CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que la tesis de investigación Titulada **"Evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes de un biofertilizante líquido (Biol) elaborado a partir de residuos orgánicos"**; desarrollada por **Nilson Soto Villena** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, **asesorado por el Mg. Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 17%,** sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 22 de enero de 2025.

Atentamente

M.Sc Rubén Iván Marchena Chanduvi
Director de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ciencias Agrarias

RIMCH/DUIFCA
Interesado
AFCA
Archivo
Chota 2025

Nilson Soto Villena

IT-CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD-UIFCA

INFORME DE TESIS 2024

PROYECTOS Y TESIS 2024

Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3134661146

Fecha de entrega
22 ene 2025, 12:55 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
22 ene 2025, 12:58 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
Informe_final_de_Tesis_-_Nilson_Soto_Villena_WORD_-_T.docx

Tamaño de archivo
4.4 MB

85 Páginas

14,541 Palabras

77,767 Caracteres

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga 1%
2	Internet	hdl.handle.net <1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo <1%
4	Internet	revistas.lamolina.edu.pe <1%
5	Internet	www.coursehero.com <1%
6	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe <1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE <1%
8	Internet	documentop.com <1%
9	Internet	vsip.info <1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María <1%
11	Internet	www.researchgate.net <1%

12	Internet	
www.slideshare.net		<1%
13	Publicación	
Bazán, Cristian Cirilo Patricio. "Propuesta de Mejora Para la Reducción de Merma ...		<1%
14	Internet	
repositorio.ug.edu.ec		<1%
15	Trabajos del estudiante	
ipn		<1%
16	Internet	
www.scielo.org.mx		<1%
17	Internet	
dokumen.pub		<1%
18	Internet	
repositorio.ufpso.edu.co		<1%
19	Internet	
dspace.utpl.edu.ec		<1%
20	Internet	
repositorio.unach.edu.pe		<1%
21	Internet	
repositorio.unp.edu.pe		<1%
22	Internet	
kdu.repo.nii.ac.jp		<1%
23	Internet	
www.ideam.gov.co		<1%
24	Internet	
es.scribd.com		<1%
25	Internet	
dspace.unl.edu.ec		<1%

26	Trabajos del estudiante Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia	<1%
27	Internet repositorio.uncp.edu.pe	<1%
28	Internet repositorio.unheval.edu.pe	<1%
29	Internet repositorio.uea.edu.ec	<1%
30	Internet pt.scribd.com	<1%
31	Internet repositorio.uct.edu.pe	<1%
32	Trabajos del estudiante Universidad San Francisco de Quito	<1%
33	Internet repositorio.ulima.edu.pe	<1%
34	Publicación Vargas Chavez, Gladis E.. "Salinizacion inducida en los suelos agricolas de Canaria...	<1%
35	Publicación Luis Verdezoto del Salto, Franz Verdezoto Mendoza, Adrián Navas Rea, Enma Rod...	<1%
36	Trabajos del estudiante Universidad TecMilenio	<1%
37	Internet repositorio.utn.edu.ec	<1%
38	Trabajos del estudiante Escuela Politecnica Nacional	<1%
39	Trabajos del estudiante unasam	<1%

