de la investigación.

Agradezco infinitamente a PRONABEC por brindarme una beca para culminar mis estudios universitarios.

Finalmente deseo expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Wilbert Ticona, a los socios y el equipo que trabaja en la Cooperativa Agroindustrial de Productores Agropecuarios Cabana Ltda-COOPAGRO, por abrirme las puertas de su establecimiento para desarrollar la investigación.

## INDICE GENERAL

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
II.	MARCO TEÓRICO .....	16
2.1.	Producción de lácteos.....	16
2.2.	Producción de queso .....	16
2.3.	El suero de leche o lactosuero .....	18
2.4.	Estiércol de vacuno y composición.....	27
2.5.	Economía Circular y valorización de los residuos agropecuarios.....	30
2.6.	Digestión anaerobia.....	31
2.7.	Biodigestores .....	39
III.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	41
3.1.	Objetivos.....	41
3.2.	Hipótesis .....	41
4.	METODOLOGÍA.....	42
4.1.	Localización.....	42
4.2.	Colecta de materia prima .....	42
4.3.	Diseño de investigación.....	43
4.4.	Preparación de los tratamientos .....	45
4.5.	Duración.....	46
4.6.	Diseño y acondicionamiento de biodigestores discontinuos o tipo <i>batch</i> ...	46
4.7.	Toma de muestra.....	47
4.8.	Caracterización de parámetros <i>in situ</i> .....	47

4.9.	Evaluación de la cantidad de biogás producido .....	48
4.10.	Análisis de la relación de Carbono Nitrógeno C/N .....	48
4.11.	Evaluación de calidad de abono líquido obtenido.....	49
4.12.	Mejor relación de mezcla.....	50
4.13.	Análisis estadístico.....	50
5.	RESULTADOS .....	51
5.1.	Resultados de los parámetros analizados <i>in situ</i> .....	51
5.1.1.	Resultados del comportamiento del pH .....	51
5.1.2.	Resultados del comportamiento de la temperatura .....	52
5.2.	Resultados de la cantidad de producción de biogás .....	54
5.2.1.	Volumen de producción de biogás por semana .....	54
5.2.2.	Volumen acumulado de biogás.....	55
5.3.	Análisis de la relación Carbono/Nitrógeno .....	56
5.4.	Resultados de la calidad de abonos líquidos orgánicos o biol .....	57
6.	DISCUSIÓN.....	72
6.1.	Evaluación de parámetros in situ .....	72
6.2.	Cantidad de generación de biogás .....	75
6.3.	Relación C/N .....	78
6.4.	Calidad de abonos líquidos orgánicos .....	78
7.	CONCLUSIÓN .....	81
8.	RECOMENDACIONES .....	83
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
10.	ABREVIATURAS .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación del queso .....	17
<b>Figura 2.</b> Proceso de elaboración de queso .....	19
<b>Figura 3.</b> Principales tratamientos del lactosuero.....	26
<b>Figura 4.</b> Etapas y fases de la digestión anaeróbica .....	32
<b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación del experimento.....	42
<b>Figura 6.</b> Materia de Suero dulce y Estiércol de vacuno recolectada.....	44
<b>Figura 7.</b> Distribución aleatoria de biodigestores en el invernadero .....	44
<b>Figura 8.</b> Diseño del biodigestor utilizado.....	47
<b>Figura 9.</b> Comportamiento del pH según los tratamientos .....	52
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de la temperatura según los tratamientos .....	53
<b>Figura 11.</b> Comportamiento semanal de la producción de biogás.....	55
<b>Figura 12.</b> Acumulación de biogás semanalmente por cada tratamiento.....	56
<b>Figura 13.</b> Relación Carbono/Nitrógeno según cada tratamiento al inicio y final .....	57
<b>Figura 14.</b> Valores de pH al finalizar el proceso anaeróbico. ....	60
<b>Figura 15.</b> Contenido de nitrógeno según tratamientos (T0, T1, T2 y T3).....	61
<b>Figura 16.</b> Contenido de fósforo según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) .....	62
<b>Figura 17.</b> Contenido de potasio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3).....	63
<b>Figura 18.</b> Contenido de NPK según tratamientos .....	63
<b>Figura 19.</b> Contenido de calcio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) .....	64
<b>Figura 20.</b> Contenido de magnesio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) .....	65
<b>Figura 21.</b> Contenido de sodio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) .....	66
<b>Figura 22.</b> Relación C/N según tratamientos .....	67

**Figura 23.**Contenido de hierro según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)..... 68

**Figura 24.** Contenido de Zinc según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) ..... 69

**Figura 25.** Contenido de manganeso según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) ..... 70

**Figura 26.** Contenido de Boro según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) ..... 71

**Figura 27.** Contenido de manganeso según tratamientos (T0, T1, T2 y T3) ..... 71

### ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Producción de lactosuero en el Puno de 2017 y 2020..... 20

**Tabla 2.** Composición del lactosuero dulce según diversos autores ..... 22

**Tabla 3.** Característica físico químicas del lactosuero generado en Puno..... 23

**Tabla 4.** Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica..... 34

**Tabla 5.** Tiempo de retención hidráulica para diferentes rangos ..... 36

**Tabla 6.** Medición de pH y temperatura del suero dulce y estiércol de bovino fresco . 43

**Tabla 7.** Cantidad de la materia cargada para cada tratamiento y sus repeticiones..... 46

**Tabla 8.** Composición de los abonos líquidos orgánicos ..... 58

**Tabla 9.** Valores iniciales y finales de coliformes fecales y comparación con los ECA-Agua Categoría 3..... 59

## RESUMEN

Este estudio investiga el uso del lactosuero y estiércol de bovino en la generación de biogás y biol en reactores artesanales tipo *batch* que trabajaron en condiciones mesofílicas (20-28 °C) a escala piloto. Se realizaron experimentos de digestión anaeróbica con cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3) a diferentes dosis y cada uno con tres repeticiones durante 104 días. Los resultados mostraron que la monodigestión del lactosuero se acidificó más que aquellos que contenían estiércol de vacuno. La acumulación de biogás por tratamiento fue del siguiente orden T0 < T1 < T2 < T3. El T3, tuvo mayor producción de biogás. Los coliformes fecales fueron inferiores a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (< 10 NMP/ml). El contenido de nutriente en los abonos líquidos orgánicos en la mayoría de tratamientos aumentó al adicionar el estiércol de bovino, por lo que T2 y T3 presentan mayor cantidad de nutrientes. Según la cantidad de Cu y Zn y de acuerdo con la Norma Chilena (NCh2880.Of2004), el biol pertenece al abono tipo A, sin restricción en su uso. En síntesis, el lactosuero tiene la capacidad de generar biogás y el T3 presentó mayor volumen. Los bioles (T0, T1, T2 y T3) cumplieron con el contenido de nitrógeno (> 700 mg/L) y fósforo (> 170 mg/L), en cuanto al potasio (> 1300 mg/L), el T0 no cumple. El pH ácido del biol puro permite la conservación más prologada del biol, en tanto el pH aumenta al mezclarse con agua antes de su aplicación en cultivos.

*Palabras claves:* suero de queso, estiércol, bovino, biogás, abono líquido orgánico.

## ABSTRACT

This study investigates the use of whey and bovine manure in the generation of biogas and biol in artisanal batch reactors working under mesophilic conditions (20-28 °C) on a pilot scale. Anaerobic digestion experiments were conducted with four treatments (T0, T1, T2 and T3) at different doses and each with three replicates for 104 days. The results showed that whey monodigestion was more acidic than those containing cow manure. The accumulation of biogas per treatment was of the following order: T0 < T1 < T2 < T3. T3 had higher biogas production. Fecal coliforms were lower than those established in D.S. No. 004-2017-MINAM (< 10 MPN/ml). The nutrient content of organic liquid fertilizers in most treatments increased with the addition of bovine manure, so T2 and T3 have a higher amount of nutrients. According to the amount of Cu and Zn and according to the Chilean Standard (NCh2880.Of2004), biol belongs to type A fertilizer, with no restriction on its use. In summary, whey has the capacity to generate biogas and T3 had a higher volume. The bioles (T0, T1, T2 and T3) complied with the content of nitrogen (> 700 mg/L) and phosphorus (> 170 mg/L), as for potassium (> 1300 mg/L), T0 does not comply. The acidic pH of pure biol allows for a longer shelf life of biol, while the pH increases when mixed with water before application to crops.

*Keywords:* cheese whey, manure, bovine, biogas, liquid organic fertilizer

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cadena láctea en el Perú constituye una de las actividades agropecuarias más importantes desde la perspectiva social, económica y sanitaria (D.S.N° 007-2017-MINAGRI), sobre todo en las zonas alto andinas como en la región Puno. Este departamento es una de las zonas con mayor crecimiento de ganado lechero. La producción de leche fresca proviene principalmente del ganado vacuno, las vacas de ordeño en el 2011 fueron alrededor de 101,006 cabezas. Puno concentra mayor cantidad de ganado vacuno con 617,163 cabezas, después de Cajamarca (INEI, 2012).

Los factores que contribuyen en el desarrollo de la ganadería son el mejoramiento genético del ganado, mejoramiento de pasturas, mejoras tecnológicas en la cadena productiva, aumento en la cantidad de ganados y aplicación de las buenas prácticas en la alimentación y demanda de derivados lácteos, especialmente queso que genera el aumento de ingresos económicos (OCDE y FAO, 2021; MIDAGRI, DGPA y DEE, 2021; FAO, 2018; MINAGRI, 2017). Esto ha incrementado en 5.5.% al año la producción de leche en los últimos años (MINAGRI, DGPA, DEEIA, 2021), conllevando a que Puno sea uno de los cinco departamentos con mayor producción de leche fresca a nivel nacional. En 2020, la producción de leche fue de 131,756 toneladas (t) (MINAGRI, DGPA, DEEIA, 2021).

Los productores pequeños y medianos son los que más ofertan leche fresca: de las 128,646 unidades productivas, 114, 997 son productores pequeños que representan el 89.39%, se caracterizan por manejar menos de 10 cabezas de ganado; seguido de los medianos, quienes representan el 10.39%, con 13,369 unidades agropecuarias y los grandes productores son 280, que representan el 0.22% del total (MINAGRI, DGPA, DEEIA, 2021). La producción de leche en esta región es considerada una de las

actividades económicas más importantes, ya que satisface las necesidades básicas, mejora la calidad de vida y es considerada como una fuente de ingresos económicos.

El tiempo de conservación de la leche fresca es muy corta, por lo que se opta en prolongar la vida útil de este producto transformándolo en queso, mantequilla u otros derivados lácteos (OCDE/ FAO,2017). El 60% de la leche producida en la región de Puno es destinado para el consumo de la población e industrias queseras que se encuentran en el altiplano puneño (Gobierno Regional Puno, 2013). Estas plantas se encargan de transformar la leche fresca en queso, generalmente tipo Paria para darle valor agregado (Gobierno Regional Puno, 2013; Ruelas, 2018; Quispe Cuevas, 2021). En el Perú, existen aproximadamente 6,500 plantas queseras entre medianas, pequeñas y artesanales y Puno es el que tiene mayor cantidad de plantas de producción con 1,311 (MINAGRI, 2021), por lo que se posiciona en el puesto cuarto con mayor producción de quesos en el Perú. Según el Sistema Integrado de Estadística Agrarias (SIEA), la elaboración de quesos en Puno fue 3,088 t de queso en el 2017, en el 2018 aumentó en 3,564 t, en el 2019 fue de 3,655 t y en el 2020 alcanzó alrededor de 3,673 t (MINAGRI, DGESEP y DEA, 2018, 2019, 2021a, 2021b). Sin embargo, en el proceso de producción de quesos se genera una serie de contaminantes ambientales.

La emisión de gases de combustión es uno de los contaminantes atmosféricos en la industria de lácteos por el uso de generadores de vapor que, por lo general, son las calderas y el nivel de contaminación varía de acuerdo al combustible utilizado ya sea sólido (madera o carbón), líquido (gasolina, petróleo) o gaseoso (gas natural) (CAR/PL, 2002). A esto se suma la emisión de metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) por los excrementos del ganado lechero (Espinoza, 2021). Una vaca excrementa 5.5 kg

aproximadamente y eructa al día 350 a 750L de CH<sub>4</sub> (Cordero Jauregui, 2013). El estiércol de bovino comúnmente es usado como enmienda orgánica en el suelo y produce aumento de pH, materia orgánica, entre otros (Jiménez, Larreal y Noruega, 2004). El estiércol de animal proporciona la capacidad amortiguadora para los procesos anaeróbicos (Rico, Muñoz y Rico, 2015).

La producción de aguas residuales con elevado contenido de materia orgánica es uno de los contaminantes más importante de la industria de quesos. Según Dereli, van der Zee, Ozturk, y van Lier (2019), en la elaboración de quesos la industria de lácteos genera altas cantidades de lactosuero. Este es un líquido residual que resulta de la separación del queso elaborado de la leche (Altuntas y Hapoglu, 2019) y está compuesto por lactosa y proteínas con mayor contenido orgánico y salino. La generación de lactosuero se incrementa al aumentar la producción de queso. Según Padin y Diaz (2009) por cada kilogramo de queso (1kg) se genera nueve (9kg) de lactosuero. Considerando estos datos y la producción anual de queso reportado Ministerio de Agricultura y Riego a través del SIEA, se puede afirmar que en el 2018 se generó 32,078 t de lactosuero, pero en el 2019 y 2020 la generación de lactosuero en la región de Puno aumentó y fue de 32,891 y 33,058 t, respectivamente. Actualmente, el suero de queso para los pequeños y medianos queseros artesanales es un problema, ya que es considerado como un efluente residual y al no contar con un sistema de tratamiento, tecnología y economía para procesar, se ven obligados a eliminar grandes cantidades de lactosuero al suelo o al alcantarillado municipal (Risner, Shayevitz, Haapala, Meunier-Goddik, y Hughes, 2018; Bella y Venkateswara, 2022), como ocurre en la región altiplánica, donde las plantas queseras no tienen ningún sistema de tratamiento para efluentes residuales, por lo que descargan al medio ambiente y además utilizan tecnologías inadecuadas como las

artesanales, que no permiten aprovechar este subproducto, sino más bien representa un problema ambiental por la descarga del suero (Incahuanaco, 2013). Según Flores (2018), la industria quesera en Puno descargó 15,192.54 t de efluentes líquidos en el 2018, consume agua de los manantiales y aguas subterráneos alrededor de 2,855.74 t, lo que genera 8,281.65 t de suero dulce y 4,055.15 t de suero salado. Estos efluentes se caracterizan por contener elevadas cantidades de DQO, 40,499.67 mg/L y están por encima del Límite Máximo Permisible (LMP) dispuestas en las regulaciones ambientales (Flores, 2018).

En Puno una parte del lactosuero dulce es utilizado para alimento de animales, principalmente para cerdos y la mayor parte es descargado directamente al medio ambiente y/o al alcantarillado sin ningún tratamiento. En el caso del suero salado, estos son vertidos directamente a cuerpos superficiales de agua y suelo o alcantarillado (Incahuanaco, 2013; Flores, 2018). El vertimiento del suero residual se debe principalmente al desconocimiento sobre los componentes nutricionales, también al difícil acceso a tecnologías adecuadas para un buen manejo y procesamiento (Poveda, 2013).

El suero de queso en el ambiente representa un problema ambiental; si es descargado sin previo tratamiento debido al alto contenido de nutrientes (Das, Raychaudhuri, y Ghosh, 2016). La descarga de este líquido puede provocar: eutrofización del agua, modificación de las propiedades físico-químicas del suelo y puede dar origen a la emisión de GEI. El aumento de la producción de leche ha traído consigo el incremento de la elaboración de queso y, por ende, el aumento de generación de lactosuero residual.

Ante esta situación, surge la preocupación por disminuir las descargas de lactosuero provenientes de las plantas queseras al medio ambiente, por lo que se propone valorizar y aprovechar el lactosuero residual y estiércol de bovino como fuente de nutrientes, por su alto valor nutricional, para producir biogás y abonos líquidos orgánicos mediante la digestión anaerobia en el marco de la economía circular.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Producción de lácteos**

A nivel nacional se ha incrementado en 2.5% la productividad de la leche fresca al año. La leche fresca de vaca producida fue 2.1 millones de toneladas (2,138,028) en el año 2020 (MIDAGRI, DGPA y DEE, 2021). Las regiones que más producen leche son Puno con 6.2%, La Libertad con 7.4%, Lima con 13%, Arequipa con 16.8% y Cajamarca con 17.1% (MIDAGRI, DGPA y DEE, 2021). Puno es uno de los cinco departamentos con mayor producción de leche fresca. En el 2017 la producción de leche fue de 114, 671t y en el 2019 y 2020 la producción de leche aumento hasta 127, 009 t y 131,756 respectivamente (MINAGRI, DGPA, DEEIA, 2021).

Según el IV Censo Nacional Agropecuario realizado en el 2012, en Perú hay tres tipos de productores de acuerdo con la cantidad de vacas que manejan: los productores pequeños manejan menos de 10 cabezas de vacas, es decir entre 1-9; medianos (10-49 cabezas de vacas) y grandes (50 a más). La leche en el Perú proviene principalmente de pequeños y medianos productores.

### **2.2. Producción de queso**

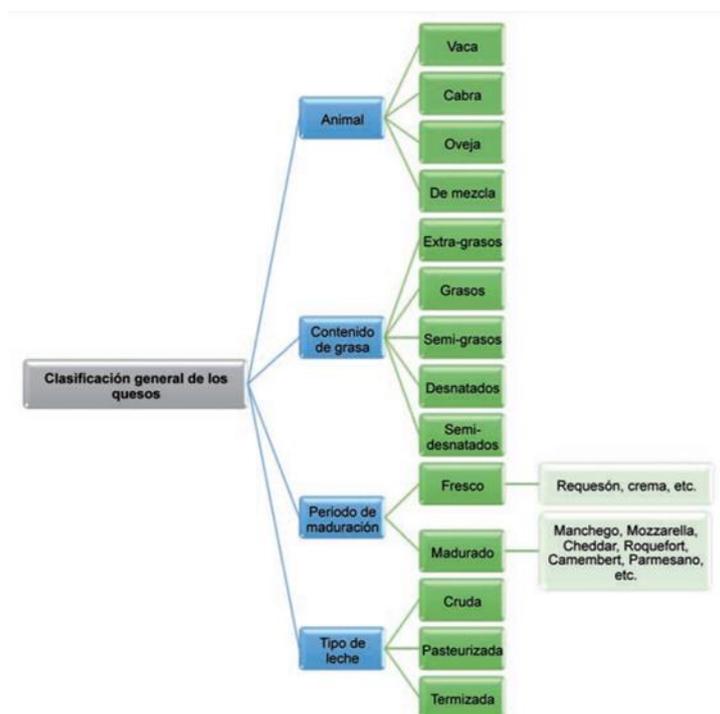
El queso concentra los sólidos de la leche y es elaborado mediante la coagulación de la caseína por actividades enzimáticas del cuajo o bacterias lácticas (CEDEPAS, 2016;

MINAGRI, 2017). El queso contiene proteínas de calidad, vitamina D, calcio, minerales de fósforo y potasio. Existen variedades de quesos, la mayoría es característico de un lugar y depende también de la composición de la leche, procesos de elaboración y microorganismos usados (Flüeler y Marbach, 2021).

Las regiones que más producen queso son Cajamarca, Lima, Arequipa y Puno, por encima de las mil toneladas al año. Según el SIEA en Puno se elaboraron 3,088 t de quesos en el 2017, en el 2018 y 2019 aumento en 3,564 t y 3,655 t respectivamente, y en el 2020 fue 3,673 t.

Existen distintas formas de clasificar el queso, Martínez (2021) señala que se clasifican: por el animal de procedencia, contenido de grasa, periodo de maduración y tipo de leche como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Clasificación del queso



Fuente y elaboración Martínez, 2021

### 2.2.1. Elaboración del queso

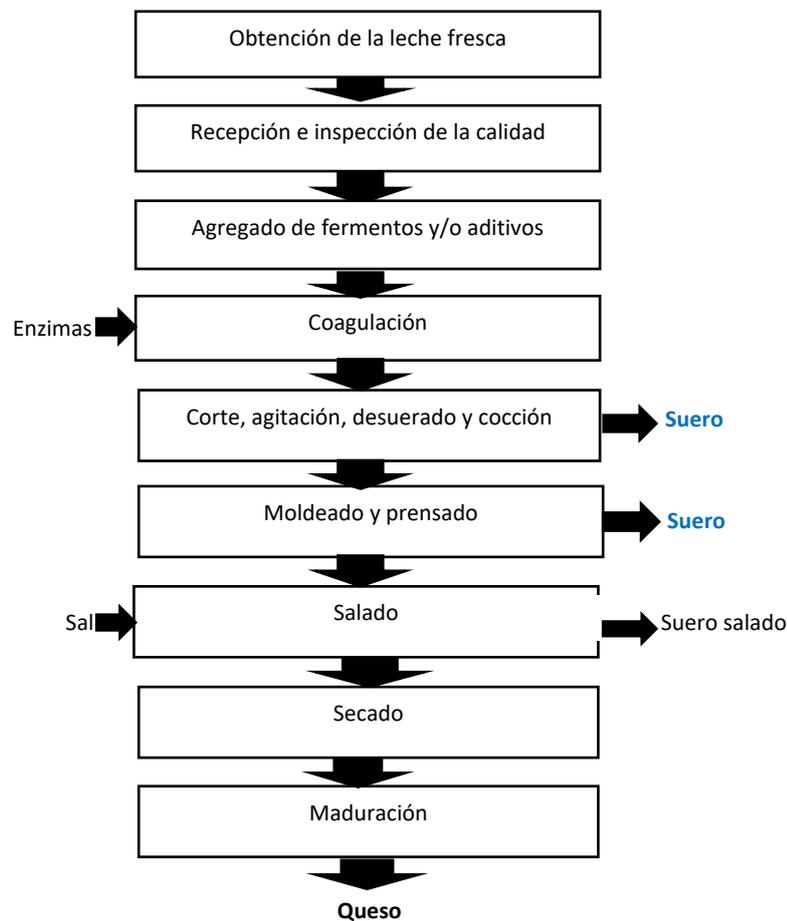
Según el tipo de queso requerido varia la elaboración, pero todos cuentan con procesos comunes (Figura 2). La producción de queso inicia con la obtención de leche que proviene de mamíferos debido a la secreción de glándulas mamarias durante y después del parto. La leche debe tener un manejo adecuado para evitar degradar la calidad y evitar la proliferación de microorganismos que pueden ser perjudiciales. Luego, se coagula las proteínas de la leche agregando fermento lácteo o también llamado cuajo (Martínez, 2021). Una vez obtenida la cuajada se procede a prensar con el fin de eliminar el suero de queso; después de eso el suero es sometido al calentamiento para acelerar la coagulación (MINAGRI-2017). Inmediatamente al queso se le añade sal, se le prensa, moldea y se procede a maduración, aunque algunos quesos se comercializan frescos (Martínez, 2021; CAR/PL, 2002). Según Valencia y Ramírez (2009), en promedio para elaborar un o dos kilogramos de queso se requiere diez (10) litros de leche de vaca, pero se generan ocho (8) a nueve (9) kg de suero, este residuo líquido es el más abundante de la industria de quesos.

### 2.3. El suero de leche o lactosuero

Es el residuo líquido que queda en la elaboración de quesos, se obtiene al introducir a la leche enzimas tipo cuajo (digestivas de los rumiantes, renina) o ácidos que coagulan la leche (NTE INEN 2594:2011; Poveda, 2013). El suero es translucido de color verde amarillento por el contenido de riboflavina (Arce, Thompson, Calderón, 2016). La composición del lactosuero cambia según el tipo de queso producido y tecnología utilizada contiene generalmente el 80% a 90% del volumen de la leche y retiene el 50% de los nutrientes de la leche original. Los componentes que tiene el lactosuero son

aqueños que no se unen al coágulo de la caseína. (Valencia y Ramírez, 2009). Es importante por las altas cantidades que se genera en la industria de quesos y por su composición nutricional (Mollea, Marmo y Bosco, 2013).

**Figura 2.** Proceso de elaboración de queso



Fuente: Martínez, 2021; CAR/PL, 2002

### 2.3.1. Producción de suero o lactosuero

La generación de suero en Puno es de dos tipos suero dulce y suero salado, este se incrementa al aumentar la producción de queso, ya que se generan nueve (9) kilogramos de lactosuero por cada kilogramo de queso elaborado. (CAR/PL, 2002; Padin y Diaz 2009). Considerando estos datos y la producción anual de queso reportado por el

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú a través del SIEA podemos afirmar que a nivel nacional en el 2018 y 2019 la generación de lactosuero fue de 187,626 y 205,906 t respectivamente y en el 2020 se produjo 203,722 t de suero de leche. Las regiones que más generan lactosuero son aquellas que más elaboran queso, por lo tanto, Puno no solo es uno de los departamentos que más produce leche fresca, sino también el que más elabora queso y por ende el que más genera lactosuero residual. En el 2020 esta región generó 33,058 t de lactosuero (Tabla 1). Según Flores, en el 2018 la región altiplánica generó 8,281.65 t de suero dulce y 4,055.15 t de lactosuero salado que fueron descargados al ambiente y solo una parte del suero dulce es destinado para alimento de animales.

**Tabla 1.** Producción de lactosuero en el Puno de 2017 y 2020

AÑO	QUESO (t)	SUERO (t)
2017	3,088	27,792
2018	3,564	32,078
2019	3,655	32,891
2020	3,673	33,058

Fuente: MINAGRI, DGESEP y DEA, 2018, 2019, 2021a, 2021b

En la región de Puno las plantas queseras generalmente son pequeños y medianas. Las industrias artesanales en Puno elaboran quesos para darle valor agregado, estas industrias están compuestas por unidades pequeñas (Ruelas, 2018). Según Bella y Venkateswara (2022), los pequeños y medianos productores se ven obligados a desechar grandes cantidades de lactosuero generadas en la elaboración de queso, puesto que no cuentan con la tecnología y economía para procesar. Las industrias de queso en Puno no tienen sistema de tratamiento de efluentes, razón por la que son descargados

directamente al medio ambiente y/o alcantarillado y en algunos casos aprovechado como alimento de animales.

### **2.3.2. Clasificación del lactosuero de leche**

El lactosuero puede ser dulce y ácido (NTE INEN 2594:2011). El lactosuero dulce, es el líquido que queda por la coagulación de las enzimas, el pH es cercano a la leche y la composición mineral no varía (Parra, 2009). El suero dulce contiene 0.6-0.9% de proteína soluble, más de 5% de lactosa, aproximadamente de 0.3% de grasa y la presencia de ácido láctico es casi inestimable (CAR/PL, 2002). Por otro lado, el suero de leche ácido es producto de la coagulación láctica (Parra, 2009). Contiene casi la misma proporción de proteína soluble que el suero dulce, pero grasa y lactosa en menor proporción. Sin embargo, el ácido láctico puede ser hasta 0.8% (CAR/PL, 2002), el pH es alrededor de 4.5, debido al alto contenido de minerales más de 80%, además es rico en ácido láctico, fósforo y calcio (Callejas *et al.*, 2012).