40 Internet
repositorio.unh.edu.pe <1%

41 Internet
revistas.uam.es <1%

42 Publicación
Yakabi Bedrinana, Katiusca Susana. "Integrando dimensiones para la comprensio... <1%

43 Internet
dspace.espol.edu.ec <1%

44 Internet
repositorio.ucv.edu.pe <1%

45 Internet
repositorio.undar.edu.pe <1%

46 Internet
sgi.ideam.gov.co <1%

47 Internet
doczz.es <1%

48 Internet
LEONARD EDMOND QUENUM. "Comparación entre la producción ecológica e inte... <1%

49 Internet
ojs.edicionescervantes.com <1%

50 Internet
pdfs.semanticscholar.org <1%

51 Internet
1library.co <1%

52 Internet
ojs.wiserpub.com <1%

53 Trabajos del estudiante
Escuela Superior Politécnica del Litoral <1%

54	Internet	
repositorio.upa.edu.pe		<1%
55	Internet	
sea.ufr.edu.br		<1%
56	Trabajos del estudiante	
ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey		<1%
57	Internet	
repositorio.uta.edu.ec		<1%
58	Publicación	
Freddy Carlos Gavilánez-Luna, María José Gómez-Vargas. "Definición de dosis de ...		<1%
59	Internet	
www.cbhresources.com.au		<1%
60	Internet	
www.expo-events.com		<1%
61	Trabajos del estudiante	
University of Reading		<1%
62	Internet	
go.gale.com		<1%
63	Internet	
idus.us.es		<1%
64	Internet	
tesis.unsm.edu.pe		<1%
65	Internet	
www2.slideshare.net		<1%
66	Internet	
repositorio.espam.edu.ec		<1%
67	Publicación	
Sheda Méndez-Ancca, Renzo Pepe-Victoriano, Hebert Hernán Soto Gonzales, Abel ...		<1%

68	Internet	
apirepositorio.unh.edu.pe		<1%
69	Internet	
bvsalud.org		<1%
70	Internet	
cathi.uacj.mx		<1%
71	Internet	
ciencia.lasalle.edu.co		<1%
72	Internet	
docplayer.es		<1%
73	Internet	
dspace.espoch.edu.ec		<1%
74	Internet	
idoc.pub		<1%
75	Internet	
repositorio.iica.int		<1%
76	Internet	
repositorio.ujcm.edu.pe		<1%
77	Internet	
repositorio.unac.edu.pe		<1%
78	Internet	
repositorio.unsa.edu.pe		<1%
79	Internet	
www.argentina.gob.ar		<1%
80	Internet	
www.cyberescuela.com.sv		<1%
81	Internet	
www.elsitioagricola.com		<1%

82	Internet	
www.redpav-fpolar.info.ve		<1%
83	Internet	
www.retema.es		<1%
84	Internet	
www.umh.es		<1%
85	Publicación	
Flores Paredes, Elizabeth de la Nieves. "Conciencia Fonológica y Velocidad de Den...		<1%
86	Publicación	
JAVIER CRUZ HERNÁNDEZ. "Valoración agronómica de compost y vermicompost d...		<1%
87	Internet	
archive.org		<1%
88	Internet	
es.unionpedia.org		<1%
89	Internet	
fr.slideshare.net		<1%
90	Internet	
issuu.com		<1%
91	Internet	
krishikosh.egranth.ac.in		<1%
92	Internet	
produccion-uc.bc.uc.edu.ve		<1%
93	Internet	
repositorio.ucsg.edu.ec		<1%
94	Internet	
repositorio.unal.edu.co		<1%
95	Internet	
ugspace.ug.edu.gh:8080		<1%

96 Internet

umetproyectos2018.blogspot.com <1%

97 Internet

www.easy-life.es <1%

98 Internet

www.fertibox.net <1%

99 Publicación

Bouzas Blanco, Alberto. "Optimization of primary sludge fermentation for volatile... <1%

100 Internet

repositorio.unfv.edu.pe <1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Bioprocesos Agroindustriales.

TESIS

Evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes de un biofertilizante líquido (Biol) elaborado a partir de residuos orgánicos.

Para optar el título profesional de
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR
Bach. Nilson Soto Villena

ASESOR
Mg. Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón

GAMBOA ALARCON PEDRO WILFREDO
ING. AGROINDUSTRIAL
Reg. Colegio de Ingenieros CIP Nº 231967

CHOTA – PERÚ

ENERO, 2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Universidad Nacional Autónoma de Chota
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Anexo 01:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

REG. N° 005-2025-FCA

Siendo las 9:32 horas, del día 23 de enero de 2025, los miembros del Jurado de Tesis titulada: EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA Y CUANTIFICACIÓN DE NUTRIENTES DE UN BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO (BIOL) ELABORADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS, integrado por:

1. Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio Presidente
2. MSc. Jannelly Marilyn Edquén Núñez Secretario
3. Mg. Virginio Pablo Ponte Loyola Vocal

Sustentada de manera presencial (X), virtual ( ) por Bach. Nilson Soto Villena, con la finalidad de obtener el Título Profesional de (Ingeniero Agroindustrial/Ingeniero Forestal y Ambiental)

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda… (Aprobar, desaprobar) … la tesis, calificándola con la nota de: (16), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el correspondiente título profesional

Colpa Huacaris, 23 de enero del 2025

Dr. Augusto Antonio Mechato Anastasio
Presidente

M. Sc. Jannelly Marilyn Edquén Núñez
Secretario

Mg. Virginio Pablo Ponte Loyola
Vocal

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios quien me brinda la vida y la fuerza para seguir adelante y no desmayar ante las adversidades de la vida.

A mis padres Marcial Soto Silva y Marina Villena Saavedra quienes por ellos soy lo que soy, por sus consejos, por su esfuerzo, por su amor y valores.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me da la vida y la fuerza para seguir adelante ante las dificultades.

A mis padres Marcial Soto Silva y Marina Villena Saavedra por su inmenso apoyo, por sus consejos, sus principios, valores y por la motivación constante.

Al Mg, Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón por su asesoramiento y apoyo para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas recibidas.

A Susan Yoana Saldaña Vásquez, a mis hermanos y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

Índice de contenidos

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 23

1.1 Planteamiento del Problema 23

1.2 Formulación del Problema 25

1.3 Justificación 25

1.4 Objetivos 26

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 27

2.1 Antecedentes 27

2.2 Bases Teórico – Científicas 29

2.2.1 Biofertilizantes 29

2.2.2 Macronutrientes y micronutrientes 30

2.2.3 Biofertilizantes líquidos 32

2.2.4 Caracterización fisicoquímica 32

2.2.5 Principales componentes del biol 34

2.2.6 Bioconversión por microorganismos 34

2.2.7 Fases de la digestión anaeróbica 34

2.2.8 Microorganismos 36

2.2.8.1 Microorganismos Eficientes (ME) 37

2.2.9 Biodigestor 38

2.3 Marco conceptual 39

2.3.1 Macronutrientes 39

2.3.2 Micronutrientes 39

2.3.3 Análisis fisicoquímico 39
2.3.4 Biol 39
2.3.5 Residuos orgánicos 39
2.3.6 Digestión anaeróbica 40
2.3.7 Metanogénesis 40
2.4 Hipótesis 40
2.5 Operacionalización de variables. 41
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 42
3.1 Tipo y nivel de investigación. 42
3.2 Diseño de investigación. 42
3.3 Métodos de investigación. 44
3.4 Población, muestra y muestreo. 52
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 52
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos. 53
3.7 Aspectos éticos 53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 54
4.1 Descripción de resultados 54
4.2 Contrastación de Hipótesis 60
4.3 Discusión de resultados 61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67
5.1 Conclusiones 67

5.2 Recomendaciones 68

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS 70

CAPÍTULO VII. ANEXOS 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Funciones de los micronutrientes*.....31

Tabla 2 *Operacionalización de variables* 41

Tabla 3 *Diseño de la investigación* 42

Tabla 4 *Cantidades en base a 85% de agua y 15% de residuos orgánicos* 46

Tabla 5 *Técnicas e instrumentos para recolección de datos*.....52

Tabla 6 *Análisis fisicoquímicos de las muestras de los biofertilizantes líquidos obtenidos* ...54

Tabla 7 *Resultados de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)* 57

Tabla 8 *Resultados del contenido de micronutrientes (sodio y magnesio)* 59

Tabla 9 *Contrastación de Hipótesis* 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Biodigestor* 38