### **2.3.3. Composición del suero**

El lactosuero a generarse puede ser dulce o ácido; el suero de leche ácido es más estable que el dulce, especialmente si se encuentra refrigerado. El lactosuero dulce no refrigerado tiene más probabilidad de degradarse y perder su valor nutritivo (Abaigar, 2009). El componente más abundante del lactosuero es la lactosa (Zhou *et al.*, 2019). Diversos autores hicieron la caracterización del suero dulce para sus posteriores usos (Tabla 2) y tuvieron resultados de lactosa de 3.71%. 6.0%, proteína de 0.6%-1.2%, grasa de 0.006-0.7%, pH de 6.5-6.66%, sólidos totales de 5.85-7.0%, minerales de 0.4-1 y agua de 94-95%. Al comparar estos datos con la norma ecuatoriana para utilización del

lactosuero como materia prima se observa que los parámetros están dentro de los requisitos establecidos; excepto la grasa, ya que todos pasan de 0.80%.

**Tabla 2.** Composición del lactosuero dulce según diversos autores

Fuente	Lactosa (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	pH	Acidez titulable	Sólidos totales (%)	Minerales (%)	Agua (%)
(Montesdeoca Piloso, 2020)	3.71	0.94	0.7	6.66	0.11 (%)	5.85	-	-
(Alava et al., 2014)		0.7	0.4	6.5	9.7 (°D)	7.0	0.4	-
(Mazorra et al., 2019)	5.2	1.2	0.42	6.52		6.5	-	-
(Prazeres et al., 2012)	4.5-6.0	0.6-1.1	0.006-0.5	6.5-6.66	0.05-0.9	-	0.8-1.0	93-94
<b>Norma INEN 2594</b>	<b>Min</b>	-	0.80	-	6.8	-	-	-
	<b>Max</b>	5	-	0.3	6.4	0.16	-	-

*Nota:* La norma INEN 2594 es una norma ecuatoriana y establece los requisitos del suero dulce y suero ácido para ser utilizado como materia prima o ingrediente.

Las características fisicoquímicas del lactosuero en Puno se observan en la Tabla 3 y presentan Demanda Química de Oxígeno DQO por encima de la normativa peruana para las descargas de los efluentes líquidos al ambiente, además estos se caracterizan por tener valores de pH ácido (Flores, 2020). El suero de queso tiene una baja capacidad amortiguadora por esa razón se acidifica rápidamente en los tratamientos biológicos; el pH ácido favorece el crecimiento de la biomasa filamentosa (Carvalho, Prazeres y Rivas, 2013). El lactosuero puede ser primario, que corresponde al líquido color amarillo-verdoso después de cortar la cuajada que se genera en el primer desuere que se realiza luego de la coagulación y el secundario corresponde al que se genera en el segundo desuere luego de ser salado la cuajada (Alava *et al.*, 2014; Mazorra *et al.*, 2019).

**Tabla 3.** Característica físico químicas del lactosuero generado en Puno

Plantas queseras	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	PH	Solidos volátiles g/L	Solidos Totales	Solidos totales disueltos (g/L)	CE (mS/cm)	Solidos suspendidos totales (mg/L)
Huata 2018	50,650.00	5.6	23.9	37.54	13.35	27.56	24,190.00
Huata 2017	69,200.00					48.4	2,850.00
Asillo 2018	1,649.00						774

Fuente: Flores, 2020

### 2.3.4. Contaminación medioambiental del suero de leche

El suero de queso para los pequeños y medianos queseros artesanales sigue siendo un problema, ya que es considerado como un efluente residual y al no contar con un sistema de tratamiento se ven obligados a eliminar al suelo o al alcantarillado municipal (Risner, Shayevitz, Haapala, Meunier-Goddik, y Hughes, 2018). Por otro lado, Yadav *et al.* (2015) señala que muchas autoridades locales prohíben la eliminación del lactosuero a alcantarillas municipales, porque esta agua residual perjudica el proceso que se lleva a cabo en la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR.

El suero al ser el líquido más abundante de la industria de quesos y por el alto contenido de materia orgánica y sal representa un grave problema de contaminación ambiental (Gonzales *et al.*, 2021; Prazeres *et al.*, 2012), pero también es una fuente valiosa de materia prima. Las principales causantes del gran contenido de materia orgánica son la lactosa y la proteína; los indicadores del contenido de materia orgánica en el lactosuero es la demanda bioquímica (DBO) y química de oxígeno (DQO) (Prazeres *et al.*, 2012). A esto también se suma las sales, puesto que el proceso de salado del queso provoca la generación de líquidos con escasa materia orgánica, pero con gran cantidad de sales

(Villena, 1995). Según CAR/PL (2002), la DQO es aproximadamente 60,000 mg/l; la lactosa y la proteína son las principales causantes del gran contenido de materia orgánica. Por esa razón no debe verterse al medio ambiente. Según Pérez y Rodríguez (2018), en la caracterización de suero ácido (pH=4.9) obtuvieron la DQO de 2,748.3 mg/L y la DBO de 1,992.4.

Los valores altos de DQO y DBO en los cuerpos de agua provoca el consumo del oxígeno disuelto (Tarek *et al.*, 2019). Las descargas de suero de queso pueden generar eutrofización en lagos y ríos por el consumo excesivo del oxígeno lo que provoca alteración de la calidad de agua y genera costos para la purificación del cuerpo de agua (Zhou *et al.*, 2019). La descarga directa también puede causar la acidificación del agua y el enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) generando la eutrofización, este afecta negativamente la calidad y el funcionamiento del ecosistema hídrico por la disminución de la biodiversidad, debido a la poca penetración de luz, aumento de microorganismos patógenos y vectores de enfermedades (Ledesma *et al.*, 2013). El lactosuero puede ser arrastrado mediante diversas capas pudiendo llegar al nivel freático y representar una amenaza para los animales y humanos.

En el suelo afecta las características físico-químicas lo que genera reducción del rendimiento de cultivos (Yadav *et al.*, 2015) y por tanto la disminución de cosechas y debido al contenido de nitrógeno del lactosuero también se observa la lixiviación del suelo (Valencia y Ramírez, 2009). En la elaboración de queso para darle sabor se agrega sal y este lactosuero es desechado al medio ambiente, porque los animales como el cerdo no toleran consumirlo. Al desecharse altera la estructura del suelo, puesto que el

suelo salino contiene elevadas cantidades de cloruro de sodio que perjudican la productividad de los cultivos (Delgado *et al.*, 2019).

### **2.3.5. Norma ambientales relacionados al lactosuero**

En el Perú hay un vacío legal en cuanto a la gestión del vertimiento del lactosuero al medio ambiente, cuerpos de agua y suelos (Palacios, Oclocho y Ordoñez, 2021), puesto que no se encontró lineamientos para la gestión de efluentes de lactosueros. Sin embargo, el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM es una de las legislaciones relacionadas a esta problemática, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. En otros países existe normativas para utilizar el lactosuero como materia prima para alimentos. Actualmente en Perú no se cuenta con una norma que establezca los parámetros para utilizar el suero. En Ecuador existe la norma INEN 2594: 2011 que establece los requisitos para el uso del lactosuero como materia prima o ingrediente. Los requisitos generales son que el suero debe provenir de productos que hayan sido pasteurizados sin contener sustancias extrañas al queso.

### **2.3.6. Uso del suero de queso o lactosuero**

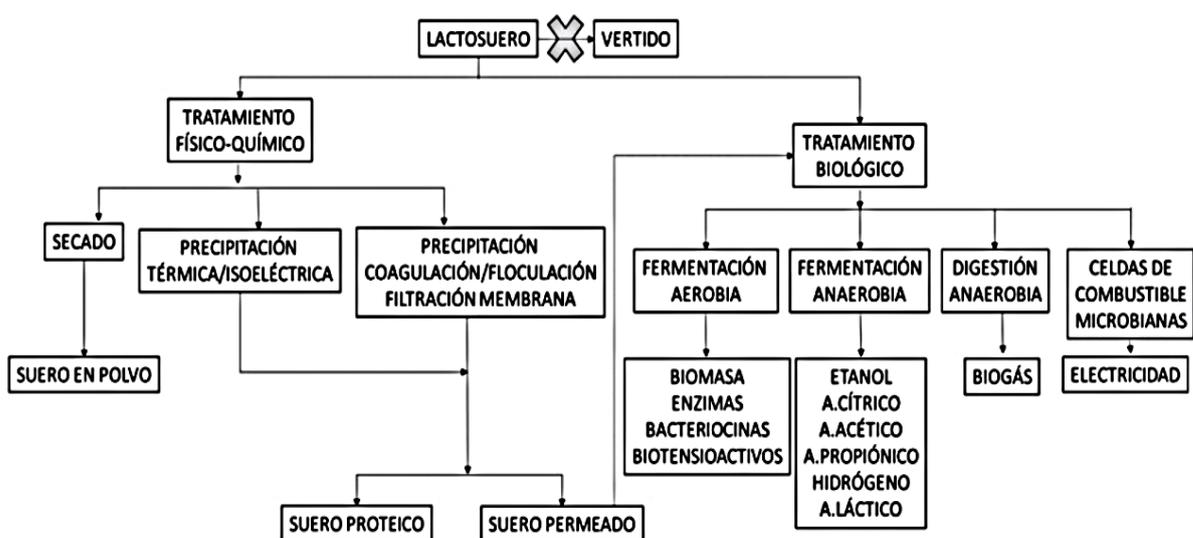
La forma tradicional de uso de lactosuero es destinar para el consumo de animal, generalmente porcino (Fernández *et al.*, 2016). En el Perú, las medianas, pequeñas y sobre todo artesanales que se encuentran en Puno no cuentan con un sistema de aprovechamiento apropiado del lactosuero por lo que son descargados al medio ambiente o al desagüe sin previo tratamiento.

Las principales formas de tratar el lactosuero y aprovechar son mediante el tratamiento fisicoquímico y el tratamiento biológico (Figura 3). En el tratamiento fisicoquímico está el secado; precipitación térmica/ isoelectrico y la precipitación, coagulación/ floculación,

filtración de membrana. Por otro lado, en el tratamiento biológico se encuentra la fermentación anaerobia, fermentación aerobia, digestión anaerobia y celdas de combustibles microbianas. El tratamiento mediante el proceso anaeróbico consiste en obtener hidrogeno o biogás a partir de la conversión de la materia orgánica (Fernández *et al*, 2016). Los métodos anaeróbicos para tratar los efluentes de lactosuero conservan energía y lo más importante es que ayuda a generar energía en forma de biogás (Bella y Venkateswara, 2022).

El lactosuero puede ser aprovechado con fines agrícolas como fertilizante orgánico, en una investigación se llevaron a cabo un experimento en macetas para experimentar la viabilidad en utilizar diferentes lactosueros en la fertiirrigación de *Schinus molle* y han demostrado que el uso de suero de queso en fertiirrigación es alternativa adecuada para evitar la eliminación del suero al medio ambiente (Abou-Dahab *et al.*, 2019). El aprovechamiento del lactosuero por el contenido elevado de nutrientes contribuye en la disminución de la contaminación ambiental (Osorio-Gonzales *et al*, 2018).

Figura 3. Principales tratamientos del lactosuero



Fuente: Fernández *et al.*, 2016

## 2.4. Estiércol de vacuno y composición

Es el excremento del ganado vacuno compuesto por fibras y agua, debido a que los animales herbívoros se alimentan generalmente de pasturas o forraje (Arellano, Cruz y Huertas, 2014). Según Cordero (2013), la producción y características químicas del estiércol dependen de la genética, dieta del animal y la edad (bovinos de engorde, becerros de engorde, vacas de lactación, vacas secas, becerras lactantes, etc.). Las vacas de lactación defecan 68 kg/día y con 87% de humedad y estos contienen N: 0.45 kg/día/animal, P:0.07 y K:0.103 (ASAE, 2005 citado por Cordero, 2013). El estiércol de vacuno generalmente contiene 36% materia orgánica, 1.5% nitrógeno total, 0.6% fósforo, 2.5% potasio, 3.2% calcio, 0.8% magnesio, 1.6% sodio, 130.6 ppm zinc, 264 ppm manganeso, 354 ppm hierro, relación C/N: 26, pH: 8 y 35% de mineralización en el primer año (Cordero, 2013). Las características del estiércol de terneros en diferentes tiempos como en 2 meses, 6 meses y 8 meses mostraron que la concentración del nitrógeno amoniacal es casi 80% en el estiércol más fresco y se reduce de forma importante con el tiempo hasta menos de 8%, con respecto a la materia orgánica este disminuye de con el tiempo de almacenamiento y aunque menos claramente el fósforo y potasio. La relación C/N a los dos meses fue 19.9, a los 6 meses 12.2 y a los 8 meses de 13.4, en el estiércol fresco es más elevada el C/N (Barrós Torres *et al*, 2018).

### 2.4.1. Ganado vacuno en Perú

El total de cabezas de ganado bovino en el 2012 según el IV CENAGRO fue de 5.2 millones y el 39.8% son vacas. Es decir, 2.0 millones son vacas de los cuales el 74.8% de las vacas es únicamente para producir leche (MINAGRI, 2017).

Castañeda Arrascue (2019), calculo la generación de estiércol de bovino en el Perú, para ello, considero los datos de la población anual de bovino nacional reportados por el INEI Y SEIA y el peso promedio del animal (281 kg/unidad). El 5.5% es la cantidad de excretas producidas al día en función peso del animal. De esta manera, en el 2015 la población de bovino fue 5,553,470 y la producción de excretas fue de 31,327,541 t y en los años 2016, 2017 y 2018 la producción de excretas bovinas generadas anualmente fue de 31,254, 896 t; 31,226,560 t y 31,507,599 t respectivamente.

Cada vaca de producción láctea genera 75 kg de metano al año, globalmente la emisión de metano seria 20,68x10<sup>6</sup> Tm, pero la FAO considera que todo vacuno emite unos 100x10<sup>6</sup> Tm de CH<sub>4</sub>. La liberación de dióxido de oxígeno y de metano son aspectos involucrados en el calentamiento global, el metano atrapa 84 veces más de calor que el CO<sub>2</sub> (Espinoza, 2021).

#### **2.4.2. Contaminación ambiental**

Los bovinos producen el metano (CH<sub>4</sub>) y el gas carbónico, estos gases contribuyen al calentamiento global. El metano se origina por el proceso fermentativo del alimento que ingresa al rumen otro gas es el carbónico (Carmona et al.,2005). El ganado vacuno emite gases de metano y bióxido de carbono, el estiércol por sus características químicas produce óxido nitroso que surge de la desnitrificación del nitrógeno que existe en el estiércol y orina de ganado, además por la descomposición del estiércol de genera la emisión de metano sobre todo cuando está en condición anaeróbica, pero en condiciones aeróbicas el gas es escasa. Otra emisión de gas proviene de la fermentación entérica que es un proceso de la digestión, se produce la emisión de metano mediante la exhalación o erucción del animal, este proceso solo ocurre en rumiantes por ser

poligástricos (Espinoza, 2021). Otro de los impactos ambientales negativos del estiércol de ganado es la acumulación de micro y macronutrientes en los cuerpos de agua superficial y suelo. Esto si no hay un control adecuado en el almacenamiento, transporte o aplicación (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012). En las personas puede provocar enfermedades al consumir el agua contaminada por excretas de vacuno, porque el excremento de bovino contiene microorganismos como la *Escherichia coli* que causa enfermedades (diarrea y gases abdominales) en las personas que (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

Según la FAO el estiércol de bovino no emite metano cuando esta seca totalmente. Al día una vaca puede excrementar 5.5.kg y eructar 350 a 750 litros de metano (Cordero Jauregui, 2013).

En algunos países existe regulaciones para el manejo de excretas como en EE. UU. que su legislación de manejo de excretas es supervisada y certificada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), otros países que cuentan con regulaciones son Canadá, Argentina, Chile, Colombia y México, pero en estos últimos cuatro países la regulación es escasa y confusa (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

### **2.4.3. Usos del estiércol**

El estiércol en el suelo aporta con materia orgánica y suministra nutrientes (N, P, K) a las plantas. Así mismo, mejora la estructura y la capacidad de retención de agua. (Iglesias, 1995). El estiércol se debe aplicar en dosis acorde al contenido de nitrógeno disponible con la finalidad de reducir los gastos en compra de fertilizantes químicos y disminución de los efectos negativos en aguas subterráneas por lixiviados de nitrato (Figuroa *et al.*, 2010). Según Figuroa-Viramontes (2010), en su estudio realizado en Comarca

Lagunera-México, donde hay explotación lechera, señala que el estiércol bovino es incorporando al suelo para producir cultivo de maíz forrajero, obteniendo igual rendimiento hasta mayor al sustituir el fertilizante químico por el compost. En el estudio realizado por Jimenez, Larreal y Noruega (2004), usaron estiércol de bovino para ver los efectos en las propiedades químicas en suelos con áreas degradadas con el fin de mejorar la productividad. Los resultados fueron favorables, se aumentó el fósforo disponible, el carbono orgánico y el pH. Además, hubo disminución en la saturación del aluminio. Aplicar estiércol de bovino en los suelos como enmienda orgánica permite recuperar las características del suelo. El estiércol de animal en los procesos anaeróbicos proporciona la capacidad amortiguadora para los procesos anaeróbicos (Rico, Muñoz y Rico, 2015).

### **2.5. Economía Circular y valorización de los residuos agropecuarios**

El objetivo de la economía circular es prolongar el tiempo de vida útil de los productos; aprovechando los residuos como recurso para producir otros productos. Las ventajas que tiene son la reducción de los residuos y por tanto la disminución de los impactos ambientales negativos. (Cerdeja y Khalilova, 2016, Kowszyk y Rajiv, 2018). Considerando estas definiciones la economía circular de los residuos agropecuarios, consiste en devolver estos residuos agropecuarios al suelo mediante el compostaje o digestión anaerobia (biofertilizante). La valorización del lactosuero y el uso del estiércol del ganado lechero es beneficiosa, puesto que reduce la contaminación al medio ambiente. Actualmente existe variedades de soluciones técnicas para que los residuos sean valorizados energéticamente. El uso de los residuos orgánicos mediante la digestión anaeróbica para obtener biogás y biofertilizantes es una de las alternativas (Cerem, 2018).

## 2.6. Digestión anaerobia

Es un proceso donde interactúan diversas comunidades de los microorganismos en condiciones de anoxia, estos degradan la materia orgánica en productos gaseosos. Se utilizan biodigestores para controlar y hacer eficiente la digestión anaerobia del sustrato y así producir biogás. Las fases del proceso anaeróbico son cuatro: fase hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; es importante comprender que las reacciones en los digestores son simultáneamente( PNUD, FAO, GEF, 2011).

### 2.6.1. Fases de la digestión anaerobia

#### a. Hidrólisis

Los microorganismos solo utilizan material orgánico soluble para que pueda traspasar su pared celular; más no directamente materia orgánica polimérica. Esta fase consiste en degradar la materia orgánica compleja en materia orgánica soluble (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos). La hidrolisis proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica mediante la acción de enzimas extracelulares que producen los microorganismos hidrolíticos. Esta fase es afectada por el nivel de pH, temperatura, tamaño de partículas, concentración de amonio, TRH, composición bioquímica de la materia y concentración de productos hidrolíticos (PNUD, FAO, GEF, 2011).

#### b. Fermentativa o acidogénesis

Los compuestos solubles obtenidos en la hidrolisis son convertidos en hidrogeno ( $H_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y ácidos grasos volátiles. Si el valor de  $pH < 5$ , entonces hay más generación de etanol, pero si el nivel de  $pH > 5$ , existe mayor producción de ácidos grasos volátiles (Nuñez, 2017).

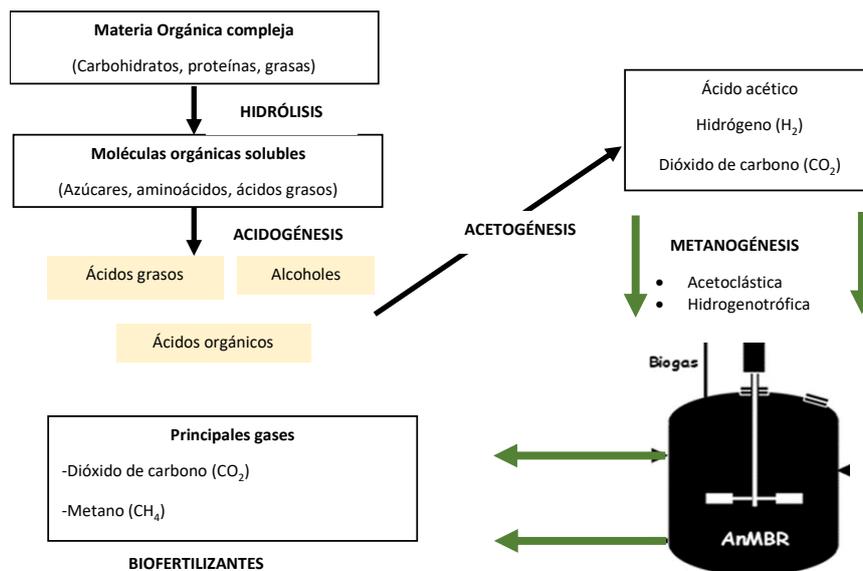
**c. Acetogénesis**

Las bacterias acetogénicas son las encargadas de transformar a los compuestos intermedios tales como el etanol, ácidos grasos volátiles y parte de los compuestos aromáticos en acetato, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (FAO, 2019).

**d. Metanogénica**

Las bacterias metanogénicas forman el metano, estos microorganismos tienen dos vías acetoclástica, donde se transforma el ácido acético en metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y la hidrogenotrófica, que a partir de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se produce el CH<sub>4</sub>. La etapa metanogénesis es limitante del proceso, puesto que organismos metanogénicos son lo más sensibles a cambios de pH. En este proceso la materia orgánica sufre transformaciones químicas y físicas que conduce a producción de biogás y biofertilizante (FAO, 2019).

**Figura 4.** Etapas y fases de la digestión anaeróbica



Fuente: FAO, 2019

### 2.6.2. Factores que intervienen en la digestión anaerobia

Las dificultades de la digestión anaeróbica del lactosuero se deben al bajo contenido de alcalinidad y la rápida acidificación; que puede agotar la capacidad amortiguadora y provocar la caída de pH e incrementación la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y posterior fallo del digestor (Rico, Muñoz y Rico, 2015). Sin embargo, para superar estas limitaciones existe la opción de la Co-digestion (Bella y Venkateswara, 2022; Mostafa Imeni et al., 2019).

#### a. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH mide la alcalinidad o acides de una disolución y está relacionada con los iones de hidrogeno. El pH debe encontrarse cerca a la neutralidad; si este difiere afecta la digestión anaeróbica. El valor obtenido de pH no debe subir de 8.0 ni bajar de 6.0; si el pH es inferior de 6 entonces el biogás contiene poco metano y menor cualidad energética, pero si el valor de pH aumenta este beneficia la generación de amoniaco que en elevadas cantidades podría inhibir el proceso anaeróbico para evitar este problema se debe mantener el pH en un rango optimo añadiendo carbonato de sodio, hidróxido de sodio, cal y etc., generalmente se añade bicarbonato de sodio por su menor toxicidad y mayor solubilidad. La evaluación del pH permite evaluar la correcta función del sistema (PNUD, FAO, GEF, 2011).

#### b. Temperatura

La temperatura influye en la velocidad de digestión anaeróbica, puesto que al aumentar la temperatura también aumenta la velocidad de crecimiento de organismos que aceleran el proceso anaeróbico, obteniendo mayor generación de biogás. Los rangos de temperatura (Tabla 4) en la que trabajan los organismos anaeróbicos son:

psicrófilos, mesófilos y termófilos. El rango psicrófilico es el poco estudiado y es planteado como poco viable. Sin embargo, el más utilizado es el mesofílico; aunque hoy en día se está implementando más el termofílico por la velocidad del proceso y eliminación de organismos patógenos, pero este rango es más sensible e inestable a pequeños cambios en el proceso o sustrato y puede inhibir el proceso. Al aumentar la temperatura también aumentar la solubilidad de la materia orgánica y así la velocidad del proceso de digestión es más rápida, pero también aumenta la solubilidad de los tóxicos (ácidos grasos de cadena corta y nitrógeno amoniacal) que podrían inhibir el proceso (FAO, 2019; PNUD, FAO, GEF, 2011).

**Tabla 4.** Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

<b>Fermentación Anaeróbica</b>	<b>Rango de temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (días)</b>
Psicrófilicos	4-25	Sobre 100
Mesofílicos	25-45	30-60
Termofílicos	50-80	10-15

**Fuente:** FAO, 2011

En muchos casos no es importante trabajar a altas temperaturas, más que asegurar la estabilidad del biodigestor. Si la temperatura cambia, es difícil que los microorganismos colonicen permanentemente el medio, por lo que la obtención de biogás no será constante (FAO, 2019).

### **c. Materias primas**

La composición y naturaleza del residuo utilizado influye en la calidad y cantidad de biogás producido.

#### **d. Relación de Carbono Nitrógeno (C/N)**

Es un número que expresa la relación de dos componentes (Carbono y Nitrógeno) en un sustrato orgánico. El carbono proporciona energía y el nitrógeno permite la renovación y crecimiento celular de los microorganismos metanogénicas. Ambos elementos son importantes en el proceso anaeróbico (FAO, 2019).

La falta de nutrientes inhibe drásticamente a los microorganismos metanógenos, por lo que los nutrientes deben estar por encima del óptimo. El carbono es consumido por las bacterias metanogénicas 30 veces más que el nitrógeno. El rango de 30:1 a 20:1 de la relación C/N se considera óptimo. Sin embargo, los sustratos con un mayor contenido de carbono (35:1) se descomponen más lentamente debido a un menor desarrollo y reproducción bacteriano en un déficit de nitrógeno, pero los tiempos de producción de biogás son más prolongados. En cambio, si la relación es menor de 8:1 hay formación de exceso contenido de amonio y se inhibe la actividad bacteriana y el proceso. El promedio de la relación de C/N de las excretas de bovino es de 25:1. Si al iniciar la digestión anaerobia no se tiene relación apropiada se debe hacer mezclas de materias para obtener relación adecuada (30/1), en la Tabla 6 se muestra la relación de C/N de algunos residuos (FAO, 2019; PNUD, FAO, GEF, 2011).