Figura 2 *Esquema experimental* 43

Figura 3 *Diagrama de flujo de elaboración de biofertilizante (biol)* 44

Figura 4 *Biodigestor empleado*……...47

Figura 5 *Incubadora utilizada* 48

Figura 6 *Gráficas del análisis fisicoquímico de los biofertilizantes líquidos obtenidos* 56

Figura 7 *Gráficas de cuantificacicion de los macronutrientes nitrógeno (N), fóforo (P) y potasio (K)* 58

Figura 8 *Gráficas de la cuantificación de los micronutrientes sodio (Na) y magnesio (Mg) por cada formulación*.....59

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron las características fisicoquímicas, contenido de macronutrientes y micronutrientes de un biofertilizante líquido elaborado a partir de residuos orgánicos. Se utilizó materia orgánica como estiércol seco de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha. Seguidamente, los residuos orgánicos fueron mezclados a diferentes concentraciones de estiércol de vacuno – residuos orgánicos (30:70; 50:50 y 70:30) y microorganismos (1,0% y 1,5%). La mezcla fue sometida a un proceso de digestión anaeróbica a 37°C por 30 días. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ($p< 0,05$), el pH fue ácido entre 3,53 a 3,61. La conductividad eléctrica (CE) entre 7,51 mS/cm y 8,40 mS/cm. La densidad presentó valores cercanos a 1 g/mL. En los sólidos suspendidos totales fue mayor en las formulaciones T1, T4 y T6. La formulación T1 presentó menor cantidad de nitrógeno. El contenido de fósforo fue mayor en la formulación T3 (313,33 mg/L) y para el potasio la formulación T6 presentó menor contenido. El sodio fue mayor en las formulaciones T3 y T2 con valores de 364,60 mg/L y 347,06 mg/L y el magnesio presentó valores de 149,99 mg/L y 126,17 mg/L respectivamente. Las proporciones de cada residuo orgánico influyeron en el contenido de macronutrientes y micronutrientes del biofertilizante líquido. La formulación de un biol haciendo uso de una o más materias orgánicas son buena alternativa para la industria agroquímica para diseñar formulaciones aprovechando los residuos orgánicos.

Palabras clave: **formulación, biodigestión, anaeróbico.**

ABSTRACT

In the present work, the physicochemical characteristics, macronutrient and micronutrient content of a liquid biofertilizer made from organic waste were evaluated. Organic matter was used such as dry manure from cattle, guinea pigs and chickens, trout viscera and crop residues. Next, the organic waste was mixed at different concentrations of cattle manure – organic waste (30:70; 50:50 and 70:30) and microorganisms (1.0% and 1.5%). The mixture was subjected to an anaerobic digestion process at 37°C for 30 days. The results obtained showed significant differences ($p < 0.05$), the pH was acidic between 3.53 to 3.61. The electrical conductivity (EC) between 7.51 mS/cm and 8.40 mS/cm. The density presented values close to 1 g/mL. The total suspended solids were higher in the formulations T1, T4 and T6. Formulation T1 presented a lower amount of nitrogen. The phosphorus content was higher in the T3 formulation (313.33 mg/L) and for potassium, the T6 formulation had a lower content. Sodium was higher in the T3 and T2 formulations with values of 364.60 mg/L and 347.06 mg/L and magnesium presented values of 149.99 mg/L and 126.17 mg/L respectively. The proportions of each organic waste influenced the macronutrient and micronutrient content of the liquid biofertilizer. The formulation of a biol using one or more organic materials is a good alternative for the agrochemical industry to design formulations taking advantage of organic waste.

Keywords: **formulation, biodigestion, anaerobic.**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad para aumentar la productividad agrícola ha preponderado el uso indiscriminado de fertilizantes químicos (Areeshi, 2022). No obstante, estos fertilizantes químicos además de ser costosos están ocasionando daños al medio ambiente al reducir la capacidad de retención de agua en las tierras de cultivo y por tanto su fertilidad, aumentando su acidez y reduciendo el número de microorganismos lo que resulta en desequilibrios nutricionales en las tierras de cultivo y dan como resultado niveles inaceptables de contaminación de las aguas subterráneas afectando negativamente el suelo. (Allouzi et al., 2022; Nosheen et al., 2021).

El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2016) menciona que uno de los grandes problemas vinculados al recurso suelo es la degradación de este causado por la carencia de buenas prácticas agronómicas especialmente por el uso de agroquímicos que contribuyen al deterioro del ambiente y el agotamiento de los recursos agua, suelo, flora y fauna. Se evidencia que este es uno de los principales problemas del sector Agrario de la región Cajamarca y la provincia de Chota, junto con el inadecuado aprovechamiento de los residuos acuícolas, agroindustriales y agropecuarios como vísceras de trucha, cáscaras de frutas, tallos de verduras, residuos de cosecha, estiércol de vacuno, cuy y gallinas, que en su mayoría no son valorizados y aprovechados, estos en algunos casos suelen ser suministrados de manera directa hacia los cultivos y además son expuestos al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento ocasionando contaminación del lugar. De igual manera, otro de los grandes problemas es el desconocimiento de las características fisicoquímicas importantes para el crecimiento óptimo de las plantas como el pH, conductividad eléctrica, densidad y contenido de sólidos suspendidos totales, así mismo, el no dar importancia a la cuantificación

de nutrientes como el fósforo, nitrógeno, potasio, sodio y magnesio ya que son indispensables para el óptimo crecimiento de los cultivos.

Por otro lado, los biofertilizantes son económicos, ecológicos, no tóxicos y fáciles de aplicar; ayudan a mantener la composición del suelo y la biodiversidad de las tierras agrícolas. Por lo tanto, sirven como un sustituto importante de los fertilizantes químicos (Nosheen et al., 2021). Además, los biofertilizantes no solo aumentan la producción, los nutrientes y materia orgánica, sino que también neutralizan los impactos nocivos causados por los fertilizantes químicos debido a la combinación potencial de los microorganismos con los desechos orgánicos (Areeshi, 2022). Siendo el biol una alternativa viable y sostenible para reducir el impacto al medio ambiente que generan los residuos acuícolas, agroindustriales y agropecuarios, mediante el uso de biofertilizantes que aumenten o mantengan la producción agrícola en comparación con los fertilizantes químicos. Siendo así, existe interés en conocer la formulación ideal para la elaboración de un biofertilizante líquido a partir de residuos acuícolas, agroindustriales y agropecuarios con las características fisicoquímicas, macronutrientes y micronutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos, que ayuden a reducir el uso de fertilizantes químicos que degradan las tierras disminuyendo su humedad y productividad y exista un manejo sustentable que permita reducir costos económicos y ambientales. Por lo tanto, esta investigación se centrará en la evaluación de las características fisicoquímicas y la cuantificación de nutrientes, para así tener a disposición un biol con las particularidades y nutrientes esenciales que no afecten o dañen a los cultivos, así mismo generar una agricultura ecoamigable y sostenible.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto de la relación estiércol de vacuno – residuos orgánicos y la concentración de microorganismos en el contenido de micronutrientes, macronutrientes y características fisicoquímicas de un biofertilizante líquido (biol) elaborado a partir de residuos orgánicos en la provincia de Chota?

1.3 Justificación

En la provincia de Chota se producen una variedad de frutos, semillas, hortalizas, forrajes y otros; los cuales para aumentar su producción se utilizan fertilizantes químicos provocando desgaste de las tierras de cultivo (Allouzi et al., 2022). Por lo tanto, han surgido técnicas ecoamigables como el empleo de biofertilizantes que contienen macronutrientes y micronutrientes indispensables para el crecimiento de los cultivos sin alterar su rendimiento y mantener la calidad del alimento y el suelo (Nosheen et al., 2021).

Mediante esta investigación se pretende generar una economía circular a los pobladores de las comunidades que desechan diversos residuos, producidos de las actividades agrícolas, ganaderas y acuícolas generando que estas actividades sean sostenibles para el medio ambiente (Borah y Das, 2023).