#### **e. Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Representa el tiempo en mantener el material orgánica en el digestor, y las bacterias tardan cierto tiempo en descomponer el sustrato. TRH está indirectamente relacionado con la temperatura; si la temperatura es más alta, el tiempo de retención es más corto porque la temperatura afecta en gran medida la velocidad de degradación. El TRH para producir biogás es mayor en el rango de temperatura psicrófilicos que el mesófilicos o

termofílicos (Tabla 5). Para biodigestores estacionarios o también conocidos como biodigestores discontinuos, TRH es el tiempo transcurrido entre la carga y descarga del sistema (FAO, 2019; PNUD, FAO, GEF, 2011).

**Tabla 5.** Tiempo de retención hidráulica para diferentes rangos

Rangos	Tiempo de retención hidráulica (THR)
Psicrofílicos	50 a 120 días
Mesofílicos	25 a 50 días
Termofílicos	15 a 25 días

Fuente: FAO, 2019.

#### f. Inhibidores

Los compuestos biológicos y/o químicos en ciertas concentraciones pueden inhibir el proceso de biodigestión. Es importante conocer la composición de las materias a usar; estos podrían tener químicos que podrían inhibir el proceso. En la digestión del lactosuero y estiércol de bovino, el pH ácido en el periodo experimental podría ser un inhibidor de la metanogénesis (Reddy, Nandan Redd y Chang, 2022). La digestión anaeróbica del lactosuero solo en la hidrólisis podría resultar en la liberación de amoníaco, ácidos grasos con cadena larga, entre otros; estos pueden ser inhibidores del proceso (Bella y Venkateswara, 2022). Por otro lado, en la dieta del animal bovino se utilizan enzimas para el alimento, si las enzimas llegaran al estiércol y al usarlo en un biodigestor la producción de biogás puede ser la no deseada (FAO, 2019)

### 2.6.3. Monodigestión del lactosuero

La monodigestión puede generar la liberación de sustancias inhibitoras como el amoníaco, ácidos grasos de cadena larga entre otros inhibidores durante la hidrólisis y por tanto puede inhibir el proceso, por lo que se debe elegir un sustrato de codigestión adecuado para equilibrar la composición y así mejorar la estabilidad y maximizar el rendimiento de biogás (Bella y Venkateswara, 2022).

### 2.6.4. Co-digestión anaeróbica

La co-digestión anaeróbica es una tecnología para tratar residuos orgánicos en forma simultánea que permite equilibrar el contenido de nutrientes y mejorar la producción de biogás (Carlini, Castellucci y Moneti, 2015). Los beneficios de la co-digestión son optimizar el proceso digestivo, mejorar la descomposición de la materia prima, aumentar la generación de biogás, mejorar la calidad de los biofertilizantes (FAO, 2019).

Según Bella y Venkateswara (2022), la co-digestión es una alternativa viable para abordar los problemas de la digestión anaeróbica al suministrar nutrientes y proporcionar la capacidad amortiguadora. Es importante seleccionar un desecho orgánico adecuado como co-sustrato, este debe ser rico en carbono y altamente biodegradable. La co-digestión de lactosuero con estiércol de animal ha demostrado ser una solución, ya que el estiércol proporciona la capacidad amortiguadora y necesaria para garantizar la estabilidad del proceso y también puede mejorar el proceso debido al mejor balance de carbono y nutrientes lo que es una opción adecuada para mejorar la producción de biogás (Rico, Muñoz y Rico, 2015).

En un estudio evaluaron la generación de biogás al realizar mezclas de estiércol de aves de corral (PM) con desechos de lactosuero (CWW), en reactores de 5L, condiciones

mesofílicas (37°C), TRH de 35 días y pH de 6.5 a 7.5. Los experimentos fueron por triplicado; la producción de gas se analizó por cromatografía de gases y se midió en una columna de agua. Se realizaron 3 mezclas de CWW:PM (3:1, 1:1, 1:3) para determinar la relación óptima de rendimiento de biogás, 18 días después se obtuvo el 90% de rendimiento de biogás y 65% de metano de la relación 1:1. La co-digestión reduce los efectos negativos de los compuestos tóxicos y aumenta la generación de CH<sub>4</sub> y biogás. La relación CWW:PM de 1:1 generó más metano, redujo la acidificación de CWW, mejoró el C/N y disminuyó los sólidos totales (Carlini, Castellucci y Moneti, 2015).

### **2.6.5. Productos de la digestión anaerobia**

#### **a. Biogás**

Se obtiene de la descomposición de la materia orgánica, donde el sustrato orgánico es degradado por microorganismos especializados. El proceso puede llevarse a cabo en un ambiente natural o en reactores con ausencia de oxígeno. Está compuesto principalmente por 50-70% de metano (CH<sub>4</sub>) y 40-20% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), además contiene otros gases en cantidades menores como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) (FAO, 2019). La descomposición del estiércol sin previo tratamiento genera gases de efecto invernadero (GEI); aprovecharlo contribuye a disminuir la emisión de estos gases (Martí-Herrero, 2019).

Castañeda Arrascue (2019) estimó la producción de biogás teórico de la Co-digestión anaeróbica del lactosuero y estiércol de bovino. El cálculo para el 2017 esta producción fue aproximadamente de 747,515 (NM<sup>3</sup>).

#### **a. Biól o abono líquido orgánico**

Son conocidos también como biofertilizantes líquidos, digestato, digerido, etc. Es uno de los subproductos de la digestión anaeróbica originado por la acción de los

microorganismos que degradan la materia orgánica. Los nutrientes del material orgánico como el potasio, fósforo, nitrógeno y otros son mineralizados y están disponibles para las plantas (Martí-Herrero, 2019).

La cantidad producida y calidad del biofertilizante líquido depende del sustrato utilizado; si el biofertilizante es destinado para fines agronómicos se debe evitar usar sustratos que contengan tóxicos como los metales pesados. Una de las ventajas de obtener el biofertilizante es sustituir los fertilizantes químicos y mejora las propiedades físico-químicas del suelo (FAO, 2019). Según Robles et al 2008, el biol contiene hormonas vegetales de crecimiento. Los cinco grupos hormonales (adenina, purina, auxina, giberelina, citocina) que son desechos del metabolismo de microorganismos y su uso principal es fortalecer el crecimiento de la planta, raíz y frutos.

Según la DRA-Dirección Agraria Puno (2009), los nutrientes para las plantas se clasifican en macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), macronutrientes secundarios, los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades para el desarrollo de la planta. Por otro lado, los micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro, cloro y níquel) son también esenciales y en baja concentración.

## **2.7. Biodigestores**

Son sistemas diseñados en lo que se lleva a cabo la digestión anaerobia, dentro de este sistema las bacterias degradan a la materia orgánica que ingresa en ausencia de oxígeno y se obtiene biogás y biofertilizantes. La funcionalidad es parecida al sistema digestivo animal (Martí-Herrero, 2019). Está compuesto por un reactor o contenedor para digerir sustratos, en el ocurre el proceso bioquímico de degradación. Además, cuenta con una entrada y salida para ingresar la materia y retirar los productos (MINENERGIA / PNUD /

FAO / GEF, 2011). Estos sistemas optimizan la generación de biogás y permiten tener energía limpia, renovable y de bajo costo. Un parámetro que se utiliza para evaluar la obtención de biogás en biodigestores es la producción de metano (Rivas Solano, Faith Vargas y Guillén Watson, 2010). Los biodigestores se diferencian por el tamaño, características, nivel de tecnología y entre otros. El nivel de tecnología de los biodigestores puede ser bajo, medio, alto. En todas las tecnologías hay un espacio de 20%-50% de volumen libre para el biogás (FAO, 2019).

Los biodigestores tipo *batch* funcionan por ciclos y cada ciclo está dividido en cuatro etapas: alimentación (efluente se incorpora al biodigestor), reacción (descomposición del material orgánico), sedimentación (separación del efluente por la decantación de la biomasa) y descarga del efluente obtenido (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011). Estos son utilizados en investigaciones para conocer la capacidad de generación de biogás de diferentes sustratos y permite saber si el material es apto o no, son fáciles de construir, operar y sin costos elevados; permite simular diferentes escenarios (FAO, 2019).

En Bolivia existe experiencias utilizando biodigestores a temperaturas extremas menores que el umbral de tolerancia de microorganismos metanogénicos (<10°C), mantienen la temperatura adecuada aislando las paredes y sobre zanjas para no perder el calor y también utilizan invernaderos para proteger el sistema y aumentar la temperatura de trabajo del reactor para climas extremos (FAO, 2019; Martí-Herrero, 2019).

### **III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Objetivos**

##### **3.1.1. Objetivo general**

Determinar el uso del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino utilizando diferentes proporciones en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad.

##### **3.1.2. Objetivos específicos**

- Estimar la cantidad del biogás producido a partir del proceso de digestión anaeróbica del lactosuero y estiércol de bovino.
- Analizar la calidad del abono líquido orgánico producido a partir del proceso de digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino.
- Determinar la mejor relación de mezcla entre el suero de queso y estiércol de bovino para producir mayor cantidad de biogás y abono líquido orgánico de calidad.

#### **3.2. Hipótesis**

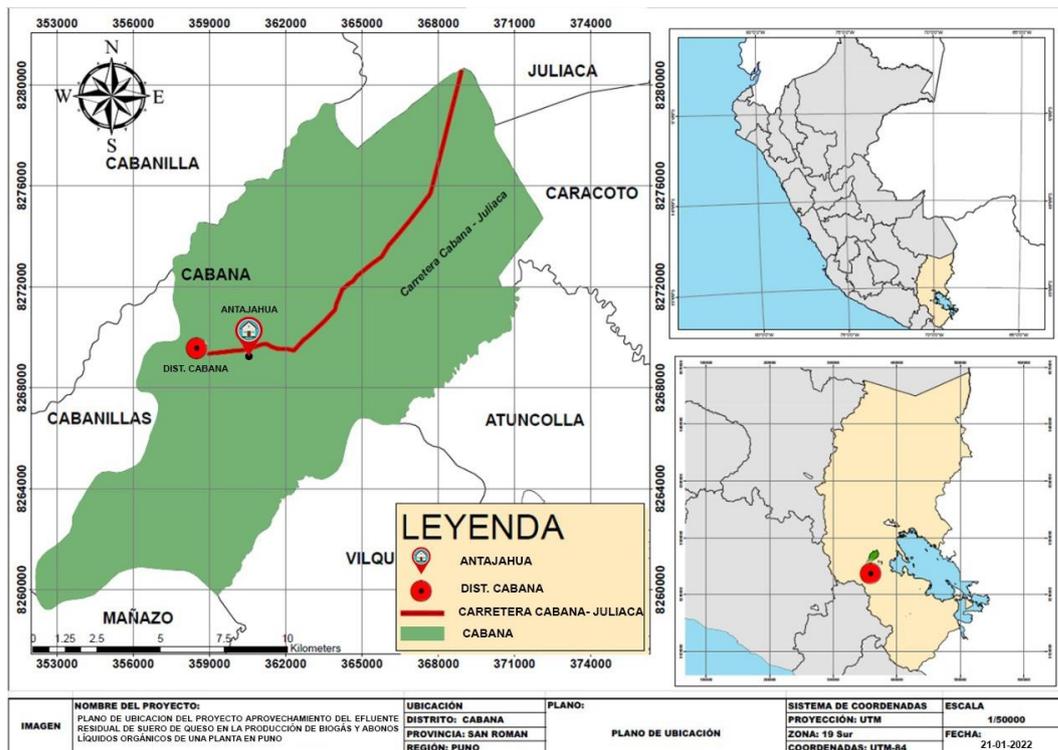
- H<sub>0</sub>: El efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino a diferentes proporciones tiene efectos para la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad.
- H<sub>a</sub>: El efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino a diferentes proporciones no tiene efectos para la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Localización

El estudio se desarrolló en la parcialidad de Antajahua ( $15^{\circ} 38' 50.13'' S$   $70^{\circ} 17' 51.22'' O$ ) ubicado en la región Puno, provincia San Román y distrito de Cabana (Figura 5), al sur del Perú a una altitud de 3879 m.s.n.m.

**Figura 5.** Mapa de ubicación del experimento



*Fuente:* Modificado de Instituto Geofísico del Perú

### 4.2. Colecta de materia prima

#### 4.2.1. Lactosuero o Suero de queso

El lactosuero utilizado se obtuvo de la elaboración de queso tipo Paria y se utilizó lactosuero dulce. Este fue colectado en bidones de 180 y 240 L por 4 días consecutivos de la Cooperativa Agroindustrial de Productores Agropecuarios Cabana Ltda. COOPAGRO ( $15^{\circ} 38' 55.47'' S$   $70^{\circ} 19' 6.27'' O$ ), situado en Cabana, San Román, Puno.

Estos fueron transportados a la parcialidad de Antajahua del mismo distrito.

#### 4.2.2. Estiércol de bovino

El estiércol fresco de vacuno procedió de un establo, ubicado en el sector Ayagachi del distrito de Cabana. Se colectó un volumen total de 345L de estiércol de vacuno lechero fresco por 3 días en carretillas, los cuales fueron trasladados dentro de bolsas de plástico. Se midió el pH del estiércol fresco y del lactosuero (Tabla 6).

**Tabla 6.** Medición de pH y temperatura del suero dulce y estiércol de bovino fresco

Parámetro	Suero dulce de leche	Estiércol de vacuno
pH	6.45	7.14
Temperatura (°C)	29.4	16.9

Después de la recolección de las materias a usar, se procedió a homogenizar el suero de queso recolectado en los diferentes días y se hizo lo mismo con el estiércol de vacuno

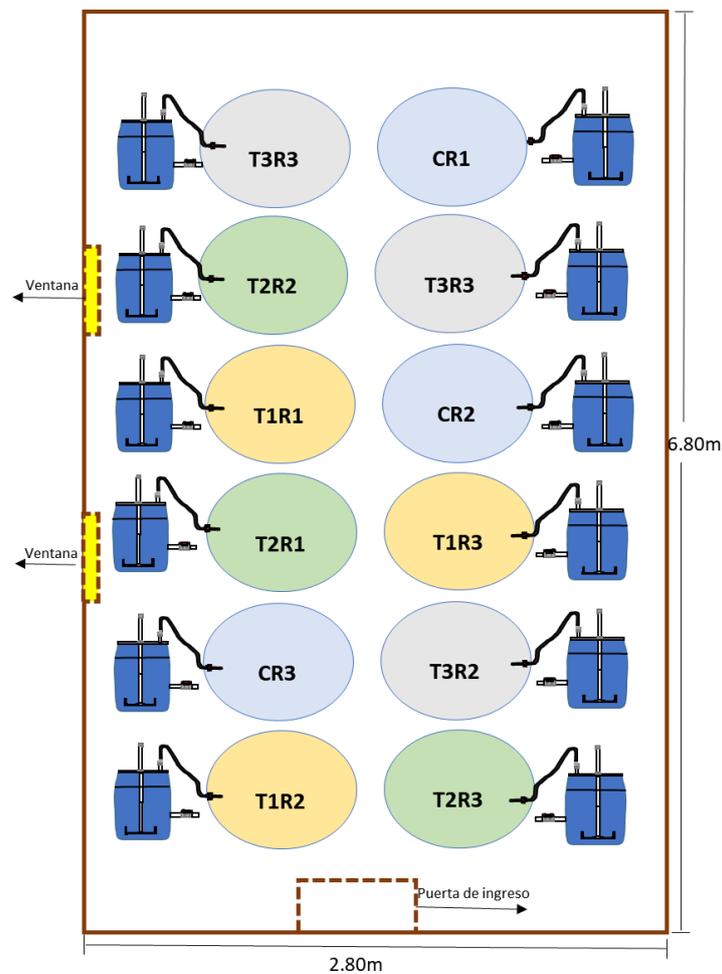
#### 4.3. Diseño de investigación

La investigación desarrollada presenta un Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos (T1, T2 y T3) y un control (T0), cada uno de estos con tres repeticiones, por ello, se utilizó 12 biodigestores que fueron distribuidos aleatoriamente dentro de un invernadero (6.80x2.80x2m) como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6.** Materia de Suero dulce y Estiércol de vacuno recolectada



**Figura 7.** Distribución aleatoria de biodigestores en el invernadero



En la Figura 7 se observa a CR1, CR2 y CR3, estos son los grupos de control y a estos se introdujeron lactosuero puro, es decir al 100% que es 192 litros. Los grupos

experimentales están compuestos por tres mezclas (de lactosuero y estiércol de bovino) a diferentes proporciones. El primer tratamiento y sus repeticiones (T1R1, T1R2 y T1R3) contiene lactosuero al 90% y estiércol de vacuno al 10%, el segundo tratamiento (T2R1, T2R2 y T2R3) tiene 80% de lactosuero y 20% de estiércol y, por último, al tratamiento tres (T3R1, T3R2 y T3R3) se agregaron 70% y 30% de lactosuero y estiércol respectivamente.

#### **4.4. Preparación de los tratamientos**

Una vez homogenizada las materias primas se procedió a cargar y preparar los biodigestores de acuerdo a cada tratamiento y sus repeticiones (Tabla 10). Los tratamientos fueron preparados con diferentes materias y cantidades.

Se considero como principal criterio de mezcla los resultados de una previa experimentación utilizando las mismas condiciones, pero diferentes proporciones de mezcla. La relación de mezcla de 50% de lactosuero y 50% de estiércol, resultó ser espesa y fue considerada en el análisis de laboratorio como materia orgánica sólida y no líquida (biol). Teniendo en cuenta esta proporción se optó por añadir materia orgánica (estiércol de vacuno) menor al 50% del volumen total. La relación de mezcla de la materia no puede sobrepasar el 50% para ser considerada materia líquida o biol.

En el tratamiento control (T0), se introdujo solamente el suero hasta los 192 L. El tratamiento uno (T1), contenía 90% de suero y estiércol de vacuno 10%, como se aprecia en la Tabla 7. Una vez llenado se procedió a homogenizar el contenido preparado durante 15 min (Paucar y Quispe, 2015). Es importante señalar que cada biodigestor fue rotulado con el nombre de la materia orgánica y la cantidad empleada.

**Tabla 7.** Cantidad de la materia cargada para cada tratamiento y sus repeticiones

Tratamientos	Contenido	Suero (L)	Estiércol		Estiércol %	TOTAL	
			(L)	Suero%		Suero	Estiércol
T0	Suero	192	0	100%	0%	576	0
T1	Suero+estiércol	173	19	90%	10%	519	57
T2	Suero+estiércol	154	38	80%	20%	462	114
T3	Suero+estiércol	134	58	70%	30%	402	174
<b>TOTAL(L)</b>						<b>1959</b>	<b>345</b>

#### 4.5. Duración

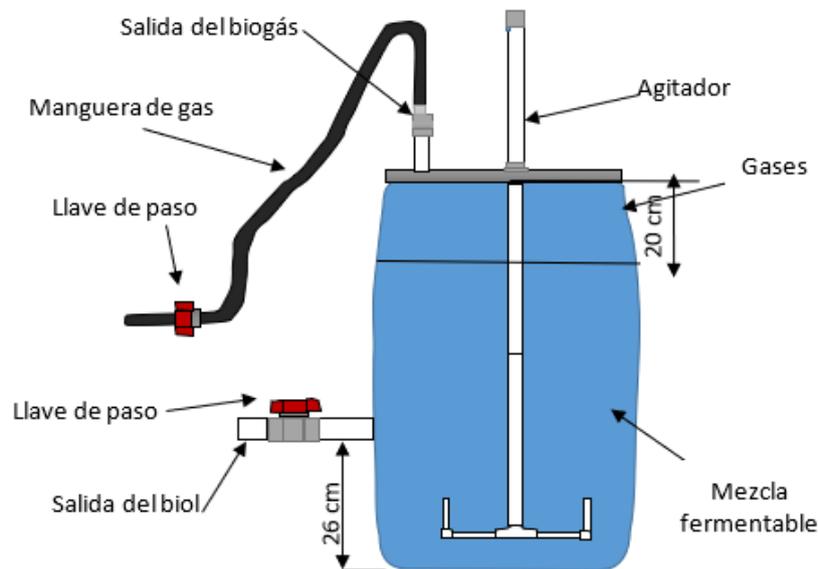
El proyecto de investigación se desarrolló por 15 semanas o 104 días, debido a que el lugar donde se llevó a cabo fue un invernadero que acelera la descomposición.

#### 4.6. Diseño y acondicionamiento de biodigestores discontinuos o tipo *batch*

12 biodigestores fueron construidos con funcionalidad de tipo *batch* (Figura 8). Se utilizaron cilindros de polietileno de 240 L de capacidad con un aro de fleje y cierre que estuvo prensado junto a la tapa para que se encuentre herméticamente cerrado y así evitar el escape de gas. Se implementó accesorios que se describen en el procedimiento de construcción (**Apéndice A**). La metodología utilizada para la construcción de los biodigestores fue de Carhuancho (2012).

Del contenido total, solo se utilizó un volumen de 192 litros; para calcular este volumen de trabajo se considero el cálculo utilizado por Narvaez y Saltos (2007) que es del 80% del volumen total del cilindro.

**Figura 8.** Diseño del biodigestor utilizado



#### 4.7. Toma de muestra

Una vez cargada la materia orgánica en los biodigestores y cerrado herméticamente, se procedió a recoger 1.5 L del abono líquido orgánico; cada tratamiento fue homogenizada con sus réplicas, es decir, que se tomó del tratamiento T0, T1, T2 Y T3 una muestra, las cuatro muestras fueron llevados al laboratorio LASPAF de la Universidad Agraria La Molina. Es importante señalar que la caracterización de las cuatro muestras fue solo al inicio, puesto que al final del proceso se hizo una caracterización de las 12 muestras y durante el proceso se ha medido los parámetros (pH y temperatura) a los 12 biodigestores.

#### 4.8. Caracterización de parámetros *in situ*

Se utilizó un potenciómetro de la marca ATS para medir el valor de pH. Para ello, se homogenizó la muestra de un volumen de 30 ml y luego se introdujo el electrodo hasta que se establezca la lectura por 10 s. Seguidamente, se anotó los datos para su posterior uso. Luego, de cada uso el electrodo del potenciómetro fue enjuagado con agua cielo

para evitar alterar el valor de las muestras posteriores. La medición fue dos veces por semana (Paucar y Quispe, 2015). Del mismo modo, se midió la temperatura del biodigestor para eso se utilizó un termómetro digital para líquidos. La conductividad eléctrica no se ha determinado, porque no se ha trabajado suero salado.

#### **4.9. Evaluación de la cantidad de biogás producido**

Para medir la cantidad de biogás producido se utilizó el método de desplazamiento de volumen o también llamado Principio de Arquímedes. Para ello, se construyó un gasómetro artesanal (**Apendice B**). Para determinar la cantidad del gas producido, se utilizó cámaras de llanta de moto, donde se almacenó el biogás obtenido de cada tratamiento, es importante señalar que cada vez que estos se llenaron, se procedió a trasladarlos a un bidón con agua, tomando en cuenta el principio de Arquímedes, donde la cantidad de agua desplazada está relacionado directamente a la cantidad del biogás generado (Castillo, 2012). Antes de cambiar las cámaras de llanta se cerró la válvula esférica y de esa forma se evitó perdidas de biogás que pueden interferir en los resultados. El bidón de medición estuvo conectada a dos mangueras, uno para la entrara del biogás, que se almacenó en las cámaras de llanta, y el otro es para disponer el agua que se va a desplazar a través de este, el cual estuvo sumergido en el fondo del bidón, y por presión del biogás el líquido es desplazado a un recipiente con medidas (Palomino, 2007).

#### **4.10. Análisis de la relación de Carbono Nitrógeno C/N**

Se tomó 1 L de muestra homogenizada de cada tratamiento a una repetición el día que se realizó las mezclas con la finalidad de conocer la relación en la que se encuentra el C/N. El análisis fue desarrollada por el laboratorio LASPAF de la UNALM.

#### **4.11. Evaluación de calidad de abono líquido obtenido**

##### **4.11.1. Análisis de enumeración de coliformes fecales**

Se evalúa la enumeración de bacterias de coliformes fecales por ser propias del tracto estomacal de los animales y representa un indicador fecal del biol, estos tienen la particularidad de ser termotolerantes y son capaces de multiplicarse a temperaturas elevadas como a 44°C (Von Sperling, 2007). Se determinó la cantidad de coliformes fecales al inicio y final del proceso para determinar la reducción de los organismos. Al inicio, una vez cerrados los biodigestores, se cogieron 500 ml de biol en recipientes plástico por tratamiento sin repeticiones, en total cuatro muestras homogenizadas que fueron llevadas al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" de la UNALM. Luego de 15 semanas de fermentación se realizó el último análisis de la misma manera que al inicio, pero esta vez se analizó las doce muestras (tratamientos y sus repeticiones). Los resultados fueron comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de la categoría D1 que comprenden a las aguas utilizadas en el riego de los cultivos vegetales; dependen del tipo de riego, tipo de consumo y procesos industriales o de transformación que son sometidos los productos agrícolas (D.S. N° 004-2017-MINAM).

##### **4.11.2. Caracterización del abono líquido orgánico**

Al terminar la experimentación, es decir en la semana 15 se analizó los macronutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio), micronutrientes (hierro, cobre, zinc, manganeso y boro), otros parámetros: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales y materia orgánica en LASPAF de la UNALM con el fin de evaluar la calidad del abono líquido obtenido. Para ello, se recolectó 1L de cada muestra en envases de plástico.

#### 4.11.3. Criterios para determinar la calidad del abono líquido

Actualmente, Perú no cuenta con normativa para indicar la calidad de los biofertilizantes líquidos y, a nivel internacional, solo hay normas para determinar calidad de compost y de lodos depurados que son usados en el sector agrario. Por esa razón, se utilizará normativas referenciales para la calidad del biol como la Normativa Chilena (Nch 2880, 2004), la cual aplica para materias orgánicas de lodos que provienen de las plantas de tratamientos de aguas servidas como residuos industriales líquidos, agrícolas, ganadero, pesquero, forestales, de mercado, excepto para el compost que son peligrosos o infecciosos.

El contenido nutricional se comparó con los parámetros establecidos de *Biolac* (Tabla 12), el cual es producido por NOGAFER-PERU S.A.C y ampliamente aplicado en el sector agrario. Este es elaborado con microorganismos eficientes (EM) (Ayala, 2015 citado por Quiñones *et al.*, 2016). Por otro lado, los parámetros y rangos mínimos que deben cumplir los abonos líquidos orgánicos son: pH (5.4-7,0), nitrógeno (N > 700 mg/L), fósforo (P > 170 mg/L), potasio (K > 1 300 mg/L) y calcio (Ca > 1 800 mg/L), estos fueron considerados por Suarez (2009).