Esta investigación analiza la importancia de formular mezclas en la elaboración de biol para explicar la formulación ideal para la elaboración de biofertilizante líquido a partir de residuos acuícolas, agroindustriales y agropecuarios con las características fisicoquímicas, macronutrientes y micronutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos. La utilidad de esta investigación radica en conocer el análisis de distintas formulaciones para la elaboración de un biol que permita mantener la calidad de las tierras de cultivo y reducir costos económicos y ambientales (Singh y Kumar, 2020) a partir de residuos (agrícolas, pecuarios y acuícolas) que no son utilizados en la provincia de Chota en la elaboración de biol. Esto con la finalidad de generar una agroindustria sostenible (Kour et al., 2020),

respecto a la importancia del aprovechamiento de estos residuos, resolviendo tres graves problemas que se presentan en la provincia de Chota y el país como son la poca productividad de los campos de cultivo por empleo de fertilizantes químicos, costos elevados de los fertilizantes sintéticos y la contaminación ambiental causada por los residuos.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

Evaluar las características fisicoquímicas, contenido de macronutrientes y micronutrientes de un biofertilizante líquido elaborado a partir de residuos orgánicos.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Elaborar un biofertilizante líquido (biol), a diferentes concentraciones de estiércol de vacuno – residuos orgánicos (30:70; 50:50 y 70:30) y microorganismos (1,0% y 1,5%).
- Evaluar las características fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y densidad), de un biofertilizante líquido (biol), a diferentes concentraciones estiércol de vacuno – residuos (30:70; 50:50 y 70:30); y de microorganismos (1,0% y 1,5%).
- Determinar el contenido de macronutrientes (N, P, K) de un biofertilizante líquido (biol), a diferentes concentraciones estiércol de vacuno – residuos (30:70; 50:50 y 70:30); y de microorganismos (1,0% y 1,5%).
- Determinar el contenido de micronutrientes (Na y Mg) de un biofertilizante líquido (biol), a diferentes concentraciones de agua – residuos (30:70; 50:50 y 70:30); y de microorganismos (1,0% y 1,5%).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Internacional

Alurralde et al. (2021) investigaron la caracterización física y química de un abono líquido obtenido del compostaje de los residuos olivícolas. El biofertilizante fue obtenido por medio de agitación/oxigenación durante 3 a 5 horas continuas a temperatura ambiente por un biorreactor cuya capacidad fue de 162 cm^3 para obtener 1000 litros de biol, en cuanto al producto final desde el punto de vista químico y físico estuvo dentro de los valores adecuados como es el contenido de micronutrientes y macronutrientes, pH en un rango de 7,4 a 8,8 y conductividad eléctrica adecuada. Considerando su utilización una práctica prometedora para prevenir la acumulación de los desechos de la industria y dar solución a los problemas asociados con suelos empobrecidos o prácticas agrícolas no sustentables, con el ello, generar condiciones más propicias e idóneas para el desarrollo eficiente de los cultivos.

Jara et al. (2021) elaboraron y caracterizaron bioles por medio de análisis fisicoquímicos, a escala de laboratorio, a partir de excretas de bovinos y residuos de leguminosas. Determinaron macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio y micronutrientes como Ca y Mg basándose en el procedimiento específico de ensayo para fertilizantes de acuerdo con métodos analíticos estandarizados, así mismo para el pH y conductividad eléctrica se basaron en extracto acuoso (peso/volumen) y la materia orgánica, por pérdida de peso por ignición a 430 °C durante 24 horas; utilizaron 24 kg de estiércol de vacuno y 4 kg de hojas de leguminosas (habas, frejol y arveja), que fueron sometidos a 10 biodigestores con una capacidad de 6 L; además sintetizaron que la composición del biol elaborado fue rico en nutrientes avalando su uso en la agricultura aprovechando residuos de origen agroalimentario.

Lakhal et al. (2020) evaluaron la calidad de la biotransformación de una mezcla ternaria de residuos industriales. Para ello, desarrollaron mezclas, sometiendo a una

biotransformación natural durante dos semanas, prepararon siete fórmulas (usando proporciones variables) basado en residuos de pescado, melaza y orujo de uva. Los parámetros de control de calidad (pH, conductividad, materia seca, fósforo, nitrógeno, potasio, etc.) fueron monitoreados durante la biotransformación. Los resultados indican que la biotransformación de una mezcla compuesta por 50 % de desechos de pescado, 12,5 % de melaza y 37,50 % de orujo de uva es una formulación óptima para generar un producto con los nutrimentos (nitrógeno, potasio y fósforo) fundamentales para el desarrollo óptimo de los cultivos, así mismo, el producto es más eficiente que los fertilizantes comerciales.

Nacional

Delgado (2018) elaboró y analizó abono orgánico a partir de vísceras de peces, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental, debido a no existir un tratamiento de los residuos generados por la acuicultura y aumentar la productividad de los campos de cultivo, restableciendo los minerales necesarios y humedad a la tierra. La metodología que utilizó fue experimental basado en la biodigestión, usando como materia principal a las vísceras de jurel y trucha arcoíris, la cual se llevó a cabo en un biodigestor también llamada cámara herméticamente cerrada en ausencia de oxígeno realizado con diferentes porcentajes de componentes. Así mismo, concluyó que la cantidad de 25 % de agua y 75 % de vísceras son idóneos para tener un abono orgánico con mayor cantidad de potasio, nitrógeno y fósforo, siendo una alternativa económica y rentable para sustituir el uso de abonos químicos.

Florez et al. (2020) elaboraron un fertilizante líquido, mediante fermentación láctica con un inóculo microbiano comercial Bio-Lac, cuya incubación duró 5 días a una temperatura de 40 °C, basándose en la combinación de (5%, 10% y 15%) de inóculo y (5%, 10%, 15% y 20%) de melaza. Para ello utilizaron subproductos como son las vísceras de trucha (corazón, estómago, intestino, sangre, hígado y gónadas). Así mismo, reportaron el contenido de fósforo, potasio y nitrógeno que fue de 1 189 mg/L, 5 540 mg/L y 12 040 mg/L,

respectivamente, también refieren que en comparación con otros fertilizantes orgánicos presenta similares contenidos en su composición. En cuanto al pH obtuvieron valores entre 3,4 a 3,91 y la conductividad eléctrica 24,2 dS/m que estos para su aplicación deben ser diluidos a pH cercanos a la neutralidad y bajar la conductividad para su aplicación.

Delgado et al. (2019) elaboraron un fertilizante a partir de vísceras de peces, evaluaron la relación entre el agua y las vísceras, las cantidades de levadura, temperatura y el pH, para que el proceso sea más eficiente en cuanto al contenido de: fósforo, nitrógeno y potasio. Para ello utilizaron biodigestores anaerobios, dosificaron proporciones vísceras-agua de 75-25; 65-35 y 50-50, cada uno con porcentajes de levadura de 0,6; 0,7 y 0,8%, azúcar y estiércol a razón del 3% y 3,5% del peso total de la mezcla. Luego de la fermentación anaeróbica de 90 días, evaluaron que la proporción 75-25 vísceras de jurel - agua, generan un fertilizante con la mayor cantidad de macronutrientes, así mismo afirman que los residuos agroindustriales pueden ser aprovechados para la producción de abonos evitando la contaminación ambiental y la degradación de las tierras, siendo una actividad rentable.

2.2 Bases Teórico – Científicas

2.2.1 Biofertilizantes

Allouzi et al. (2022) mencionan que los biofertilizantes son productos orgánicos elaborados a partir de materias primas baratas como desechos y subproductos con alto contenido de nutrientes, carbono y fuentes de nitrógeno, que se utilizan como sustratos o medio líquido para el desarrollo de los microorganismos que descomponen estos residuos, para finalmente obtener un biofertilizante sostenible, que aporta macronutrientes y micronutrientes como nitrógeno, fósforo, zinc u otros nutrientes que mejoran y facilitan el crecimiento de los cultivos y calidad del suelo.