#### 4.12. Mejor relación de mezcla

La mejor relación es aquel tratamiento que genera mayor cantidad de biogás y abono líquido orgánico de buena calidad. Esto se determinó comparando entre los tratamientos

#### 4.13. Análisis estadístico

La presente investigación es de carácter experimental con un diseño completo al azar (DCA) con cuatro (4) tratamientos y tres (3) repeticiones cada uno. Se utilizó IBM SPSS Statistics 28 para el procesamiento de datos.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar los parámetros medidos durante el proceso anaeróbico (pH y temperatura), de la misma manera para el contenido de nutrientes. Los resultados que pasaron la prueba de normalidad se les hizo la prueba de Tukey para varianzas iguales; T3 de *Dunnett* para varianzas diferentes. Por el contrario, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los que no pasaron la normalidad.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Resultados de los parámetros analizados *in situ*

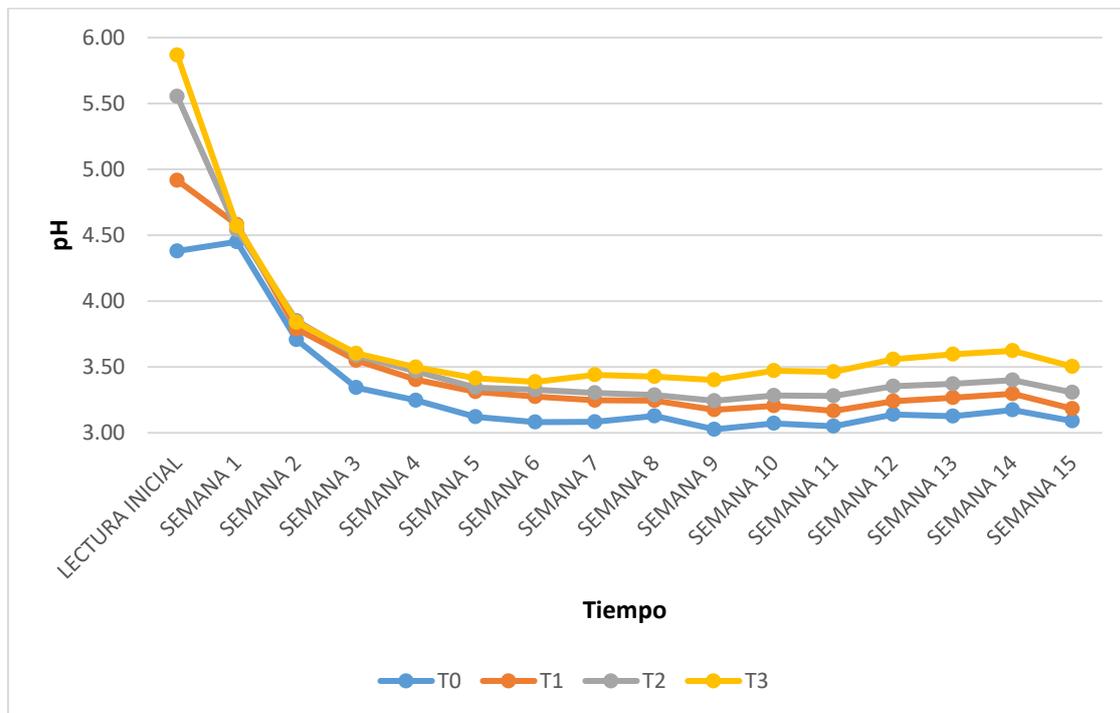
#### 5.1.1. Resultados del comportamiento del pH

Los resultados de la variación de pH durante 104 días se muestran en el Apéndice C1, en el cual se ha colocado los valores promedios de cada tratamiento por semana y repetición. El primer día de preparación de las mezclas los valores iniciales de pH fueron 4.38 y 5.87, estos valores iniciales pertenecen al control (T0) y T3 respectivamente. Durante el monitoreo se observó disminución de pH en todas las muestras. El T3 obtuvo el más alto valor de pH que los demás tratamientos excepto en la semana 1 y semana 2. Mientras tanto, el T2 y T1 registraron valores iniciales de 5.55 y 4.92 y llegaron hasta 3.31 y 3.18 respectivamente. Finalmente, el control (T0) llegó hasta 3.09.

El comportamiento de los valores de pH de durante 15 semanas de las cuatro muestras se observan en la Figura 9, todos iniciaron con un pH por debajo de 6, lo que indica que son ácidos. Los valores de pH de todos los tratamientos fueron disminuyendo drásticamente en las semanas posteriores, pero en la semana 12, 13 y 14 tuvo un ligero aumento en todos los tratamientos y en la semana 15 disminuyeron. Los análisis estadísticos indicaron que existe diferencias significativas ( $f=747,881$ ;  $p=0.000$ ) entre los tratamientos en el comportamiento semanal del pH. La prueba Tukey demostró que

todos los tratamientos son estadísticamente diferentes con un nivel de significancia de 0.000 (Apéndice C2).

**Figura 9.** Comportamiento del pH según los tratamientos

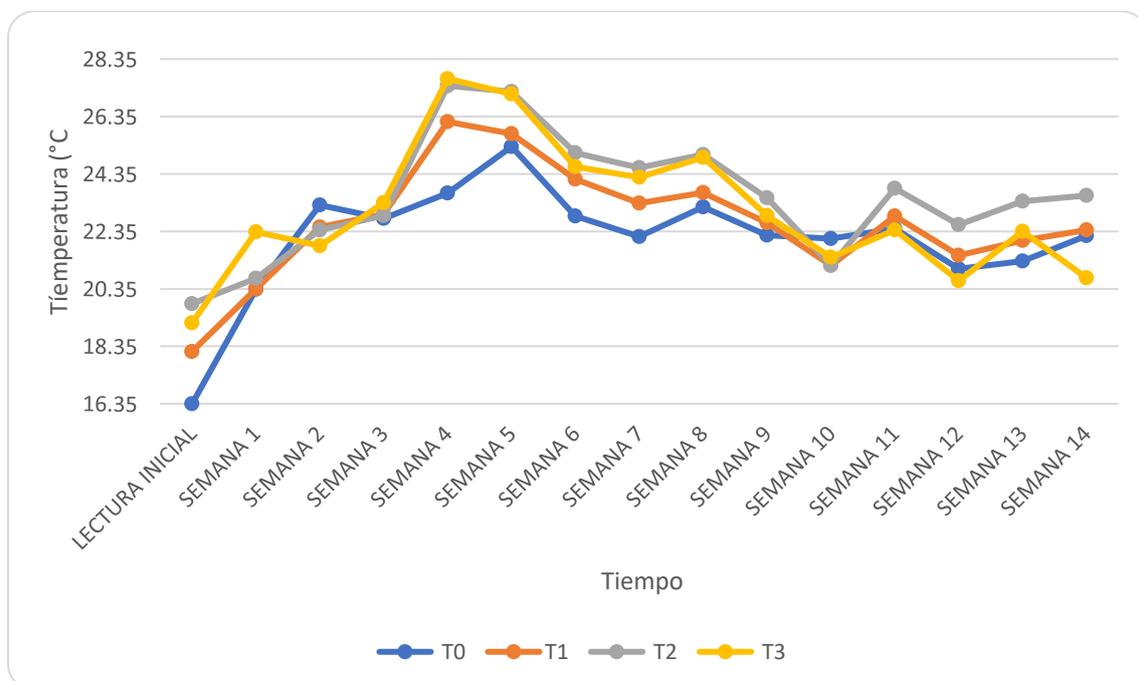


### 5.1.2. Resultados del comportamiento de la temperatura

Los resultados de la variación de temperatura promedio durante 15 semanas de los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) se muestran en el Apéndice C3. La temperatura interna de los biodigestores al inicio fue menores a 20°C de todos los tratamientos, puesto que recién se había sellado los reactores anaeróbicos; durante la experimentación se mantuvo en el rango mesofílico (20-28 °C), este se logró debido al uso de un invernadero que mantuvo la temperatura por encima de los 20°C. El invernadero permitió que los biodigestores mantengan temperaturas adecuadas para que la materia orgánica sea más soluble y este a la vez aumenta la rapidez de la digestión anaeróbica, caso contrario el proceso hubiese demorado más (FAO, 2019; PNUD, FAO, GEF, 2011).

La Figura 10 muestra los cambios de temperatura durante el proceso anaeróbico. Como se puede observar, los tratamientos tienen temperaturas similares con una tendencia ascendente y luego descendente. La temperatura máxima se registró en la semana 4 para T1, T2 y T3, este último registro 27.67°C, seguido del T2 con 27.42°C y T1 con 26.17. Sin embargo, T0 alcanzó la máxima temperatura (25.30 °C) en la 5ª semana. En general todos obtuvieron menores valores en las siguientes semanas.

**Figura 10.** Comportamiento de la temperatura según los tratamientos



Al realizar la prueba estadística ANOVA se encontró diferencias significativas entre tratamientos para la temperatura y la prueba Tukey demostró que T0-T2 son significativamente diferentes (0.004), lo mismo ocurrió con T1-T2 (0.003). En cambio, T3 no presenta diferencias con T2, T1 y T0 (Apéndice C4).

## 5.2. Resultados de la cantidad de producción de biogás

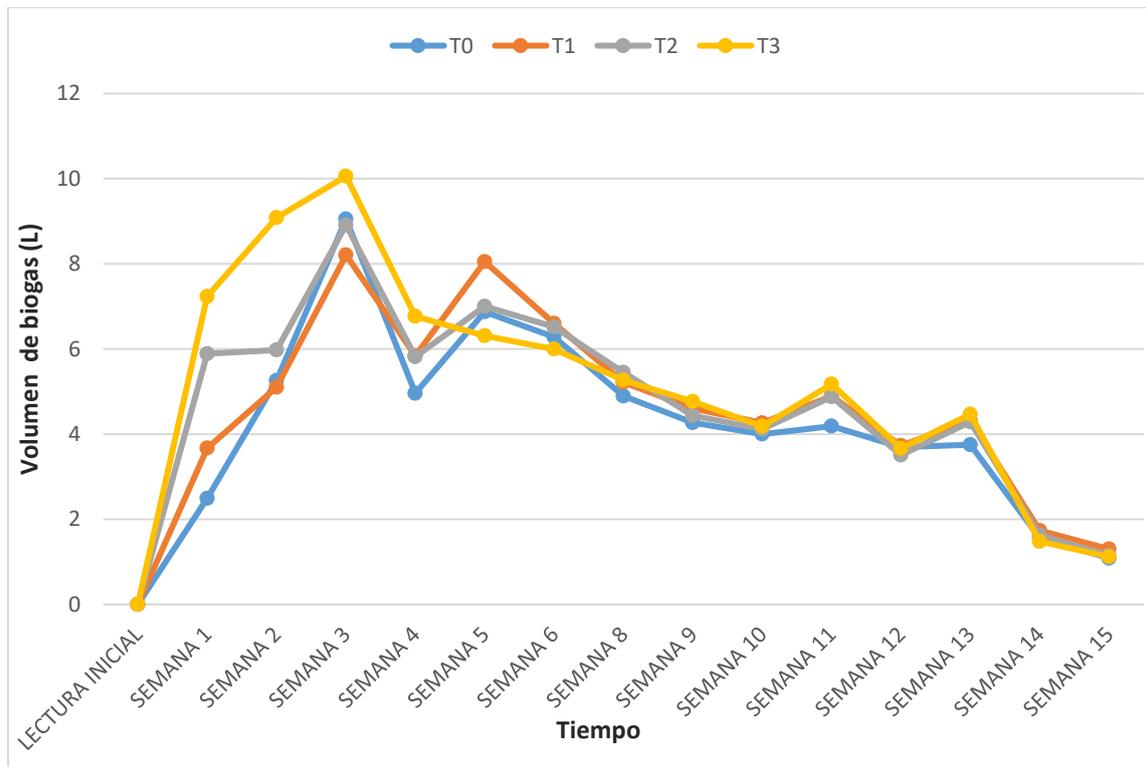
La producción promedio y el volumen acumulado semanal de biogás de los tres tratamientos y el control se presenta en el Apéndice C5. Es importante señalar que el volumen de producción semanal es el promedio de generación de biogás diario por semana. Mientras tanto, el volumen de acumulación de biogás es la suma de generación de biogás durante la experimentación. La combinación que genera mayor producción de biogás corresponde al T3, que tiene más estiércol animal en comparación con los demás tratamientos.

### 5.2.1. Volumen de producción de biogás por semana

La generación semanal promedio de biogás se muestra en la Figura 11 de los cuatro tratamientos. Los resultados presentan mayor producción de biogás en la primera semana. En la semana 3 todos los tratamientos alcanzan la máxima producción en litros; en las semanas posteriores comienzan a decaer.

La prueba estadística ANOVA indica que los tratamientos son significativamente diferentes para la producción promedio de biogás semanal ( $f=6,116$ ;  $p=0.018$ ) y la prueba Tukey demostró que el T0 es significativamente diferente al T3 ( $p=0.012$ ). Mientras que T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre sí y tampoco con T0 y T3 (Apéndice 6).

Figura 11. Comportamiento semanal de la producción de biogás

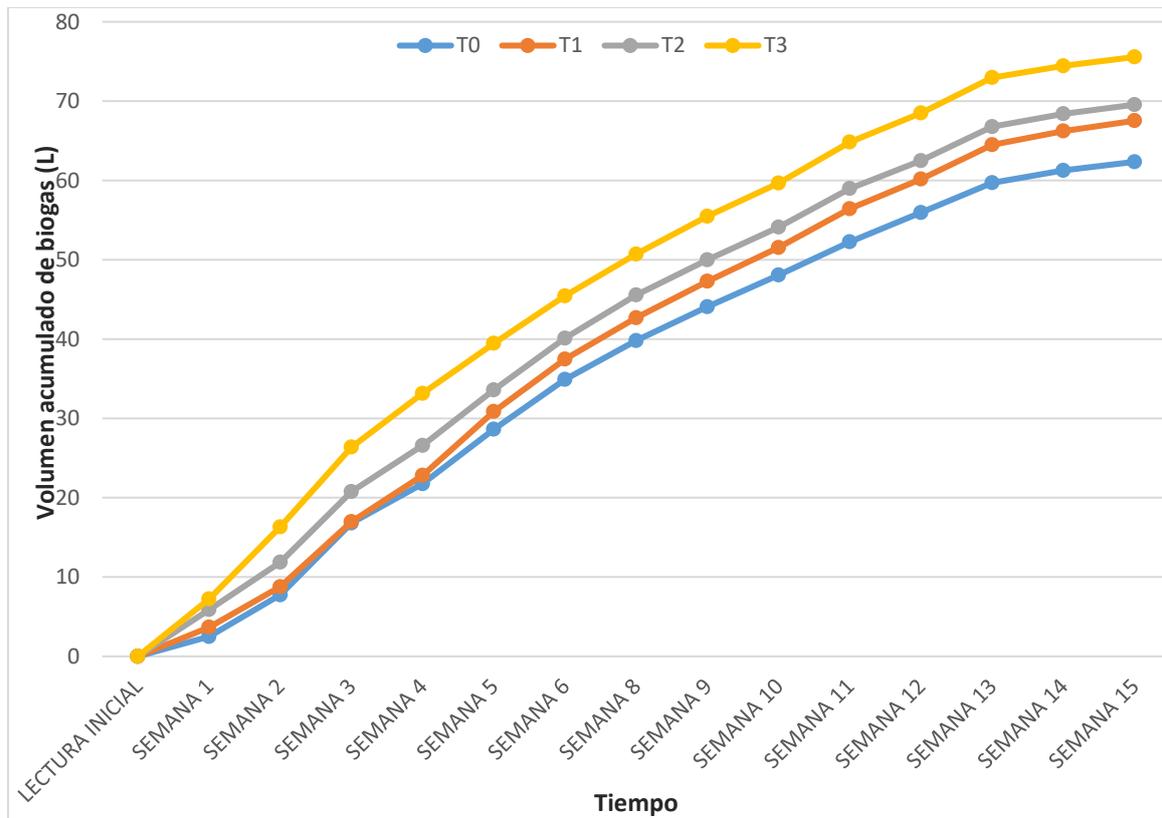


### 5.2.2. Volumen acumulado de biogás

La acumulación de biogás producido según cada tratamiento durante 15 semanas de operación del biodigestor se aprecia en la Figura 12. Los resultados muestran que el T3 produjo mayor cantidad de biogás seguido del T2, T1 y T0. Por lo tanto, el orden de producción total de biogás para cada tratamiento es  $T0 < T1 < T2 < T3$ ; obtuvieron valores de 62,35L, 67,53L, 69,55L y 75,56L, respectivamente.

La prueba estadística ANOVA indica que los tratamientos son significativamente diferentes entre sí para la acumulación de biogás ( $f=6,092$ ;  $p=0.018$ ) y la prueba Tukey identificó que T0 presenta diferencias significativas con T3 ( $p=0.012$ ). Mientras T1 no es significativamente diferente con T2 (Apéndice C7).

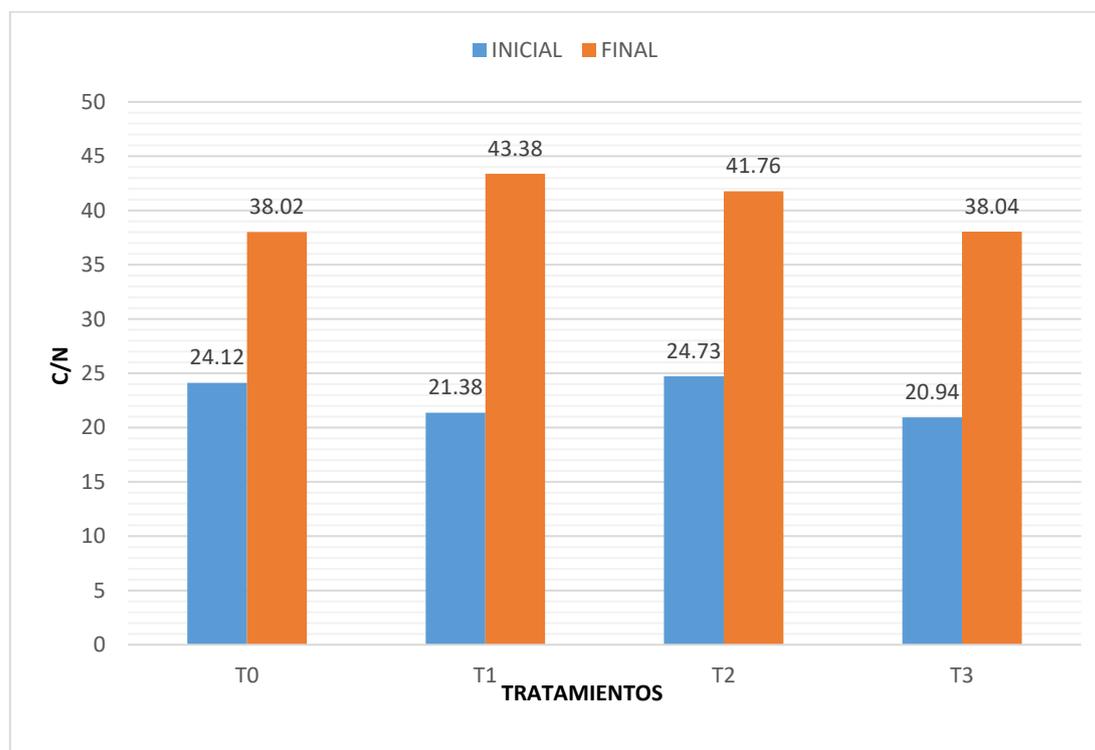
Figura 12. Acumulación de biogás semanalmente por cada tratamiento



### 5.3. Análisis de la relación Carbono/Nitrógeno

En el Apéndice C8 se muestran los resultados de la relación carbono/nitrógeno (C/N) de todos los tratamientos. Al inicio del proceso de descomposición la relación de C/N de todos los tratamientos son menores a 30 (valor óptimo para la fermentación anaeróbica). Según los resultados el T2 presenta valor más alto (24.73) seguido del T0 (24.12), mientras que los tratamientos T1 y T3 se encuentran entre 21.38 y 20.94 respectivamente. Por otro lado, la relación final de C/N es por encima de 30 y todos los tratamientos han aumentado el valor de la relación de C/N (Figura 13).

**Figura 13.** Relación Carbono/Nitrógeno según cada tratamiento al inicio y final



#### 5.4. Resultados de la calidad de abonos líquidos orgánicos o biol

##### 5.4.1. Composición de los abonos líquidos orgánicos

En la Tabla 8 se presenta los resultados promedios de las repeticiones de los parámetros químicos de los biofertilizantes líquidos obtenidos a partir del suero de queso y estiércol de vacuno, la mayor concentración de nitrógeno total es de 1491.33 mg/L, pertenece al T0; el fósforo más alto es de 482.59 mg/L del T2 y la concentración más elevada de potasio es 1466.67 mg/L que viene a ser del T3, el cual tiene más cantidad de estiércol de bovino.

**Tabla 8.** Composición de los abonos líquidos orgánicos

Parámetros	Unidades	T0	T1	T2	T3	Orden de concentración
pH	NA	3.26	3.36	3.47	3.68	T0<T1<T2<T3
C.E.	(dS/m)	8.81	9.59	11.07	11.43	T0<T1<T2<T3
Sólidos Totales	(g/L)	37.73	33.4	36.68	35.93	T1<T3<T2<T0
M.O. en solución	(g/L)	32.7	27.68	30.22	28.69	T1<T3<T2<T0
N Total	(mg/L)	1,491.33	1,099.47	1,254.40	1,308.53	T1<T2<T3<T0
P Total	(mg/L)	382.14	421.49	482.59	481.55	T0<T1<T3<T2
K Total	(mg/L)	1,213.33	1,320.00	1,380.00	1,466.67	T0<T1<T2<T3
Ca Total	(mg/L)	273.33	515.33	823.33	994.67	T0<T1<T2<T3
Mg Total	(mg/L)	69.33	112	163.4	212	T0<T1<T2<T3
Na Total	(mg/L)	372	382	385.33	367.33	T3<T0<T1<T2
Fe Total	(mg/L)	0.92	10.67	23.09	33.57	T0<T1<T2<T3
Cu Total	(mg/L)	0.1	0.11	0.24	0.28	T0<T1<T2<T3
Zn Total	(mg/L)	0.23	0.7	1.44	2.01	T0<T1<T2<T3
Mn Total	(mg/L)	0.12	2.19	5.39	8.14	T0<T1<T2<T3
B Total	(mg/L)	15.67	24.33	35.33	46.33	T0<T1<T2<T3

#### 5.4.2. Resultado del análisis de enumeración de coliformes fecales

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los tratamientos del análisis de coliformes fecales. La evaluación se realizó al inicio y al final del proceso de biodigestión anaeróbica; al inicio los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron mayor cantidad de coliformes fecales ( $11 \times 10^2$ ) y el tratamiento T0 (control) contenía  $24 \times 10$  NMP/ml, pero después del proceso de fermentación el valor fue reducido a  $<3$  para todos los tratamientos, lo que indica la ausencia de microorganismo patógenos. En el Apéndice E2 se muestra los informes de laboratorio.

**Tabla 9.** Valores iniciales y finales de coliformes fecales y comparación con los ECA-Agua Categoría 3

TRATAMIENTOS	INICIO (NMP/mL)*	FINAL(NMP/mL)	ECA Agua (Categoría 3)
T0	$24 \times 10$	$< 3$	10
T1	$11 \times 10^2$	$< 3$	10
T2	$11 \times 10^2$	$< 3$	10
T3	$11 \times 10^2$	$< 3$	10

*Nota: NMP/ml\* número más probable por mL*

*\* $<3$ : Ausencia de coliformes fecales*

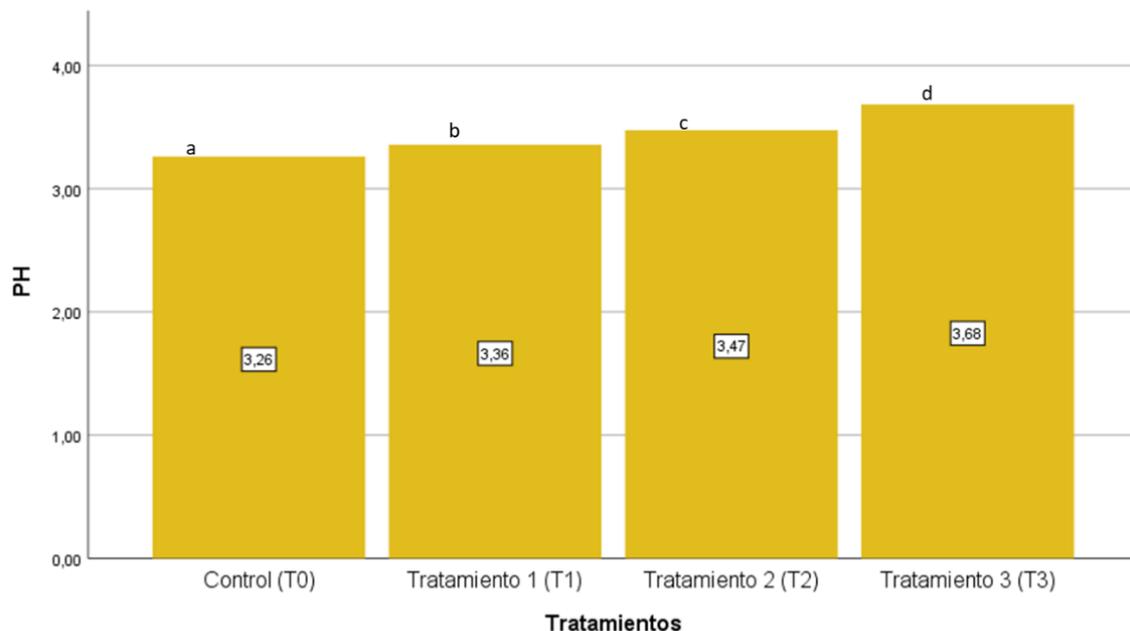
La norma ambiental de calidad de agua D.S. N° 004-2017-MINAM para riego de vegetales y bebidas de animales indica que la enumeración de coliformes fecales mínimamente debe ser mínimo de 10NMP/ml y al comparar los resultados finales

obtenidos (<3 NMP/ml) de esta experimentación, se aprecia que se encuentran por debajo del límite señalado (Tabla 9).

**a. pH**

La prueba estadística ANOVA indica que los tratamientos son significativamente diferentes para la variable de pH ( $f=664,148$ ;  $p=0.00$ ) con un coeficiente de variabilidad de 0.36% (Figura 14).

**Figura 14.** Valores de pH al finalizar el proceso anaeróbico.



*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

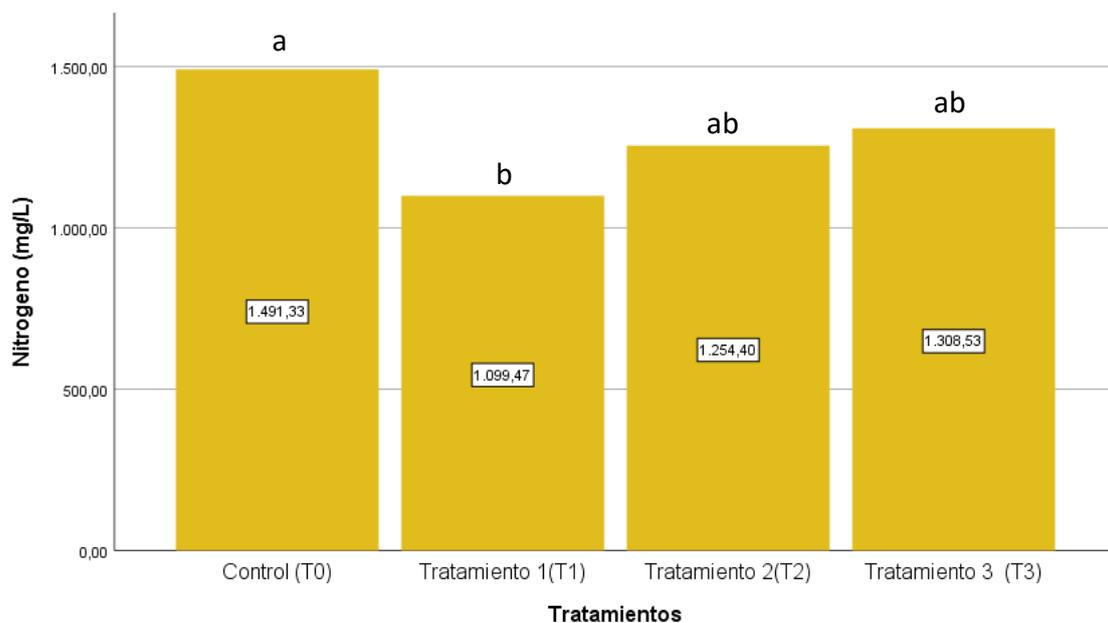
**5.4.3. Nutrientes**

**a. Nitrógeno (N)**

El tratamiento control T0 resultó con mayor contenido de nitrógeno, mientras que el T1 es el que contiene menor cantidad de N. La prueba estadística ANOVA indica diferencias significativamente entre tratamientos ( $p=0.010$ ) y la prueba Tukey muestra en la Figura

11 que el control T0 (1,491.33 mg/L) y T1 (1,099.47 mg/L) son estadísticamente diferentes. Por otro lado, T2 (1,254.47 mg/L) y T3 (1,308.53 mg/L) no muestran diferencias con T0 y T1.

**Figura 15.** Contenido de nitrógeno según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)

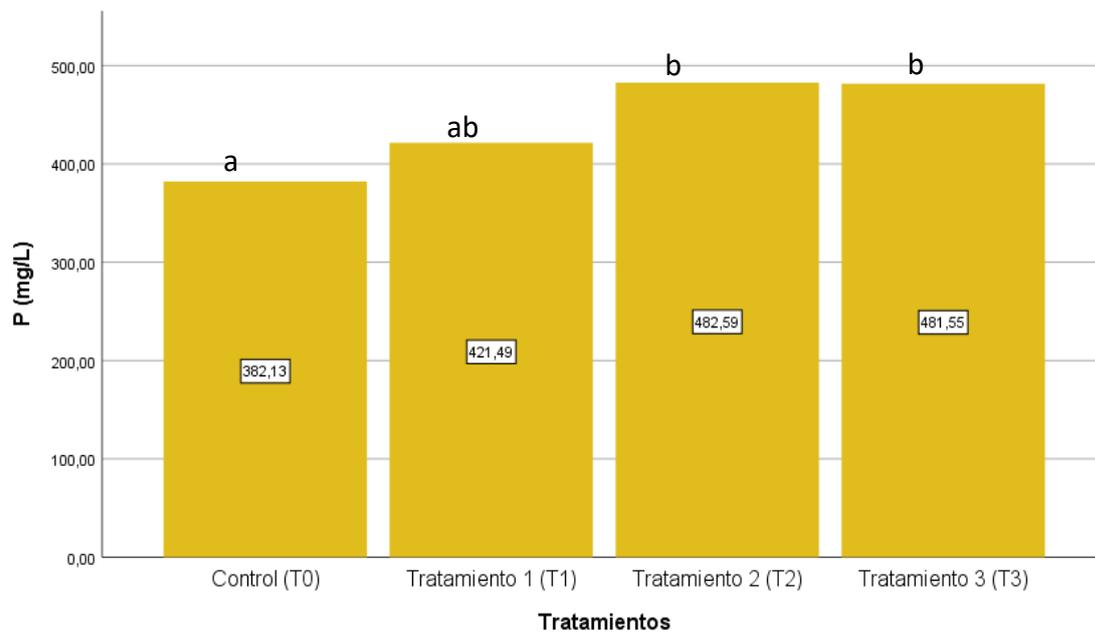


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

**b. Fósforo (P)**

En el contenido de fósforo se observa que T2 tiene mayor cantidad de fosforo, seguido de T3 (Figura 16). Sin embargo, T0 es el que contiene menor cantidad de fósforo. En el análisis de la prueba ANOVA se encontró que hay diferencias significativas ( $p=0.023$ ) entre los tratamientos de fósforo. La prueba Tukey identificó que el T2 y T3 son significativamente diferente a T0, mientras que el T1 no presenta diferencias con ningún tratamiento.

**Figura 16.** Contenido de fósforo según tratamientos (T0, T1, T2 v T3)



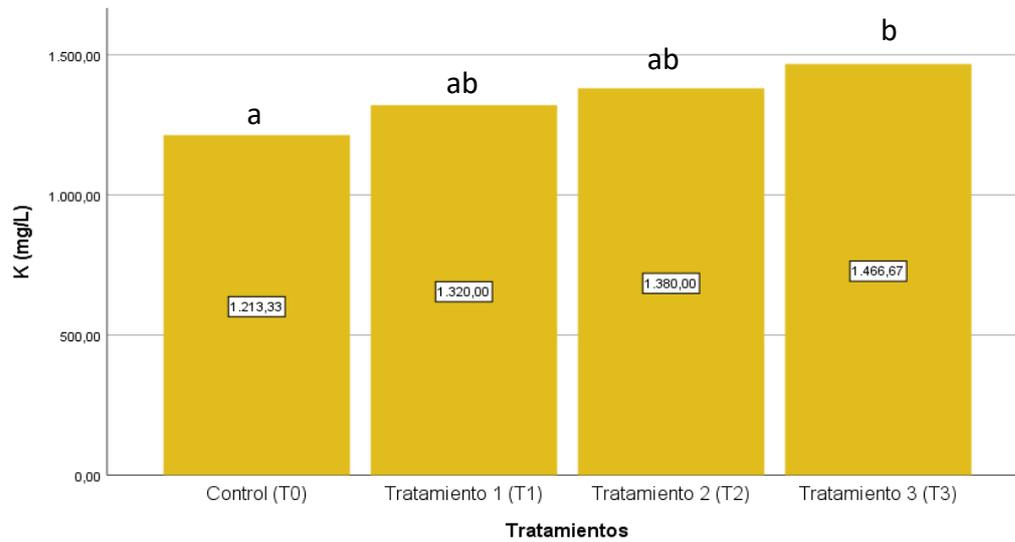
*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

### c. Potasio (K)

Al realizar las comparaciones entre los tratamientos el T3 es el que contiene mayor cantidad de potasio, en cambio el control (T0) contiene menor cantidad. La prueba estadística ANOVA indica que hay diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.0210$ ) y la prueba Tukey muestra en la figura 17 que T0 y T3 son significativamente diferentes, en cambio T1 y T2 no presentan diferencias con T0 y T3.

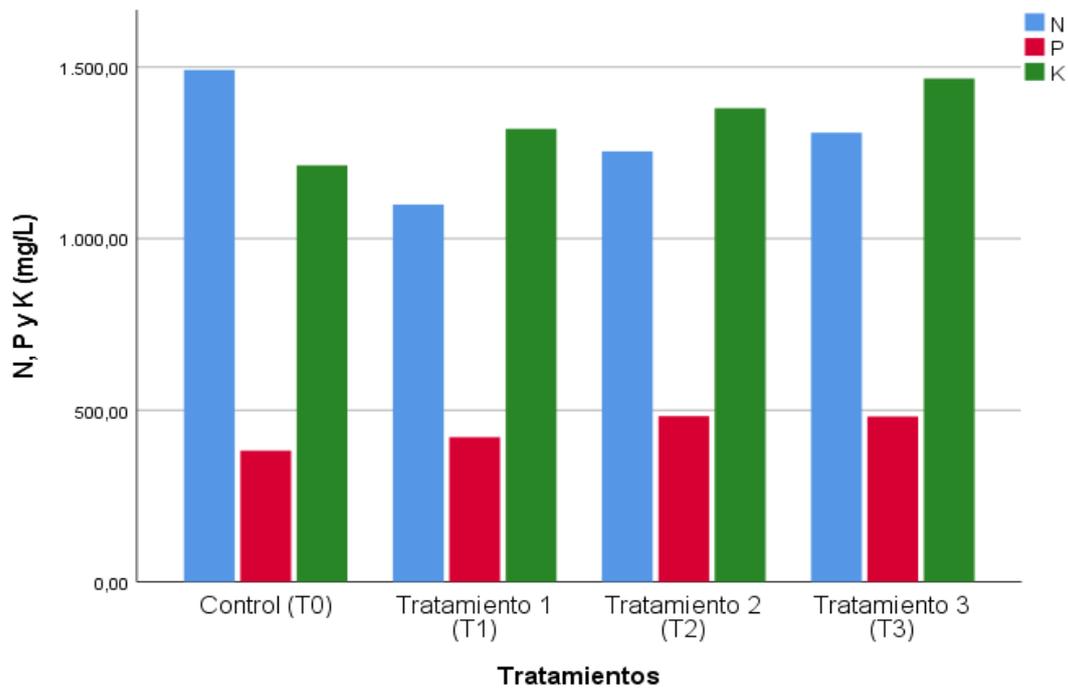
Al realizar una comparación de los promedios de NPK (Figura 18) el T2 y T3 contienen mayor cantidad de nutrientes en fósforo (P) y potasio (K). En cambio, el T0 solo contiene elevada cantidad de nitrógeno, pero P y K en menor cantidad.

**Figura 17.** Contenido de potasio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)



*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

**Figura 18.** Contenido de NPK según tratamientos

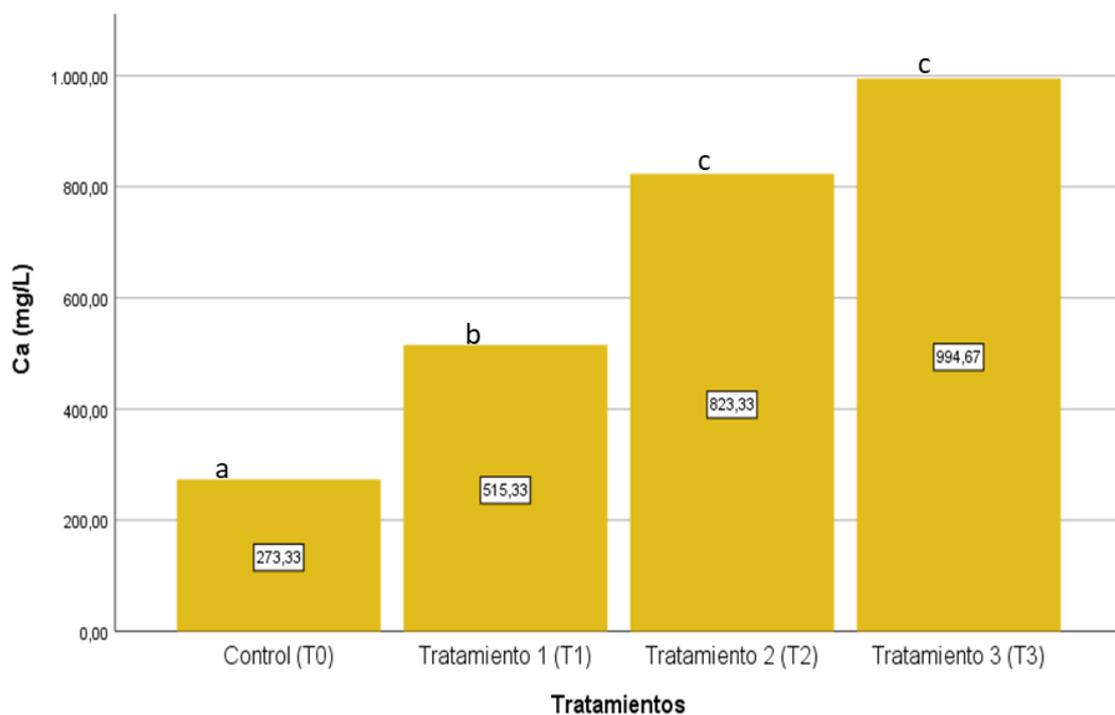


**d. Calcio (Ca)**

Al comparar el contenido de calcio entre tratamientos se encontró que el T0 es el que contiene menor cantidad de Ca; por el contrario, el T3 es el que contiene mayor cantidad.

La prueba ANOVA, indica diferencias entre los tratamientos ( $f=61,814$ ;  $p:0.000$ ) del contenido de Ca. Al realizar la prueba estadística Tukey (Figura 19) se demostró que T0 presenta diferencia significativa con T1, T2 y T3 igualmente T1 es significativamente diferente de T0, T2 y T3. Por otro lado, T2 y T3 no muestran diferencias entre ellos.

**Figura 19.** Contenido de calcio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)

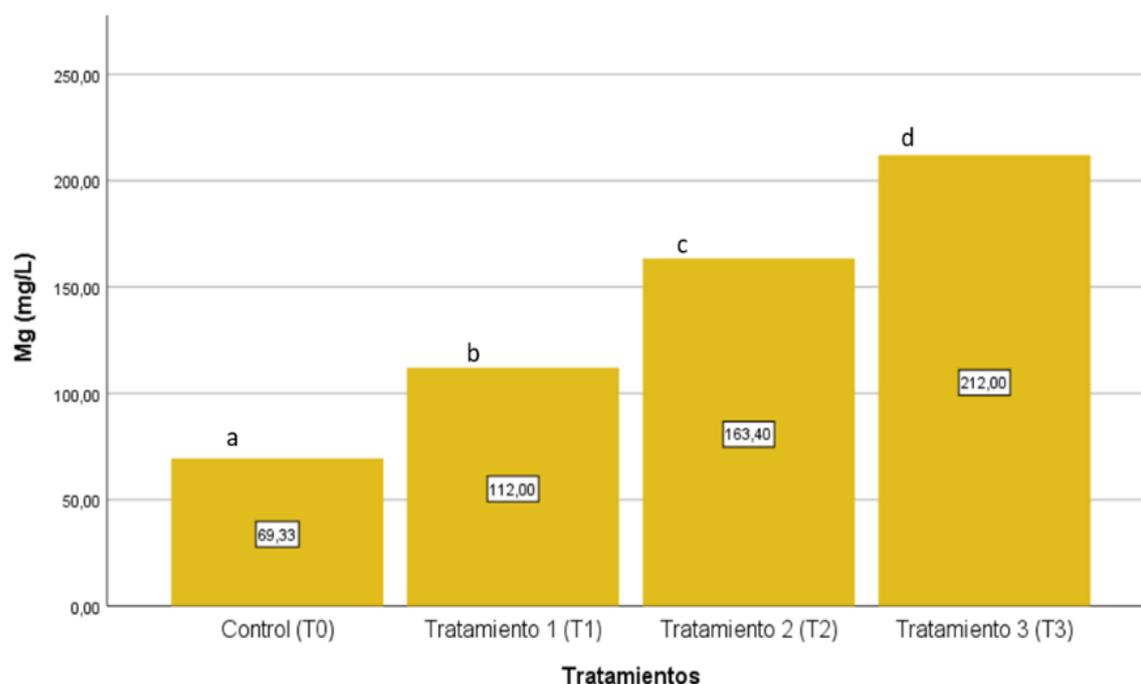


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

**e. Magnesio**

Se observa en la figura 20 que el T3 contiene mayor cantidad de magnesio (212.00 mg/L), reduciéndose progresivamente en el T2(163. 40 mg/L), seguido de T1(112.00 mg/L) y el que menor contenido de Mg tiene es T0 (69.33 mg/L). La prueba estadística ANOVA indica diferencias significativamente entre tratamientos ( $f=184,688$ ;  $p=0.000$ ) y la prueba de Tukey muestra, que todos los tratamientos son significativamente diferentes en el contenido de Mg.

**Figura 20.**Contenido de magnesio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)



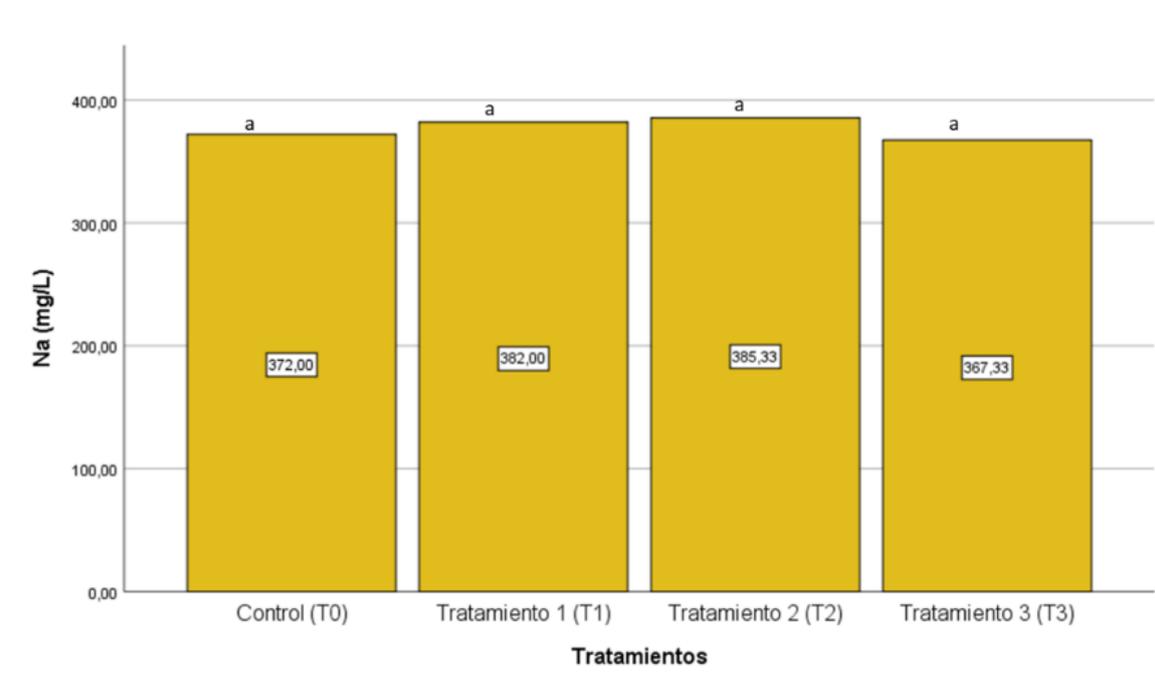
*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

**f. Sodio (Na)**

En la Figura 21 se visualiza la cantidad promedio de sodio y se observa que el T2 (385.33 mg/L) concentra la mayor cantidad de sodio, seguido del T1 y T0, por el contrario, T3 (367.33 mg/L) contiene menor cantidad de Na. Al realizar el análisis de varianza

(ANOVA), se encontró ausencia de diferencias significativas ( $f=0.316$ ;  $p=0.8138$ ) entre los tratamientos en el contenido de Na.

**Figura 21.** Contenido de sodio según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)

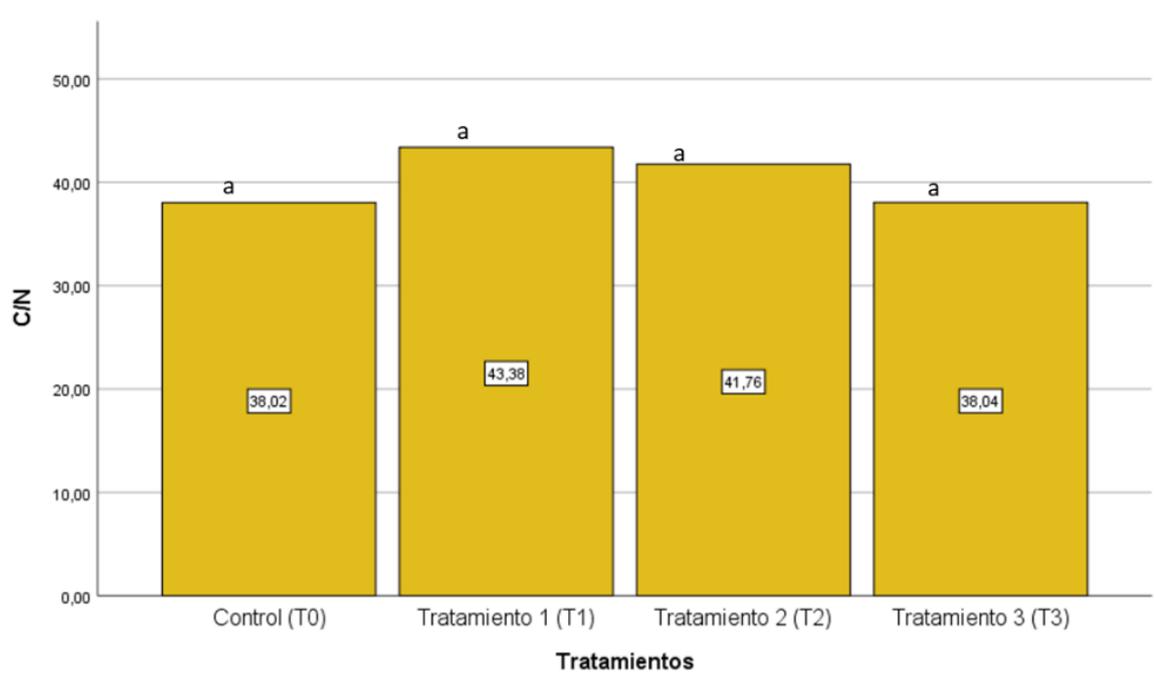


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

**g. Relación C/N**

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y se encontró la ausencia de diferencias significativas ( $f=1,180$ ;  $p=0.377$ ) entre todos los tratamientos, como se observa en la Figura 22.

**Figura 22.** Relación C/N según tratamientos

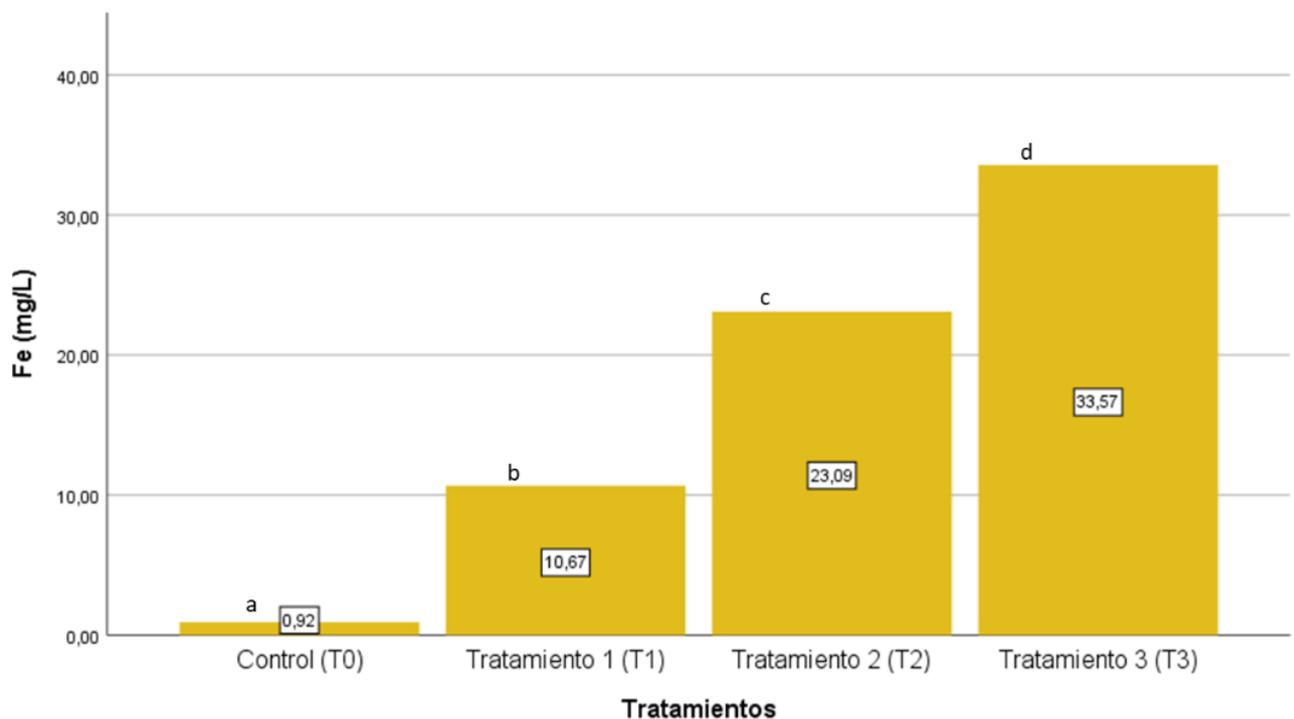


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas.

#### **h. Hierro (Fe)**

En la Figura 23 se visualiza la cantidad promedio de hierro y se observa que el T3 contiene mayor cantidad de hierro, seguido del T2, T1 y T0. Al realizar el análisis de varianza ANOVA, se encontró que existe diferencias significativas entre tratamientos ( $f=746.20$ ;  $p=0.000$ ) para Fe. La prueba T3 de *Dunnet* muestra que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí.

**Figura 23.**Contenido de hierro según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)

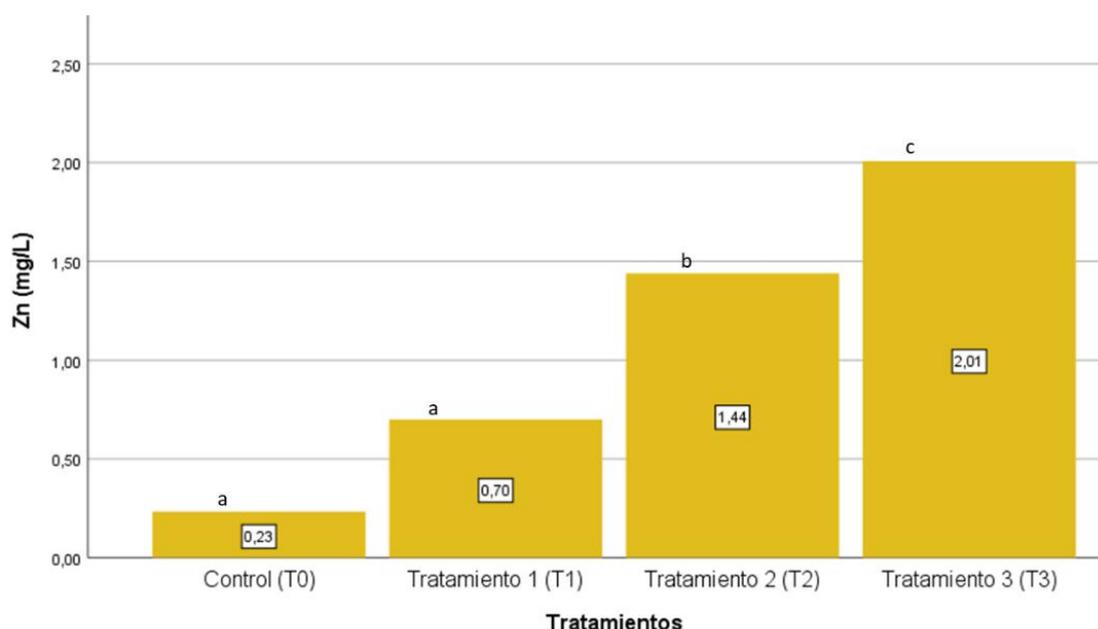


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas

### i. Zinc (Zn)

Se observa en la Figura 24 que el T3 contiene mayor cantidad de Zinc, seguido de T2, T1 y T0. La prueba estadística ANOVA indica diferencias significativamente entre tratamientos para la variable zinc ( $f=261,602$ ;  $p=0.000$ ) y la prueba de prueba T3 de *Dunnet* muestra que T2 y T3 es significativamente diferente con todos los tratamientos, en cambio T0 y T1 no presentan diferencias significativas entre sí.

**Figura 24.** Contenido de Zinc según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)



*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas

#### j. Manganeso (Mn)

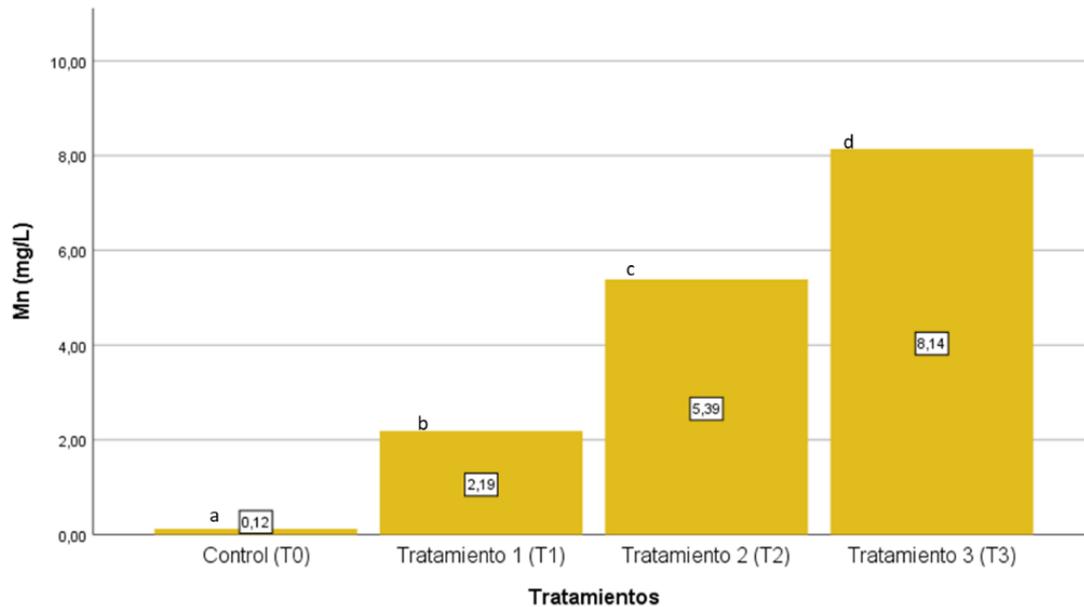
En la Figura 25 se observa que el T3 resultó con mayor contenido de Mn mientras que el T0 es el que contiene menor cantidad. La prueba estadística ANOVA indica que hay diferencias significativas entre los tratamientos ( $f=461,895$ ;  $p=0.000$ ) para el contenido de Mn y la prueba T3 de *Dunnett* muestra que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí.

#### k. Boro (B)

En la Figura 26 se observa que el T3 resultó con mayor contenido de boro mientras que el T0 es el que contiene menor cantidad. La prueba estadística ANOVA indica diferencias significativas entre los tratamientos ( $f=28,632$ ;  $p=0.00$ ) del contenido de B y al realizar la prueba Tukey se demuestra que T0 es significativamente diferente con T3 y T2, pero no con T1. Por otro lado, T1 y T2 no son significativamente diferentes. Además,

T2 y T3 no muestran diferencias entre ellos.

**Figura 25.** Contenido de manganeso según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)

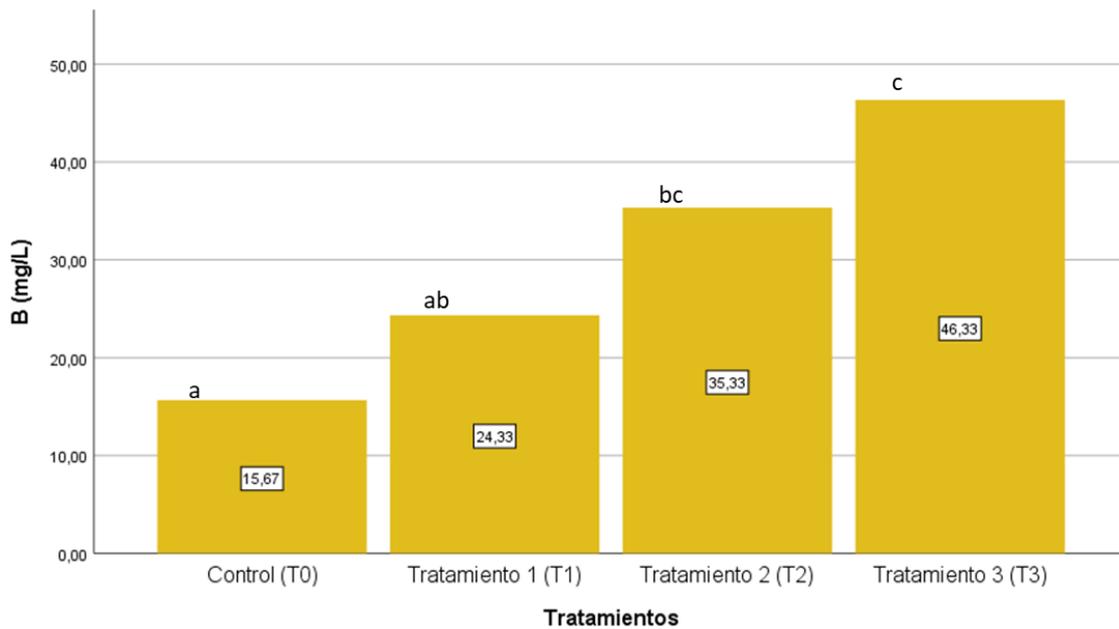


*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas

**a. Cobre (Cu)**

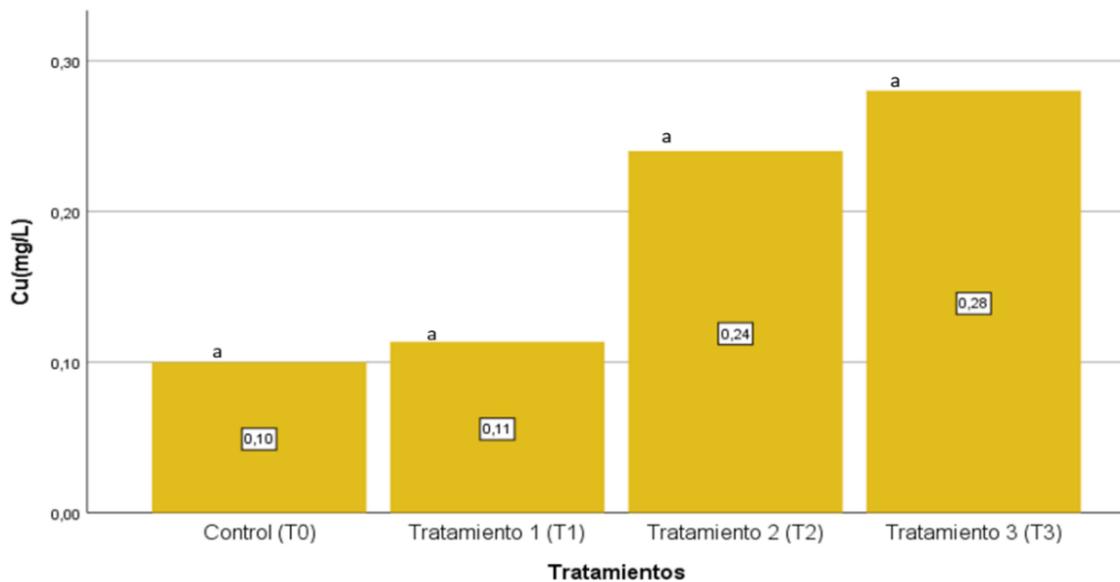
Al realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se encontró que no hay diferencias significativas en la cantidad de Cu entre los tratamientos. En la Figura 27 se muestra que el T0 presento menor cantidad de Cu, mientras que T3 mayor valor de Cu.

**Figura 26.** Contenido de Boro según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)



*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas

**Figura 27.** Contenido de manganeso según tratamientos (T0, T1, T2 y T3)



*Nota:* Letras diferentes señalan que los tratamientos son estadísticamente diferentes, pero letras iguales indican ausencia de diferencias significativas

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Evaluación de parámetros in situ

#### 6.1.1. pH

Al caracterizar el suero dulce y estiércol de vacuno en un inicio se encontró que el pH de suero dulce fue de 6.45 y del estiércol de bovino de 7.14. Estos valores reportados, son cercanos a los valores obtenidos por Zambrano (2016), donde el suero dulce presento un pH de 6.50 y estiércol de vacuno 7.50.

Al cerrar los biodigestores todas las muestras inician con un pH ácido, menores a 6 y estos tienden a disminuir drásticamente en días posteriores, aunque en la semana 14 aumentan ligeramente y vuelven a disminuir en la semana 15. Al respecto Zambrano (2016) reportó que durante los primeros 10 días el abono líquido orgánico se acidificó hasta llegar a un pH de 3.6. Además, Comino et al. (2009) señalan que el pH cae rápidamente al inicio de cada experimento, puesto que la materia orgánica fácilmente digerible se hidroliza y es convertido en ácidos grasos. Luego de la caída del pH inicial, este valor comienza a subir gradualmente a medida que las bacterias metanógenas consumen los ácidos grasos. Por el contrario, en esta experimentación el pH se mantuvo como ácido en todo el proceso de fermentación. Este último concuerda con lo que indica Magaña-Ramírez et al. (2011) al realizar la digestión anaeróbica de la mezcla de estiércol de cabra y residuos lácteos el pH se redujo a 4; esto se debe a que el suero de la leche y otros residuos lácteos tienen menor alcalinidad de bicarbonato por lo que tienden a acidificarse rápidamente, ocasionando caída en el proceso anaeróbico, probablemente este fue lo que ocurrió en la presente investigación. Ante lo ocurrido, Magaña-Ramírez et al. (2011) hicieron una segunda formulación al tener resultados de pH a 3.5 luego de 7 días, añadieron bicarbonato de calcio para alcanzar pH de 7.0. Asimismo, Blandón et

al. (2014) luego de 24 h cerrado los biodigestores y teniendo en cuenta la acidificación del suero de queso, realizaron una medición y hallaron valores de pH de 4, razón por la que agregaron óxido de calcio (cal) de 1.5 g: 100 ml de muestra para elevar el valor de pH. En esta investigación no se reguló el pH con ninguna sustancia, solo se utilizó estiércol como un control de este valor. Al comparar entre los tratamientos, se observó que el que tenía mayor valor de pH fue el que contenía mayor cantidad de estiércol (T3). Este resultado concuerda con los que obtuvo Jordán (2021), donde menciona que en todo el proceso el de mayor cantidad de estiércol, mostró valores altos de pH y el control puro suero salado tuvo un pH de 3.5. Del mismo modo, Pachas (2020) encontró valores de pH de 3 para el control, residuos vitivinícolas, mientras que para T2, T3 y T4 aumentó su pH, debido a la adición de estiércol. Sin embargo, el pH en todos los tratamientos se mantuvo por debajo de 5, los resultados son parecidos a lo que se encontró en esta experimentación. Por otro lado, Curilla y Diego (2022) encontraron en la digestión anaerobia de lactosuero valores de pH de 7.00 promedio de los cuatro tratamientos, siendo estos valores superiores a lo que se encontró en esta investigación, lo que probablemente se debe a que ellos utilizaron una mezcla de estiércol de vacuno y agua de 1:1 en los cuatro tratamientos y la proporción de lactosuero fue menor a 3.22%.

La monodigestión del suero puede traer como resultado liberación de amoníaco, ácidos grasos de cadena largo, entre otros en la hidrólisis, lo que puede inhibir la digestión anaerobia (Bella y Venkateswara Rao, 2022). Eso puede ser la razón por la que el tratamiento que contuvo solamente suero, presente pH menor que los demás tratamientos. Ante esto, se opta por la Co-digestión anaerobia, esto trae resultados favorables primordialmente al combinar con residuos ganaderos (Fernández, Martínez, Morán y Gómez, 2016). En la presente experimentación los tratamientos (T1, T2 y T3)

fueron realizados mediante la Co-digestión anaeróbica de estiércol de vacuno y lactosuero, pero se acidificaron, esto puede deberse a que las dosis de estiércol no fueron suficientes para controlar el valor del pH o no tienen la capacidad amortiguadora. El valor de pH determina la composición y generación del biogás y para desarrollar adecuadamente la digestión anaeróbica el pH no debe subir de 8 ni bajar de 6 (MINENERGIA, PNUD, FAO y GEF, 2011). Asimismo, Candal (2019), indica que los valores de pH deben encontrarse entre 6.5-7.5 para que las bacterias metanogénicas se desarrollen, por lo que deberá ser controlada al ingreso del reactor.

En la actividad metanogénica de digestión anaerobia, los valores pH no deseados impactan negativamente (Bella y Venkateswara Rao, 2022). Los bajos valores del pH incrementa el ácido acético e hidrogeno ( $H_2$ ), debido a la reducción de la actividad de las bacterias metanogénicas. Si aumenta la presión al hidrogeno se inhiben los organismos encargados de degradar el ácido propiónico provocando así el aumento de ácidos grasos volátiles (AGV) y disminución del ácido acético (MINENERGIA, PNUD, FAO y GEF, 2011). Para asegurar la efectividad del sistema de digestión, se sugiere que la alcalinidad esté entre 1000 y 3000 mg/l  $CaCO_3$  (Bella y Venkateswara Rao, 2022) y las condiciones de pH estable se logran añadiendo porciones adecuadas de sedimento a la mezcla de suero y la Co-digestión ayuda a que se tenga más rendimiento bioquímico de  $CH_4$  que el promedio ponderado de sustratos individuales (Bella y Venkateswara Rao, 2022).

Según Díaz Plasencia (2017), el pH ácido del abono líquido orgánico es deseable en su estado puro, puesto que permite la sobrevivencia de bacterias encargadas de la fermentación y así la conservación es más prologada del abono líquido orgánico. El pH subirá al mezclarse con agua en proporciones bastante distantes en favor del agua.

### 6.1.2. Temperatura

Durante la experimentación la temperatura se encontró en el rango mesofílico (más de 20°C), esto se debe a que se mantuvo en un invernadero. Los tratamientos tienen temperaturas similares solo el T2 fue estadísticamente diferente con T0, T1 y las temperaturas más altas se registran en la semana 4. Este resultado fue similar a lo que reportó Garavito y Gomero (2020), quienes señalan que la temperatura fue de régimen mesofílico en todos los tratamientos y el rango de temperatura semanal fue de  $26 \pm 4$  °C, en los tratamientos no hubo diferencias significativas. Del mismo modo, Zambrano (2016) trabajó con temperaturas de 26 °C ( $\pm 1$ ), con el objetivo de mantener estable el pH. Además, señala que en la biodigestión si se reduce la temperatura de igual modo se reduciría la generación de biogás, puesto que a menor temperatura es menor el crecimiento de los organismos metanogénicos.

### 6.2. Cantidad de generación de biogás

La generación de biogás se observó desde la primera semana y en la semana 3 todos los tratamientos tienen una máxima producción y en las posteriores semanas comienza a disminuir drásticamente. El aumento rápido del Potencial Bioquímico de Metano en los 10 primeros días indican la rápida hidrólisis del suero (Bella y Venkateswara Ro, 2022).

En esta investigación se utilizó proporciones de lactosuero y estiércol de 100:0; 90:10; 80:20, 70:30, la cantidad de estiércol fue inferior al lactosuero y se obtuvo como resultados acumulación de biogás entre los tratamientos del siguiente orden  $T0 < T1 < T2 < T3$ , el control tuvo menor producción, mientras que T3 fue mayor (menor cantidad de suero y más estiércol). Al respecto, Mostafa Imeni et al. (2019) indican que la relación de mezcla de 30:70 del suero y estiércol, el pH disminuyó a 7 que es un pH óptimo, por

lo que no es recomendable utilizar proporciones más altas de suero, puesto que podría producir una caída de pH. Por otro lado, Bella y Venkateswara Ro (2022), señala que la relación de mezcla óptima de Co-digestión entre suero y séptico (sin inóculo ni pretratamiento) es de 40:60; se observan efectos antagónicos cuando la fracción de suero es más del 50%. Por lo que se debe mantener el suero de leche menor a la mitad de la mezcla de sustrato total para mejorar el rendimiento de metano y la biodegradabilidad. Asimismo, el uso de inóculo apropiada mejora la relación 40:60 y ayuda a utilizar más desechos de manera efectiva para generar biogás. Esto explica lo que ocurrió con la presente investigación que las elevadas cantidades de lactosuero provocaron la acidificación del medio anaeróbico y una menor producción de biogás.

Sin embargo, Curilla y Diego (2022) indican que se incrementa la generación de biogás al aumentar las cantidades de lactosuero, debido al aumento de las dosis aplicadas y acción de los compuestos proteicos incrementa la producción de biogás. Ellos utilizaron dosis de suero de queso de 0, 100, 150 y 200 mL, combinado con agua 3 litros y estiércol 3 kg, la relación de mezcla fue de 1:1 y obtuvieron como resultado que el suero de 200 mL produjo mayor cantidad de biogás, un promedio de 30.67 mL. Pese que la generación de biogás fue más en aquel tratamiento con mayor dosis de suero, la proporción de lactosuero fue inferior al estiércol y más el agua utilizada mantuvieron estables las condiciones anaeróbicas. Por lo que podemos afirmar que la cantidad de estiércol tiene que ser superior a las dosis de lactosuero, sino se acidifica el medio, además para obtener una mezcla no espesa se puede agregar agua y evitar así fallas en el sistema o utilizar inóculos.

Se encontró mayor generación de biogás en el T3 y menor en el T0, aquellos que contienen mayor cantidad de estiércol genero más cantidad de biogás, por el contrario, con el control que tenía solo lactosuero tuvo una producción de biogás menor que los demás tratamientos. Según Bella y Venkateswara Ro (2022), el rendimiento de biogás más bajo se encuentra en aquel que tiene lactosuero al 100%, las posibles razones es la acumulación de ácidos grasos volátiles enseguida la inhibición en el crecimiento de metanógenos, lo que da como resultado menor generación de metano. El bajo rendimiento de metano de la digestión del suero, puede deberse al desequilibrio del pH y a la relación C/N (Bella y Venkateswara Ro, 2022). Por otro lado, Mostafa Imeni *et al.* (2019) indica que la Co-digestión de estiércol de animal y Co-sustratos como el suero de queso incrementa la generación de biogás, motivo por la que los demás tratamientos que contenían estiércol con lactosuero tuvieron mayor producción de biogás y al aumentar la cantidad de estiércol también incrementaba la generación del biogás. Estos resultados son similares a lo que obtuvieron Garavito y Gomero (2020), ya que el tratamiento con mayor estiércol tuvo resultado elevado y óptimo de biogás y composición de biol y el orden fue de la siguiente forma: T3 > T2 > T1 > Control, lo que podría deberse a que el estiércol aporta con nutrientes y su pH más elevado podría disminuir la acides del lactosuero. Además, Castro-Molano *et al.* (2019) indican que el estiércol de bovino requiere un co-sustrato para aumentar su rendimiento de biogás, ya que alcanza el estado estacionario luego de 10 días. Además, este sustrado de bovino tiene bajo rendimiento de metano que el estiércol de porcino y equino. Por esta razón, se puede inferir al hacer mezclas de lactosuero con estiércol de equino o porcino podría generarse mayor cantidad de biogás.

### 6.3. Relación C/N

Al finalizar el proceso anaeróbico, la relación C/N aumentó en todos los tratamientos y se encontraron valores desde 38.02 hasta 43.38, que son T0 y T1, respectivamente. Según Bella y Venkateswara Ro (2022), la relación C/N del lactosuero es alta que las aguas residuales, esto representa el bajo contenido de nitrógeno del lactosuero. Por ello es importante hacer una Co-digestión del lactosuero con sustratos ricas en nitrógeno, ya que puede ayudar a generar relaciones óptimas de C/N. Por otro lado, Quiñones *et al.* (2016) menciona que cuando la relación C/N es óptima (entre 20:1 y 30:1), se puede lograr suficiente crecimiento microbiano y digestión de la materia orgánica. Si la proporción es más amplia, como 40:1, el crecimiento microbiano se inhibe debido a la falta de nitrógeno (Soria *et al.*, 2000; citado por Carhuancho, 2012). En esta investigación la relación de C/N fue más alta que la relación óptima, podríamos señalar que los microorganismos se hayan inhibido por falta de nitrógeno.

### 6.4. Calidad de abonos líquidos orgánicos

#### 6.4.1. Enumeración de coliformes fecales

Los coliformes fecales se han reducido al finalizar el proceso anaeróbico a <3 (NMP/mL) en todos los tratamientos luego de 15 semanas. Estos resultados coinciden con lo que reportó Jordán (2021), quien utilizó suero salado con estiércol de cuy y luego de 64 días TRH la enumeración de coliformes fecales se redujo. *E. coli* es la especie más predominante de los coliformes fecales y es utilizado como indicador de contaminación fecal (Bres, 2019). El tiempo de fermentación ayuda a disminuir los niveles de coliformes totales y fecales (Gallegos Llerena y Bustos Urquizo, 2019). Asimismo, las concentraciones de coliformes fecales se encuentran debajo de la Norma de Calidad de

Agua D.S. N° 004-2017-MINAM para riego de vegetales y bebida de animales (Categoría 3). Estos niveles debajo nos permiten inferir que los bioles obtenidos se han idóneas para aplicar como un biofertilizante, pero también se debe evaluar otros parámetros.

#### 6.4.2. Nutrientes

La cantidad de materia orgánica presente y el pH hacen que la composición de los sustratos sea diferente (Bella y Venkateswara Rao, 2022). El control resultó con mayor cantidad de nitrógeno (1,491.33 mg/L), el cual contiene suero al 100%, seguido del T3 (1,308.53 mg/L), este contiene mayor cantidad de estiércol. Según Carhuancho (2012), el biol a base de gallinaza en jaula y piso presenta concentraciones elevadas de nitrógeno tales como 1,708 mg/L y 1,813 mg/L respectivamente a causa del pH bajo, el contenido de nitrógeno de gallinaza no se ha perdido. Se puede afirmar que el pH interfiere en la cantidad de nitrógeno, ya que, a menor pH, mayor concentración de nitrógeno, lo que ocurrió con el control (lactosuero al 100%), que presentaba valores mínimos de pH y valores más altos de nitrógeno. Considerando lo señalado de Suarez (2009), que la cantidad de nitrógeno debe ser mayor a 700 mg/L podemos afirmar que todos los tratamientos cumplen con ello.

En la cantidad de fósforo, se obtuvo el T2 es el que tiene mayor (482.59 mg/L), seguido de T3 (481.55 mg/L). Sin embargo, T1 y T0 contienen menor cantidad de fósforo. Según Jordán Bouchon (2022), se encontró como resultado que el contenido de fósforo está relacionado con la cantidad de estiércol. Por otro lado, Torres (2013), señala que los biofertilizantes líquidos de estiércol de vacuno presentan 335.6 mg/L de concentración de fósforo de casi cercanos a esta investigación. Al comparar nuestros resultados con lo

propuesto de Suarez (2009), donde fósforo debe ser mayor a 170 mg/L para biofertilizantes líquidos, todos los tratamientos cumplen con lo señalado.

Con respecto al contenido de potasio, este fue incrementando a medida que se aumenta el estiércol de vacuno, por lo que T0 contiene menor concentración de K (1,213.3 mg/L), mientras que T3 mayor cantidad (1,466.67 mg/L). Este resultado es similar a lo que reportó Jordán Bouchon (2022), donde el aumento del contenido de K coincide con la adición de estiércol, es decir los tratamientos con cantidades mayores de estiércol presentaron mayor concentración de K como en el T5 (K=2,155.83 mg/L) y obtuvo una tendencia decreciente a creciente del siguiente orden  $T5 > T4 > T3 > T2 > T1$ . Al comparar con lo propuesto de Suarez (2009), donde el Potasio (K) debe ser mayor a 1,300 mg/L. El T0 no cumple con lo señalado, mientras que los T1, T2 y T3 sí cumplen.

En las concentraciones de Ca y Mg se obtuvo que el T3 presenta cantidades mayores de Ca y Mg y fue del siguiente orden:  $T3 > T2 > T1 > T0$ , esto coincide con la adición de estiércol. Al comparar estos resultados con lo obtenido por Garavito (2018), quien indica que la concentración de nutrientes de Ca, Mg y Na aumentan al incrementar la cantidad de estiércol de vaca. Lo mismo señala Jordán Bouchon (2022), quien indica que los valores de K, Ca y Mg se incrementa al aumentar la cantidad de estiércol de cuy, pero a mayor cantidad de lactosuero salado el Na aumenta. En esta investigación el Na se presentó en bajas proporciones para el que contenía mayor cantidad de estiércol y para el que contenía mayor cantidad de suero. Se puede concluir que la elevada proporción de estiércol disminuye el contenido de Na, lo mismo ocurre si se incrementa la cantidad de lactosuero.

Según los resultados se puede inferir que el estiércol de bovino contiene mayor cantidad de nutrientes de Ca y Mg que el lactosuero. Según Suarez (2009) para biofertilizantes

líquidos el calcio debe ser mayor a 1800 mg/L, al respecto ningún de los tratamientos de esta investigación cumple con lo señalado.

La concentración de Cu en esta investigación se encuentra entre de 1000 a 0.2800 mg/L y la de Zinc en el rango de 0.2333 a 2.0067 mg/L. Al comparar con la Normativa Chilena NCh2880.Of2004 para compost clase A, donde establece que como mínimo las concentraciones de Cu y Zn de 100 y 200 mg/kg respectivamente. Por lo tanto, podemos afirmar que el biol obtenido es de clase A y su uso puede ser sin restricciones.

## 7. CONCLUSIÓN

El suero de queso tiene la capacidad para producir biogás, pero tiende acidificarse rápidamente. La cantidad de producción de biogás por tratamiento fue del siguiente orden  $T0 < T1 < T2 < T3$ ; obteniéndose valores de, 62.35 L, 67.53 L, 69.55L y 75.56 L. La generación de biogás aumento con la adición de estiércol de bovino. El T3 genero mayor cantidad de biogás y alto valor de pH, mientras que T0, monodigestión del suero resulto con menor producción de biogás y bajo pH. Es necesario controlar el pH, puesto que este disminuye la cantidad de  $CH_4$  y mayor acumulación AGVs.

Con respecto a la calidad del abono líquido orgánico (T1, T2 y T3), contienen nutrientes de NPK dentro de los rangos establecidos. Los tratamientos T0, T1, T2 y T3 cumplieron con la cantidad de nitrógeno ( $> 700$  mg/L) y fósforo ( $> 170$  mg/L), pero con respecto al potasio ( $K > 1300$  mg/L), T1, T2 y T3 cumplen y solo T0 no cumple, puesto que la cantidad de K es inferior. La cantidad de Ca ( $>1800$  mg/L) ningún tratamiento cumplió con el rango mínimo. Según las concentraciones de Cu y Zn y la clasificación para abono orgánico de acuerdo a la Norma Chilena (NCh2880.Of2004), el biol pertenece al abono tipo A sin restricción en su uso. Todos los tratamientos presentan coliformes fecales  $<3$  al finalizar

el proceso, cumpliendo con lo señalado en el D.S.N° 004-2017-MINAM; indicando idoneidad para aplicar como un biofertilizante. El pH de todos los tratamientos fue inferior al rango establecido tratamientos (pH =5.4-7.0). El pH ácido del biol puro permite la conservación más prologada del biol, en tanto que el pH aumenta al mezclarse con agua antes de su aplicación en cultivos.

La mayor generación de biogás se obtuvo al realizar Co-digestión de 70% de lactosuero con 30% de estiércol, que corresponde al T3, quien contiene mayor cantidad de estiércol que todos los tratamientos. Los abonos líquidos orgánicos (T1, T2 y T3) obtenidos cumplieron con los rangos mínimos establecidos por Suarez para nutrientes de NPK. La mejor relación entre estiércol y lactosuero es aquel que contiene mayor cantidad de estiércol, que vendría a ser el T3 y menor cantidad de suero de queso. Finalmente, se concluye que la generación de biogás y abonos líquidos orgánicos a partir de los residuos agropecuarios puede ser una opción para minimizar la contaminación ambiental de las industrias de queseras y al convertir las mezclas del lactosuero con estiércol de bovino en biofertilizante y biocombustible es un modelo de economía circular.

## 8. RECOMENDACIONES

- Medir la cantidad y calidad de biogás generado al combinar el lactosuero y estiércol de bovino.
- Considerar utilizar más cantidad de estiércol con agua o agregando oxido de calcio para tener un pH optimo, ya que la acides ocasionado por el lactosuero puede inhibir el sistema.
- En climas fríos utilizar invernaderos para mantener temperaturas estables en el proceso de digestión anaeróbica.
- Realizar ensayos de germinación antes de aplicar el biol y así encontrar la dosis adecuada para utilizar como biofertilizante.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaigar, A., (2009). El lactosuero en la alimentación del ganado porcino. ITG Ganadero: 13-17.
- Abou-Dahab, T. A. M., Ewis, S. T. A., & El-Kady, A. F. Y. (2019). Towards sustainable landscape: Feasibility of using different cheese whey types in the fertigation of *Schinus molle* L. seedlings. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1051–1060.
- Alava, C., Gomez, M., & Maya, J. A. (2014). Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales Volumen, 1*, 22–32.
- Altuntas, S., y Hapoglu, H. (2019). Kefir-Type Drinks de Whey. In *Non-Alcoholic Beverages*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815270-6.00007-4>.
- Arce, J. R., Thompson, E., y Calderon, S. (2016). Incorporación de la proteína del suero lácteo en un queso fresco. *27(1)*, 61–71.
- Arellano, L., Cruz Rosales M. y Huerta C. (2014). El Estiércol, material de desecho, de provecho y algo más. Instituto de Ecología, A.C. México, 40 pp.
- Bella, K., & Venkateswara Rao, P. (2022). Anaerobic co-digestion of cheese whey and septage: Effect of substrate and inoculum on biogas production. *Journal of Environmental Management*, 308, 114581.
- Bres, P. (2019). Optimización de la digestión anaeróbica del guano de aves ponedoras. [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de San Martín.
- Callejas Hernández, J., Prieto García, F., Reyes Cruz, V. E., Marmolejo Santillán, Y., y Méndez Marzo, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11-18. ISSN: 0188-6266.
- CAR/PL (2002). Prevención de la contaminación en la industria láctea. Recuperado de <http://www.cprac.org/es/search/node/Prevenci%C3%B3n%20de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20la%20Industria%20L%C3%A1ctea>
- Carhuancho León, F.M. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola [Tesis de licenciatura]. Universidad Agraria La Molina.
- Carmona, J.C., Bolívar, D.M., y Giraldo, L.A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1)
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of The Total Environment*, 445–446, 385–396.
- Castañeda Arrascue, L. M. (2019). Potencial de Producción de biogas mediante co-digestión anaerobia de lactosuero residual y excretas bovinas en Perú [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

- Castro-Molano, L. del P., Parrales-Ramírez, Y. A., & Escalante-Hernández, H. (2019). Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. *Revista ION*, 32(2), 29–39.
- CEDEPAS (2016). *Manual de Producción de derivados lácteos*. La Libertad, Perú: CM publicidad y negocios S.A.C.
- Cerdà, E., & Khalilova, A. (2016). Economía Circular, Estrategia Y Competitividad Empresarial. *Economía Industrial*, 401, 11–20.
- Comino, E., Rosso, M., & Riggio, V. (2009). Development of a pilot scale anaerobic digester for biogas production from cow manure and whey mix. *Bioresource Technology*, 100(21), 5072–5078.
- Cordero Jauregui, R. I. (2013). *Caracterización química del estiércol y su manejo en explotaciones de lechería familiar de los altos de Jalisco [Tesis de licenciatura]*. Universidad de Guadalajara, Mexico.
- Commission on Microbiological Specifications for Foods*. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000
- Curilla Egoavi, E. M., y Diego Flores, M.P. (2022). 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 [Tesis de licenciatura]. Universidad Continental.
- Das, M., Raychaudhuri, A., & Ghosh, S. K. (2016). Supply Chain of Bioethanol Production from Whey: A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 833–846.
- Decreto Supremo N° 007-2017-MINAGRI— Reglamento de la Leche y Productos Lácteos.
- DECRETO SUPREMO-N° 004-2017-MINAM (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias
- Delgado-González, C. R., Rodríguez-Laguna, R., Capulín-Grande, J., Madariaga-Navarrete, A., & Islas-Pelcastre, M. (2019). Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo, México. In *Academia Journals* (Vol. 11, Issue 6). <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n1-026>
- Dereli, R. K., van der Zee, F. P., Ozturk, I., & van Lier, J. B. (2019). Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. *Environmental Research*, 168, 109–117
- Dirección Agraria Puno-DRA (2009). Boletín N°2 Producción, manejo y aplicación de abonos orgánicos.
- Espinosa, E. (2021). Actividad ganadera y contaminación ambiental. *Canales de la Real Academia de Doctores de España*, 6 ( 2), 245-260.
- FAO. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. In *Colección De Documentos Técnicos*.
- FAO. (2019). Portal lácteo. <http://www.fao.org/dairy-production-products/es/>

- Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios, X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica. *Revista Investigación, Optimización y Nuevos Procesos En Ingeniería*, 29(1), 47–62.
- Figuroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J. A., Delgado J. A., Núñez-Hernández G., Reta-Sánchez, D. G., Quiroga-Garza H. M., Faz-Contreras, R. y Márquez-Rojas, J.L. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero, *Terra Latinoamericana*, 28 (4), 361-369.
- Flores, A. (2020). Estimation of liquid effluents produced in cheese processing in the Puno region 2018. *Revista Científica I+D Aswan Science*, 1(1), 1–6.
- Flüeler, O., y Marbach, C. (2021). Guía para la elaboración de quesos. Recuperado de [https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/guia\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_quesos.pdf](https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/guia_para_la_elaboracion_de_quesos.pdf)
- Gallegos Llerena, R. A., & Bustos Urquiza, R. V. (2019). “Evaluación del efecto de diferentes proporciones de componentes en la producción de biol sobre biogás utilizando residuos vegetales recolectados de parques de arequipa” [Tesis de licenciatura]. Universidad Católica de Santa María.
- Garavito, O. y Gomero, L. (2020). «Relación entre la producción de biogás y biol a partir de restos de trucha y estiércol vacuno». *South Sustainability*, 1(1).
- González-Amado, M., Tavares, A. P. M., Freire, M. G., Soto, A., & Rodríguez, O. (2021). Recovery of lactose and proteins from cheese whey with poly(ethylene)glycol/sulfate aqueous two-phase systems. *Separation and Purification Technology*, 255, 117686.
- Incahuanaco Coaquira, Y. (2013). *Optimización de néctar de lactosuero enriquecido con zumo de naranja y controlado con radiación ultravioleta* [Tesis de pregrado] Universidad Nacional del Altiplano.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (2012). IV Censo Nacional Agropecuario (IV CENAGRO). Ministerio de Agricultura.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática -INEI. (2013). Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario (p. 62).
- Jiménez, L, Larreal, M, y Noguera, N. (2004). Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(4), 311-321.
- Jordán Bouchon, Y.T. (2022). Generación de biogás y biol con mezcla del suero salado de queserías y estiércol de cuy en Canta - Perú” [Tesis de licenciatura]. Universidad Científica del Sur.
- Kowszyk, Y., & Rajiv, M. (2018). Estudios de caso sobre modelos de Economía Circular e integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en estrategias empresariales en la UE y ALC. Recuperado de <http://www.innovacional.com/>

- Lagrange, B. (1979). Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2 . Edisual / Energies Alternatives. 249pp.
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C. M., & Sánchez, A. R. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Determination of trophic indicators in Rio Tercero reservoir , Cordoba ( Argentina ). Revista Ciência Agronômica, 44(3), 419–425.
- Martí-Herrero J. (2019). Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: Aportes a Ecuador. Climate Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC. Ecuador. ISBN: XXXX
- Martínez , J. (2021). “Etapas y procesos generales en la elaboración de quesos del Sur de Chile”. En Lobos, I., y Pavez P. (Eds.),Manual de quesos para pequeñas queserías de la Región de Los Ríos (pp.26-35).
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigaciones INIA Remehue. Boletín INIA N° 437-Instituto de Investigaciones Agropecuarias
- Mazorra, M. A., Ramirez, H., Lugo, M. E., Gonzales, A. F., & Vallejo, B. (2019). Caracterización del lactosuero y requesón proveniente del proceso de elaboración de queso cocido (asadero) región Sonora. Ciencias Naturales e Ingenierías.
- MINAGRI (2017). *Estudio de la ganadería lechera en el Perú-Análisis de su estructura, dinámica y propuestas*(1ª ed.) Gráfica Andina Perú S.A.C.
- MIDAGRI, DGPA y DEE (2021). Boletín de publicación trimestral N°. 01-2021-leche y derivados.
- MINAGRI (2021, 29 de marzo). En el país existen 6,500 plantas queseras siendo Puno el líder de la producción total".
- MINAGRI, DGESEP y DEIA. (2021b). Anuario Estadístico “Producción agroindustrial alimentaria 2020”. MINAGRI.
- MINAGRI, DGESEP, DEA. (2018). Anuario Estadístico “Producción agroindustrial alimentaria 2017”. MINAGRI.
- MINAGRI, DGESEP, DEA. (2019). Anuario Estadístico “Producción agroindustrial alimentaria 2018”. MINAGRI.
- MINAGRI, DGESEP, DEA. (2021a). Anuario Estadístico “Producción agroindustrial alimentaria 2019”. MINAGRI.
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI (2017). Estudio de la ganadería lechera en el Perú-Análisis de su estructura, dinámica y propuestas(1ª ed.) Gráfica Andina Perú S.A.C.
- Mollea, C., Marmo, L., & Bosco, F. (2013). Valorisation of Cheese Whey, a By-Product from the Dairy Industry. In (Ed.), Food Industry. IntechOpen.
- Montesdeoca, R. R., & Piloso, K. (2020). Evaluación fisicoquímica del lactosuero

obtenido del queso fresco pasteurizado producido en el taller de procesos lácteos en la espam “MFL” physicochemical. *El Higo Revista Científica y Tecnológica*, 10, 2–10.

Mostafa Imeni, S., Pelaz, L., Corchado-Lopo, C., Maria Busquets, A., Ponsá, S., & Colón, J. (2019). Techno-economic assessment of anaerobic co-digestion of livestock manure and cheese whey (Cow, Goat & Sheep) at small to medium dairy farms. *Bioresource Technology*, 291, 121872.

Narvaez, Y., y Saltos, A. (2007). Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogas y bioabono a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Guayaquil.

NORMA CHILENA OFICIAL. NCh2880.Of2004.

Norma General del Codex para Productos de Proteína de Trigo Incluido el Gluten de Trigo (CODEX STAN 163 – 1987).

Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2594:2011-Suero de leche líquido.

Núñez, L. (2017). “Diseño e implementación de prototipos de digestión anaerobia para residuos agrícolas,” Universidad de Piura.

OCDE/FAO (2017), “Lácteos y sus productos”, en OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026, OECD Publishing, París

OECD/FAO (2021), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>.

Osorio-González, C.S., Sandoval-Salas, F., Hernández-Rosas, F., Hidalgo-Contreras, J.V.,Gómez-Merino, F.C., Ávalos de la Cruz, D.A.(2018). Potencial de aprovechamiento del suero de queso en México. *Agroproductividad*, 11(7), 101-106

Padín González, C., y Díaz Fernández, M. (2009). Fermentación alcohólica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, 29(2), 110–116.

Palacios, I., Oclocho, C. y Ordoñez, I., (2021). De residuo a alimento: una mirada hacia la gestión del lactosuero. <https://camp.ucss.edu.pe/blog/residuo-alimento-una-mirada-hacia-la-gestion-del-lactosuero/>

Paucar, L., y Quispe, M. (2015). Producción y evaluación de la calidad del biogás y biol en un biodigestor granja V.A. VELEBIT S.A.C. Ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Parra, R. A. (2009). Whey: importance in the food industry. *Revista Facultad Nacional Agropecuaria Medellín*, 62(1), 4967–4982.

Perez, J. - Rodriguez, R. (2018). Remoción de DQO y DBO del lactosuero ácido mediante el una celda de electrocoagulación [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo – Perú

- Pinos-Rodríguez, J.M., García-López, J.C., Peña-Avelino, L.Y., Rendón-Huerta, J.A., González-González, C., Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* 46(4), 359-370.
- PNUD, FAO, GEF, y M. (2011). Manual de Biogás. In Global Environment Facility. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(4), 397–403.
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management : A review. *Journal of Environmental Management*, 110, 48–68.
- Quiñones, H., Trejo, W., & Juscamaita, J. (2016). Evaluación De La Calidad De Un Abono Líquido Producido Vía Fermentación Homoláctica de Heces De Alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2).
- Reddy, M. V., Nandan Reddy, V. U., & Chang, Y. C. (2022). Integration of anaerobic digestion and chain elongation technologies for biogas and carboxylic acids production from cheese whey. *Journal of Cleaner Production*, 364(January), 132670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132670>
- Rico, C., Muñoz, N., & Rico, J. L. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 189, 327–333.
- Risner, D., Shayevitz, A., Haapala, K., Meunier-Goddik, L., & Hughes, P. (2018). Fermentation and distillation of cheese whey: Carbon dioxide-equivalent emissions and water use in the production of whey spirits and white whiskey. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2963–2973.
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M. y Guillén Watson, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha*, 23 (1), 39-46
- Suarez Segura, D. M. (2009). Caracterización de un compuesto orgánico producido en forma artesanal por pequeños agricultores en el departamento del Magdalena [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Colombia.
- Tarek A.M. Abou-Dahab, Sahar T.A. Ewis, Amira F.Y.EL-Kady. (2019). Towards sustainable landscape: Feasibility of using different cheese whey types in the fertigation of *Schinus molle* L. seedlings. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1051–1060.
- Valencia, E. y Ramírez, M.L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua Elementos: Ciencia y cultura, 16, (73), 27-31
- Villena, L.J. (1995), contaminación de la industria láctea. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10396/3823>

Von Sperling M (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Biological Wastewater Treatment. IWA, Publishing London.

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756–774.

Zambrano, M. (2016). Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica.[Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina

Zhou, X., Hua, X., Huang, L., & Xu, Y. (2019). Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess. *Bioresource Technology*, 272, 70–76.

## 10. ABREVIATURAS

ABREVIATURAS					
General	Significado	Unidades de medida	Significado	Formulas químicas	Significado
ANOVA	Análisis de varianza	°C	Grados Celsius/centígrados	C	Carbono
AGV	Ácidos Grasos Volátiles	cm	centímetro	Ca	Calcio
C.E	Conductividad Eléctrica	dS	deciSiemens	CH <sub>4</sub>	Metano
C/N	Carbono/Nitrógeno	g	gramo	CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
D.S	Decreto Supremo	L	Litro	Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	m	metro	Fe	Hierro
DQO	Demanda química de oxígeno	mg	miligramo	H <sub>2</sub> S	Sulfuro de hidrógeno
ECA	Estándar de Calidad Ambiental	mL	Mililitro	K	Potasio
GEI	Gases de Efecto Invernadero	mm	Milímetros	Mg	Magnesio
M.O.	Materia Orgánica	dS	deciSiemens	Mn	Manganeso
pH	Potencial hidrogeno	NMP	Número más probable	N	Nitrógeno
PVC	Policloruro de vinilo	t o tn	Tonelada	Na	Sodio
TRH	Tiempo de retención hidráulica			NH <sub>3</sub>	Amoníaco
				N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nitrógeno amoniacal
				P	Potasio
				Zn	Zinc
				B	Boro

## 11. APÉNDICES

### Apéndices A. Procedimiento para la construcción de los biodigestores

Se utilizaron 12 bidones de plástico con capacidad de 240 litros para construir biodigestores del tipo *Batch* a este se le acoplo accesorios y se utilizaron materiales que se detalla en la **Apéndice A1**. Primero, se lavaron los bidones y luego se realizó tres orificios en los biodigestores; para esto se utilizó un taladro. Dos de los agujeros se hicieron en la parte superior de la tapa del biodigestor que corresponde a la salida del biogás y el homogenizador; para la salida del biol o abono líquido se perforo en la parte inferior lateral a 26 centímetros de la base.

La perforación para la salida del biogás se realizó en el extremo de la tapa, para ello, se utilizó materiales de media pulgada ( $\frac{1}{2}$ " ) de espesor, que está compuesto por un niple de PVC, que se fijó a la tapa de cada uno de los biodigestores con la ayuda de silicona y teflón, para asegurar que no haya emanación de biogás y no se dañe la tapa se ha colocado una empaquetadura de metal y por debajo de la tapa se ajustó con un contratuerca y empaquetadura de goma; luego al niple se le acoplo una válvula esférica de  $\frac{1}{2}$ " para el control del flujo, a esto se le adhirió un adaptador de lengüeta de manguera ( $\frac{1}{2}$ "x  $\frac{1}{4}$ " ), donde se unió la manguera de alta presión de  $\frac{1}{4}$ " hasta otra válvula esférica que por sus dos aperturas estuvo unida a dos adaptadores de lengüeta de manguera y este fue unida con las cámaras de almacenamiento (cámara de llanta de moto) posteriormente se aseguró con abrazaderas de un  $\frac{1}{4}$ ".

Para la descarga del biol o abono líquido orgánico se utilizaron accesorios de una pulgada (1"), se realizó un agujero de 1" en un costado del cilindro, a una altura de 0.26 metros de la base inferior, se colocó un niple (1"x 5cm), el cual se ajustó con una

contratuerca y empaquetadura de goma por el interior del bidón y por y por el exterior fue unida a un empaque de goma para evitar fugas y luego a una válvula esférica, esta última se unió a otro niple. Por último, se instaló el homogenizador en la parte céntrica de la tapa considerando el espacio de los biodigestores. En el agujero de la tapa se colocó un adaptador de tanque de 1", luego por el exterior de la tapa del bidón se acoplo a un niple de 1"x15cm mediante una unión de 1" y en la parte inferior de este niple se colocó un tapón hembra de 1" para evitar fugas de biogás. Al interior de la tapa del bidón se unió a un niple de 1"x40 cm y este aun reductor de 1"x 3/4" (usada para mover el agitador para homogenizar la muestra); al interior de este paso un tubo de 1/2" en forma de T invertida para este último se utilizó un tubo de 1/2"x1m que fue unido a una tee de PVC de 1/2", a dos niples de 1/2"x 20 cm y a dos codos que estuvieron acoplados a otros dos niples de 1/2"x8cm formando una T invertida. Para evitar la acumulación de sustrato en los orificios de los niples se colocó tapones hembra en cada extremo. Las uniones se realizaron con la ayuda de cinta teflón y silicona negra de auto. Al final de la construcción de los biodigestores se verifico la inexistencia de fuga de gas y biol, mediante la prueba de hidrostática utilizados por Narváez y Saltos (2007), que consiste en llenar agua a los biodigestores y así evitar pérdidas.

#### Apéndice A1. Materiales utilizados para construir el biodigestor de 240 L

Biodigestor de 240L	Materiales	Cantidad
Generales	Cinta teflón de 1"	6
	Cinta teflón de 1/2"	10
	Silicona negra de autos	6
	Formador de empaquetaduras N°1	3
	Taladro	1
	Cilindro de 240 litros	12
	Terraja de 1/2" y de 1"	1
	Desarmador plano	1
	Hoja de cierra	1

	Lija	1
	Flexómetro	1
	llave stilson	2
	Niple hidro de 1/2" X2-1/2" (6 cm)	12
	Empaquetadura de metal 1/2"	12
	Empaquetadura de goma 1/2"	12
	Contra tuerca grifesa 1/2"	12
	Válvula esférica roscada de PVC de 1/2"	24
Salida del biogás	Adaptador de bronce de lengüeta de manguera 1/4" X 1/2"	36
	Manguera de alta presión 1/4" X 1m	12
	Manguera de alta presión 1/4" X 15 cm	12
	Cámaras de llanta de moto	12
	Abrazadera para manguera 1/4"	36
	Niple de 1"X5cm	24
Salida del biol o abono líquido orgánico	Empaquetadura de goma de 1"	24
	Válvula esférica roscada de PVC de 1"	12
	Contratuerca de 1"	12
	Unión con rosca de 1 "	12
	Adaptador para tanque de 1"	12
	Niple de 1"X 15 cm	12
	Tapón hembra de 1"	12
	Niple de PVC 1"x 40 cm	12
	Anillo reductor de 1"x3/4"	12
Homogenizador	Tubo de PVC de 1/2"X 1m	12
	Tapón hembra de 1/2"	24
	Codo rosca de PVC de 1/2"	24
	Niple de PVC de 1/2"X 8 cm	24
	Niple de PVC de 1/2"X 20 cm	24
	Tee de PVC de 1/2"	12

## Apéndices B. Procedimiento para la construcción de un gasómetro artesanal

Para medir el volumen del biogás se ha construido un gasómetro artesanal. Se utilizó el método de desplazamiento de volumen o también llamado Principio de Arquímedes. En esta investigación se utilizó un bidón de 15 litros de capacidad al cual se le hizo tres perforaciones de 1/2" en la tapa, los cuales fueron para la entrada del biogás, para salida del agua desplaza y para agregar agua (cada vez que sea necesaria). Además, se utilizó un inflador de pie marca INTEX que tiene dos entradas y dos funciones de inflar y desinflar. La primera entrada, fue conectada mediante una manguera de drenaje de

lavadora al bidón y la segunda a la cámara de llanta de moto para aspirar el biogás acumulado para ello se utilizó una manguera y una llave de paso que por un extremo estuvo adherida a una lengüeta de manguera que fue unida con la cámara de llanta. Se utilizó abrazaderas para asegurar las mangueras. Los materiales utilizados se describen en el **Apéndice B1**.

### Apéndice B1. Materiales utilizados para el gasómetro artesanal

Materiales para el gasómetro artesanal	Cantidad
Bidón de 15 litros	1
Inflador Manual Intex	1
Manguera transparente de 1/4" x50 cm	1
Manguera transparente de 1/4" x1 m	1
Válvula esférica roscada de PVC de 1"	1
Manguera drenaje de lavadora	1
Contra tuerca grifesa 1/2"	2
Empaque de goma 1/2"	2
Niple de PVC de 1/2" X2-1/2" (6 cm)	2
Empaquetadura de metal 1/2"	3
Adaptador macho de PVC de 1" x 1/2"	1
Adaptador de bronce de lengüeta de manguera ¼" X ½"	4
Válvula esférica roscada de PVC de 1/2"	1
Adaptador regulador de gas ½"	1
Manguera de alta presión 1/4" X 15 cm	2
Abrazadera para manguera 1/4"	5
Abrazadera para manguera 1"	2
Balde de 10 litros	1

### Apéndices C. Cuadros de promedios de parámetros y cuadros estadísticos

#### Apéndice C1. Variación de pH promedio semanal de los tratamientos

Tiempo	pH			
	T0	T1	T2	T3
Lectura inicial	4.38	4.92	5.55	5.87
Semana 1	4.45	4.58	4.54	4.57
Semana 2	3.71	3.79	3.85	3.84
Semana 3	3.34	3.55	3.59	3.60
Semana 4	3.25	3.40	3.47	3.50
Semana 5	3.12	3.31	3.34	3.42
Semana 6	3.08	3.28	3.33	3.39
Semana 7	3.08	3.25	3.30	3.44
Semana 8	3.13	3.25	3.29	3.43
Semana 9	3.03	3.18	3.24	3.40
Semana 10	3.07	3.21	3.28	3.47
Semana 11	3.05	3.17	3.28	3.46

Semana 12	3.14	3.24	3.35	3.56
Semana 13	3.13	3.27	3.37	3.60
Semana 14	3.17	3.30	3.40	3.62
Semana 15	3.09	3.18	3.31	3.50

#### Apéndice C2. Prueba Estadística de Tukey al comparar los promedios semanales de pH

Tratamiento	N	Promedio de pH	p
T0 (suero 100%)	3	3.3267	a
T1 (suero 90%+ estiercol 10%)	3	3.4900	b
T2 (suero 80%+ estiercol 20%)	3	3.5967	c
T3 (suero 70%+ estiercol 30%)	3	3.7300	d

Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### Apéndice C3. Temperatura promedio semanal de los tratamientos

TIEMPO	TEMPERATURA (°C)			
	T0	T1	T2	T3
LECTURA INICIAL	16.35	18.17	19.83	19.17
SEMANA 1	20.33	20.35	20.72	22.33
SEMANA 2	23.27	22.50	22.40	21.85
SEMANA 3	22.80	22.95	22.90	23.35
SEMANA 4	23.68	26.17	27.42	27.67
SEMANA 5	25.30	25.75	27.22	27.13
SEMANA 6	22.88	24.17	25.08	24.60
SEMANA 7	22.17	23.33	24.57	24.23
SEMANA 8	23.20	23.70	25.03	24.93
SEMANA 9	22.22	22.65	23.52	22.90
SEMANA 10	22.10	21.17	21.17	21.45
SEMANA 11	22.45	22.88	23.85	22.40
SEMANA 12	21.05	21.52	22.58	20.63
SEMANA 13	21.32	22.03	23.40	22.35
SEMANA 14	22.20	22.40	23.60	20.73
SEMANA 15	22.30	22.70	22.83	20.37

#### Apéndice C4. Prueba Estadística de Tukey al comparar los promedios de temperatura

Tratamiento	N	Promedio de T (°C)	p
T0 (suero 100%)	3	22.2533	a
T1 (suero 90%+ estiercol 10%)	3	22.6533	a
T2 (suero 80%+ estiercol 20%)	3	23.5033	b
T3 (suero 70%+ estiercol 30%)	3	22.8833	ab

Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

### Apéndice C5. Volumen promedio por cada semana y volumen acumulado de biogás

TIEMPO	Volumen promedio por semana (L)				Volumen acumulado por semana (L)			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
LECTURA INICIAL	nd*	nd	nd	nd	0.00	0.00	0.00	0.00
SEMANA 1	2.49	3.67	5.89	7.23	2.49	3.67	5.89	7.23
SEMANA 2	5.26	5.10	5.98	9.08	7.75	8.77	11.86	16.32
SEMANA 3	9.05	8.21	8.91	10.06	16.80	16.98	20.77	26.38
SEMANA 4	4.96	5.84	5.82	6.77	21.76	22.82	26.59	33.14
SEMANA 5	6.87	8.05	7.00	6.31	28.63	30.87	33.59	39.45
SEMANA 6	6.28	6.60	6.52	6.00	34.91	37.47	40.11	45.45
SEMANA 7	ND	ND	ND	ND	34.91	37.47	40.11	45.45
SEMANA 8	4.89	5.22	5.45	5.27	39.80	42.68	45.55	50.71
SEMANA 9	4.27	4.60	4.43	4.77	44.07	47.28	49.99	55.48
SEMANA 10	4.00	4.26	4.12	4.18	48.07	51.55	54.10	59.66
SEMANA 11	4.19	4.89	4.88	5.17	52.26	56.44	58.98	64.84
SEMANA 12	3.69	3.73	3.51	3.66	55.95	60.17	62.49	68.50
SEMANA 13	3.75	4.32	4.29	4.47	59.70	64.49	66.77	72.97
SEMANA 14	1.56	1.74	1.63	1.48	61.26	66.23	68.40	74.44
SEMANA 15	1.08	1.30	1.15	1.12	62.35	67.53	69.55	75.56

Nota: ND \* no determinado

Tratamiento 0 (control): Suero 100%

Tratamiento 1,2,3: Mezcla de estiércol y suero (suero al 90%, 80%, 70%)

### Apéndice C6. Prueba Estadística de Tukey al comparar los promedios semanales de biogás

Tratamiento	N	Promedio de biogás (L)	p
T0 (suero 100%)	3	4.4533	a
T1 (suero 90%+ estiércol 10%)	3	4.8200	ab
T2 (suero 80%+ estiércol 20%)	3	4.9667	ab
T3 (suero 70%+ estiércol 30%)	3	5.3967	b

Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas).

### Apéndice C7. Prueba Estadística de Tukey al comparar la acumulación de biogás

Tratamiento	N	Promedio de acumulación de biogás	p
T0 (suero 100%)	3	62.3500	a
T1 (suero 90%+ estiércol 10%)	3	67.5267	ab
T2 (suero 80%+ estiércol 20%)	3	69.5533	ab

<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	75.5600	b
--------------------------------------	---	---------	---

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

**Apéndice C8.** Relación Carbono/Nitrógeno de los tratamientos al inicio y final del proceso anaeróbico

TRATAMIENTOS	RELACIÓN C/N	
	INICIAL	FINAL
<b>T0</b>	<b>24.12</b>	<b>38.02</b>
<b>T1</b>	<b>21.38</b>	<b>43.38</b>
<b>T2</b>	<b>24.73</b>	<b>41.76</b>
<b>T3</b>	<b>20.94</b>	<b>38.04</b>

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

**Apéndice C9.** Prueba Estadística de Tukey al comparar los promedios de pH entre los tratamientos

Tratamiento	N	Promedio de pH	p
<b>T0</b> (suero 100%)	3	3.2600	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	3.3567	b
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	3.4733	c
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	3.6833	d

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

**Apéndice C10.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de Nitrógeno

Tratamiento	N	Promedio de N Total (mg/L)	p
<b>T0</b> (suero 100%)	3	1491.3333	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	1099.4667	b
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	1254.4000	ab
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	1308.5333	ab

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

**Apéndice C11.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de Fosforo

Tratamiento	N	Promedio P (mg/L)	p
-------------	---	-------------------	---

<b>T0</b> (suero 100%)	3	382.1333	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	421.4900	ab
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	482.5900	b
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	481.5533	b

*Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).*

#### **Apéndice C12.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de Potasio

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio K (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	1213.3333	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	1320.0000	ab
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	1380.0000	ab
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	1466.6667	b

*Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).*

#### **Apéndice C13.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de calcio

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio Ca (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	273.3333	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	515.3333	b
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	823.3333	c
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	994.6667	c

*Nota: N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).*

#### **Apéndice C14.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de magnesio

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio Mg (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	69.3333	a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	112.0000	b
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	163.4000	c
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	212.0000	d

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### Apéndice C15. Prueba estadística ANOVA de un factor al comparar el contenido de sodio

Tratamiento	N	Promedio Na (mg/L)	p
T0 (suero 100%)	3	372.0000	a
T1 (suero 90%+ estiercol 10%)	3	382.0000	a
T2 (suero 80%+ estiercol 20%)	3	385.3333	a
T3 (suero 70%+ estiercol 30%)	3	367.3333	a

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### Apéndice C16. Prueba estadística ANOVA de un factor al comparar la relación de C/N

Tratamiento	N	Promedio C/N (mg/L)	p
T0 (suero 100%)	3	38.0233	a
T1 (suero 90%+ estiercol 10%)	3	43.3767	a
T2 (suero 80%+ estiercol 20%)	3	41.7567	a
T3 (suero 70%+ estiercol 30%)	3	38.0433	a

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### Apéndice C17. Prueba Estadística T3 de Dunnet al comparar el contenido de hierro

Tratamiento	N	Promedio Fe (mg/L)	p
T0 (suero 100%)	3	0.9200	a
T1 (suero 90%+ estiercol 10%)	3	10.6667	b
T2 (suero 80%+ estiercol 20%)	3	23.0933	c
T3 (suero 70%+ estiercol 30%)	3	33.5733	d

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### Apéndice C18. Prueba Estadística T3 de Dunnet al comparar el contenido de Zinc

Tratamiento	N	Promedio Zn (mg/L)	p
-------------	---	--------------------	---

<b>T0</b> (suero 100%)	3	0.2333 a
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	0.7000 a
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	1.4400 b
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	2.0067 c

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### **Apéndice C19.** Prueba Estadística T3 de Dunnet al comparar el contenido de Manganeso

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio Mn (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	0.1200 a	
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	2.1867 b	
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	5.3867 c	
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	8.1400 d	

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### **Apéndice C20.** Prueba Estadística de Tukey al comparar el contenido de Boro

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio B (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	15.6667 a	
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	24.3333 ab	
<b>T2</b> (suero 80%+ estiercol 20%)	3	35.3333 bc	
<b>T3</b> (suero 70%+ estiercol 30%)	3	46.3333 c	

*Nota:* **N:** Número de repeticiones. **p:** nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

#### **Apéndice C21.** Prueba Estadística Kruskal-Wallis al comparar los tratamientos con el contenido de Cu

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Promedio Cu (mg/L)</b>	<b>p</b>
<b>T0</b> (suero 100%)	3	0.1000 a	
<b>T1</b> (suero 90%+ estiercol 10%)	3	0.1133 a	

T2 (suero 80%+ estiércol 20%)	3	0.2400 a
T3 (suero 70%+ estiércol 30%)	3	0.2800 a

*Nota:* N: Número de repeticiones. p: nivel de significancia en prueba Tukey (letras iguales en la misma línea indican ausencia de diferencias significativas/letras distintas en la misma línea indican diferencias significativas).

## Apéndices D. MATRICES DE VARIABLES Y CONSISTENCIA

### Apéndice D1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Uso de suero de queso y estiércol de bovino	<p>-El lactosuero o suero de leche es el líquido obtenido luego de la coagulación de la leche por la acción de enzimas tipo cuajo (digestivas de los rumiantes, renina) o por ácidos en la elaboración de quesos (NTE INEN 2594:2011; Poveda, 2013). El suero es translucido de color verde amarillento por el contenido de riboflavina (Arce, Thompson, Calderón, 2016).</p> <p>- Es el excremento que proviene del ganado vacuno, este se alimenta principalmente de pasturas o forraje, que es típico de los animales herbívoros. Por esa razón, la composición de sus excrementos es principalmente fibras y agua (Arellano, Cruz y Huertas, 2014).</p>	<p>-El suero de leche contiene todos los componentes que no se integran en la coagulación de la caseína, este representa el 80 a 90% del volumen total de la leche utilizada y retiene el 50% de los nutrientes de la leche original (Valencia y Ramírez, 2009; Arce <i>et al.</i>, 2016); su composición varía de acuerdo al origen de la leche, al tipo de queso elaborado y la tecnología utilizada (Valencia y Ramírez, 2009).</p> <p>-Según Cordero (2013), la producción y características químicas del estiércol dependen de la genética, dieta del animal y la edad (bovinos de engorde, becerros de engorde, vacas de lactación, vacas secas, becerras lactantes, etc.). Las vacas de lactación defecan 68kg/día y con 87% de humedad y estos contienen N:0,45 kg/día/animal, P:0,078 y K: 0,103 (ASAE, 2005 citado por Cordero, 2013).</p>
<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Uso del suero de queso y estiércol de bovino	Digestión anaeróbica	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Ayuda a reducir los niveles de contaminación</li> <li>· Permite valorizar el suero en diferentes materias</li> </ul>
	Contaminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Elimina la alta demanda química de Oxígeno (DQO) y nutrientes</li> <li>· Afecta al medio ambiente.</li> </ul>
	Co-digestión de la mezcla del suero con otros sustratos	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mejora su aprovechamiento</li> </ul>
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Producción de biogás y abonos líquidos orgánicos	<p>*Es una mezcla de gases y se obtiene del proceso de descomposición, donde se degrada el sustrato orgánico por microorganismos especializados. El proceso puede llevarse en el ambiente natural o en reactores con ausencia de oxígeno (FAO, 2019.)</p> <p>* En el proceso de digestión anaeróbica también se produce el biofertilizante que por general se llama biol, efluente, digestato, digerido, etc. En el proceso de digestión anaerobia, los nutrientes de nitrógeno, fósforo, potasio y otros que se encuentran en el material orgánico se mineralizan y son disponibles para las plantas (Martí-Herrero, 2019).</p>	<p>* La principal composición del biogás es el metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero también contiene trazas de otros gases en menor cantidad como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). La composición depende del material que se va a utilizar para alimentar el biodigestor, la tecnología y también de la temperatura (FAO, 2019).</p> <p>*Según Robles <i>et al</i> 2008, el biol contiene hormonas vegetales de crecimiento, los cinco grupos hormonales (adenina, purina, auxina, giberelina, citocina) que son desechos del metabolismo de microorganismos y su uso principal es fortalecer el crecimiento de la planta, raíz y frutos.</p>
<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Producción de biogás y	Cantidad de biogás producido.	· Volumen producido de biogás

abonos líquidos orgánicos	Calidad del abono líquido orgánico.	Propiedades fisicoquímicas, microbiológicas del abono líquido orgánico.
---------------------------	-------------------------------------	---

## Apéndice D2 Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<b>Problema general</b> ¿Cómo se aprovecharía y trataría el efluente residual de suero de queso en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad?	<b>Objetivo general</b> Determinar el uso del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino utilizando diferentes proporciones en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad.	<b>Ho:</b> El efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino a diferentes proporciones tiene efectos para la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos. <b>Ha:</b> El efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino a diferentes proporciones no tiene efectos para la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos.	<b>Variable independiente</b>  <b>Y:</b> Uso de suero de queso y estiércol de bovino  <b>Variable dependiente</b> <b>X:</b> Producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de calidad	El diseño aplicado ha sido experimental  Diseño Completo al azar (DCA) de tres tratamientos (T1, T2 y T3) y un control (T0), cada uno de estos con tres repeticiones
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>PRUEBA ESTADISTICA</b>
¿Cuál es la cantidad del biogás producido a partir del proceso de digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino?	Estimar la cantidad del biogás producido a partir del proceso de digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino.	El proceso de digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino permite producir biogás.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tratamientos: T0, T1, T2 y T3.</li> <li>2. Biogás</li> <li>3. PH</li> <li>4. Temperatura</li> </ol>	Ninguna
¿Cuál es la calidad del abono líquido orgánico producido a partir de la digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino?	Analizar la calidad del abono líquido orgánico producido a partir del proceso de digestión anaeróbica del suero de queso y estiércol de bovino.	El proceso de digestión anaeróbica suero de queso y estiércol de bovino permite producir abono líquido orgánico de calidad.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tratamientos: T0, T1, T2 y T3.</li> <li>2. Macronutrientes y Micronutrientes</li> <li>3. Coliformes fecales</li> <li>4. PH</li> </ol>	ANOVA y prueba de Tukey para abono líquido orgánico
¿Cuál es la mejor relación de mezcla entre la Co-digestion anaeróbica del suero de queso y estiércol de vacuno para producir mayor cantidad de biogás y abono líquido orgánico de calidad?	Determinar la mejor relación de mezcla entre la Co-digestion anaeróbica del suero de queso y estiércol de vacuno para producir mayor cantidad de biogás y abono líquido orgánico de calidad	Las diferentes dosis de mezcla del suero de queso y estiércol de vacuno permiten obtener mayor cantidad de biogás y abono líquido orgánico de calidad	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tratamientos: T0, T1, T2 y T3.</li> <li>2. Porcentaje (%) de mezcla de suero y estiércol: (100:0, 90:10, 80:20, 70:30 %)</li> </ol>	ANOVA y prueba de Tukey para varianzas iguales y T3 de Dunnett para varianzas diferentes y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (no pasaron la normalidad).

**Apéndices E. Informe de los análisis de laboratorio**

**Apéndice E1. Informe de análisis de Relación Carbono/Nitrógeno**



**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 : NOHEMI QUISPE APAZA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ CABANA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 75174  
 FACTURA : 4762  
 FECHA : 19/10/2021

N° LAB	CLAVES	Relación C/N
417	T0	24.12
418	T1	21.38
419	T2	24.73
420	T3	20.94



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
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

## Apéndice E2. Informe de análisis de coliformes Fecales

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA</b>	
<b>INFORME DE ENSAYO N° 2109277 - LMT</b>		
<b>SOLICITANTE</b> : Nohemi Quispe Apaza <b>DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO</b> <b>MUESTRA</b> : Biol - T0		
<b>PROCEDENCIA</b> : Biodigestor <b>TIPO DE ENVASE</b> : Botella de plástico <b>CANTIDAD DE MUESTRA</b> : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox. <b>ESTADO Y CONDICIÓN</b> : En buen estado y cerrado <b>FECHA DE MUESTREO</b> : 2021 - 09 - 17 <b>FECHA DE RECEPCIÓN</b> : 2021 - 09 - 21 <b>FECHA DE INICIO DE ENSAYO</b> : 2021 - 09 - 21 <b>FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO</b> : 2021 - 09 - 28		
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA</b>		
<b>Análisis Microbiológico</b>	<b>Muestra</b> <b>2109277</b>	
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	24 x 10	
<b>Métodos:</b> 1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acritia..		
<b>Observaciones:</b> Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita. Validez del documento: Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.		
La Molina, 28 de septiembre de 2021		
 <b>DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA</b> Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" Universidad Nacional Agraria La Molina  Teléfono: 6147800 anexo 274 E-mail: <a href="mailto:imt@lamolina.edu.pe">imt@lamolina.edu.pe</a>		
Av. La Molina s/n La Molina, Código Postal 15024 - Lima - Perú ☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: <a href="mailto:imt@lamolina.edu.pe">imt@lamolina.edu.pe</a>		



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2109278 - LMT**

**SOLICITANTE** : Nohemi Quispe Apaza

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : Biol – T1

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2021 - 09 - 18  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 28

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2109278
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	> 11 x 10 <sup>2</sup>

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acritia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 28 de septiembre de 2021

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2109279 - LMT**

**SOLICITANTE** : Nohemi Quispe Apaza  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : Biol - T2

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2021 - 09 - 19  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 28

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2109279
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	> 11 x 10 <sup>2</sup>

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 28 de septiembre de 2021



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2109280 - LMT**

**SOLICITANTE** : Nohemi Quispe Apaza

**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**

**MUESTRA** : Biol - T3

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2021 - 09 - 20  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 21  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2021 - 09 - 28

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2109280
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	> 11 x 10 <sup>2</sup>

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 28 de septiembre de 2021

  
DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
y Biotecnología "Marino Tabusso"  
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
E-mail: [lm@iamolina.edu.pe](mailto:lm@iamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201012 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL CR1

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201012
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA**

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: [lm2@lamolina.edu.pe](mailto:lm2@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201013 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL CR2

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201013
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201014 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL CR3

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201014
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022

  
 DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201015 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T1R1

PROCEDENCIA : Biodigestor  
 TIPO DE ENVASE : Botella de plástico  
 CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
 ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado  
 FECHA DE MUESTREO : 2022 - 01 - 15  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2022 - 01 - 17  
 FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2022 - 01 - 17  
 FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201015
*Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

\*International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022




**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**  
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina  
 Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: [lmnt@lamolina.edu.pe](mailto:lmnt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201016 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T1R2

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201016
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA



Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina  
 Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201017 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T1R3

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201017
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [imt@lamolina.edu.pe](mailto:imt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201018 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T2R1

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201018
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II. (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabuso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201019 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T2R2

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201019
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201020 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T2R3

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201020
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201021 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T3R1

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201021
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1963. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acritia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201022 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T3R2

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201022
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: [lmt@lamolina.edu.pe](mailto:lmt@lamolina.edu.pe)





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA**



**INFORME DE ENSAYO N° 2201023 - LMT**

**SOLICITANTE:** NOHEMI QUISPE APAZA  
**DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO**  
**MUESTRA** : BIOL T3R3

**PROCEDENCIA** : Biodigestor  
**TIPO DE ENVASE** : Botella de plástico  
**CANTIDAD DE MUESTRA** : 01 muestra x 01 und. x 500 mL aprox.  
**ESTADO Y CONDICIÓN** : En buen estado y cerrado  
**FECHA DE MUESTREO** : 2022 - 01 - 15  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 17  
**FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO** : 2022 - 01 - 24

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA**

Análisis Microbiológico	Muestra 2201023
<sup>1</sup> Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL.)	< 3

**Métodos:**

<sup>1</sup>International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

**Observaciones:**

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.  
 Validez del documento:  
 Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 24 de enero de 2022



**DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA**  
 Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana  
 y Biotecnología "Marino Tabusso"  
 Universidad Nacional Agraria La Molina  
 Teléfono: 6147800 anexo 274  
 E-mail: lmt@lamolina.edu.pe



## Apéndice E3. Informe de análisis de materia orgánica



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : NOHEMI QUISPE APAZA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ CABANA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 76167  
 BOLETA : 4996  
 FECHA : 01/02/2022

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
027	MUESTRA: CR1	3.28	8.68	33.18	28.49	1568.00	359.35	1180.00
028	MUESTRA: CR2	3.26	8.76	40.25	35.04	1394.00	437.02	1240.00
029	MUESTRA: CR3	3.24	8.78	39.77	34.57	1512.00	350.03	1220.00

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L	Relación C/N
027	MUESTRA: CR1	286.00	76.00	410.00	31.32
028	MUESTRA: CR2	244.00	62.00	332.00	43.33
029	MUESTRA: CR3	290.00	70.00	374.00	39.42

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
027	MUESTRA: CR1	0.96	0.12	0.38	0.12	17.00
028	MUESTRA: CR2	0.64	0.08	0.16	0.12	14.00
029	MUESTRA: CR3	1.16	0.10	0.16	0.12	16.00



Dr. Constantino Calderón Mendoza  
 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



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 : NOHEMI QUISPE APAZA  
PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ CABANA  
MUESTRA DE : BIOL  
REFERENCIA : H.R. 76167  
BOLETA : 4996  
FECHA : 01/02/2022

Nº 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
030	MUESTRA: T1R1	3.36	9.64	32.08	26.28	1080.80	415.28	1420.00
031	MUESTRA: T1R2	3.36	9.60	32.53	26.91	1086.40	377.99	1300.00
032	MUESTRA: T1R3	3.35	9.54	35.59	29.86	1131.20	471.20	1240.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L	Relación C/N
030	MUESTRA: T1R1	512.00	118.00	380.00	41.92
031	MUESTRA: T1R2	538.00	110.00	390.00	42.70
032	MUESTRA: T1R3	496.00	108.00	376.00	45.51

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
030	MUESTRA: T1R1	11.56	0.12	0.70	2.42	29.00
031	MUESTRA: T1R2	10.54	0.12	0.72	2.16	24.00
032	MUESTRA: T1R3	9.90	0.10	0.68	1.98	20.00



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
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



**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 : NOHEMI QUISPE APAZA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ CABANA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 76167  
 BOLETA : 4996  
 FECHA : 01/02/2022

Nº 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
033	MUESTRA: T2R1	3.47	11.20	34.52	28.25	1288.00	477.41	1360.00
034	MUESTRA: T2R2	3.48	11.00	39.47	32.89	1372.00	468.09	1500.00
035	MUESTRA: T2R3	3.47	11.00	36.05	29.52	1103.20	502.27	1280.00

Nº LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L	Relación C/N
033	MUESTRA: T2R1	822.00	164.00	378.00	37.81
034	MUESTRA: T2R2	846.00	170.00	402.00	41.33
035	MUESTRA: T2R3	802.00	156.20	376.00	46.13

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
033	MUESTRA: T2R1	23.64	0.20	1.56	5.54	33.00
034	MUESTRA: T2R2	22.74	0.30	1.38	5.24	34.00
035	MUESTRA: T2R3	22.90	0.22	1.38	5.38	39.00



Dr. Constantino Calderón Mendoza  
Jefe de Laboratorio

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



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



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : NOHEMI QUISPE APAZA  
 PROCEDENCIA : PUNO/ SAN ROMÁN/ CABANA  
 MUESTRA DE : BIOL  
 REFERENCIA : H.R. 76167  
 BOLETA : 4996  
 FECHA : 01/02/2022

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
036	MUESTRA: T3R1	3.69	11.60	34.92	28.05	1439.20	502.27	1420.00
037	MUESTRA: T3R2	3.67	11.30	36.26	28.74	1204.00	474.30	1480.00
038	MUESTRA: T3R3	3.69	11.40	36.62	29.29	1282.40	468.09	1500.00

N° LAB	CLAVES	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L	Relación C/N
036	MUESTRA: T3R1	852.00	202.00	352.00	33.80
037	MUESTRA: T3R2	1010.00	210.00	348.00	41.15
038	MUESTRA: T3R3	1122.00	224.00	402.00	39.38

LAB	CLAVES	Fe Total mg/L	Cu Total mg/L	Zn Total mg/L	Mn Total mg/L	B Total mg/L
036	MUESTRA: T3R1	32.52	0.26	2.04	7.84	39.00
037	MUESTRA: T3R2	35.30	0.30	1.98	8.72	51.00
038	MUESTRA: T3R3	32.90	0.28	2.00	7.86	49.00



Dr. Constantino Calderón Mendoza  
 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

**Apéndices F. Registro fotográficas**

**Apéndice F1. Descarga de suero de queso al medio ambiente**



**Apéndice F2. Construcción de los biodigestores**



**Apéndice F3. Medición de pH y temperatura**



**Apéndice F4. Medición de biogás y anotación de resultados**



Apéndice G. Carta de autorización de uso de información de COOPAGRO LTDA.

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE COOPAGRO LTDA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL**

Yo, Wilbert German Ticona Calla, con DNI 47220271 en mi calidad de representante legal de la Cooperativa Agroindustrial de productos agropecuarios Cabana Ltda. con R.U.C N° 20448791310, ubicada en el departamento de Puno, provincia de San Roman, distrito Cabana.

**OTORGO LA AUTORIZACIÓN,**

A la tesista Nohemi Quispe Apaza identificado con DNI N° 70311841, bachiller de la carrera de Ingeniería ambiental para que utilice la siguiente información de la empresa con la finalidad de que pueda desarrollar su Trabajo de Investigación y optar el título profesional.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
 Mencionar el nombre de la empresa en la sustentación, en la publicación del documento en el repositorio de la universidad Científica del Sur.

 COOPAGRO - CABANA  
  
 MVZ. Wilbert G. Ticona  
 DNI 47220271  
 GERENTE

**Firma y sello del Representante Legal**  
**DNI:**

La Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el tesista sera sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; y asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°103-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 15 de junio de 2020

**VISTO:**

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Aprovechamiento del efluente residual de suero salado de queso en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno - Acora**, presentado por:

- **Nohemi Quispe Apaza**

**CONSIDERANDO:**

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

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

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Aprovechamiento del efluente residual de suero salado de queso en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno - Acora** con N° de registro: **445-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese.

*Documento firmado digitalmente*

**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**

Director Académico

Carrera de Ingeniería Ambiental

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 019 -2023-DACIA-DAFCA-U.  
CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 06 de febrero de 2023

VISTO:

La solicitud presentada por: **Nohemi Quispe Apaza** con el fin de modificar el título de la tesis: **Aprovechamiento del efluente residual de suero salado de queso en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno -Acora** por **“Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno-Cabana”**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo con lo dispuesto en las Normas y Procedimientos de los Trabajos de Investigación para la Obtención de Títulos Profesionales y Grados Académicos, se admite el cambio del título de la tesis dados motivos que justifican el cambio.

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

SE RESUELVE:

Aprobar el cambio del título de la tesis titulada **Aprovechamiento del efluente residual de suero salado de queso en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno -Acora** por **“Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en Puno-Cabana”**

Regístrese, comuníquese y archívese,

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico  
Carrera de Ingeniería Ambiental