Los biofertilizantes vienen a ser una alternativa favorable para aumentar la producción de los cultivos, mejorando los nutrientes de las tierras de cultivo indispensables

para el desarrollo de las plantas, sin dañar el medio ambiente generando una agricultura sostenible (Kour et al., 2020).

2.2.2 Macronutrientes y micronutrientes

Las plantas requieren estos elementos esenciales (macronutrientes y micronutrientes) para su crecimiento, multiplicación y desarrollo eficiente (De Bang et al., 2021). Estos elementos interactúan de manera directa y/o indirectamente en las reacciones metabólicas indispensables en las plantas (Romera et al., 2021).

4.2.2.1 Macronutrientes. De Bang et al. (2021) mencionan que los macronutrientes indispensables son N (nitrógeno), P (fósforo), K (potasio). Daniel et al. (2022) mencionan que las plantas para su buen desarrollo requieren cantidades significativas de N, P y K, siendo estos tres macronutrientes indispensables para el buen crecimiento de los cultivos. Para Cerna (2007) las funciones de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) importantes para el creciente eficiente de las plantas son:

4.2.2.1.1 Funciones del nitrógeno. Las funciones del nitrógeno son estimular la vegetación (hojas y yemas), constitución de la clorofila $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, producir proteínas de las células y aumentar los rendimientos en cosechas.

4.2.2.1.2 Funciones del fósforo. Las funciones del fósforo son regular la floración y facilitar la fecundación, desarrollar el sistema radicular en los cultivos (plantas), ayudar a la formación de los frutos y las semillas, activa la maduración, dar a las plantas mayor resistencia a enfermedades y dar mayor firmeza a los tallos en cereales.

4.2.2.1.3 Funciones del potasio. Las funciones del potasio son favorecer la disposición de las reservas orgánicas, aumenta la eficiencia de uso del agua, mejora la condición de raíces y granos, ayuda a las plantas a tolerar desecaciones precoces, interviene en la absorción y uso del nitrógeno, da mayor resistencia contra incidentes y enfermedades, facilita la conservación de tubérculos y raíces, prolonga el periodo de asimilación nutritiva,

favorece el eficiente uso del agua, acelera el flujo de productos asimilados y favoreciendo la fotosíntesis activando enzimas que impulsan la transferencia de energía para generar así el trifosfato de adenosina y así mismo impulsa la síntesis de proteínas, azúcares y almidón.

4.2.2.2 Micronutrientes. Para Romera et al. (2021) los micronutrientes son Zn (zinc), B (boro), Mo (molibdeno), Cl (cloro), Mn (manganeso), Cu (cobre), Ni (níquel) y Fe (hierro). Algunos metales como zinc, cobre, magnesio, níquel, considerados como micronutrientes indispensables en el desarrollo de las plantas (Carpanez et al., 2022). Las funciones de los micronutrientes indispensables en el desarrollo eficiente de los cultivos son:

Tabla 1

Funciones de los micronutrientes

Micronutrientes	**Funciones**
Magnesio	Es un elemento esencial constituyente de la clorofila que facilita la respiración.
Sodio	Es un micronutriente esencial, cumpliendo la función de conversión de piruvato a PEP durante la fotosíntesis, su deficiencia provoca clorosis y necrosis o problemas en la floración.
Calcio	Mejora el pH de las tierras de cultivo, proporciona resistencia a enfermedades y plagas, promoviendo la proliferación microbiana benéfica.
Azufre	Ayuda a la generación de los nódulos en las plantas.
Cobre	El Cobre es básico para la disminución de los nitratos.
Manganeso	Aumenta la disponibilidad de fósforo y Ca y agiliza la germinación.
Fierro	Es un catalizador que facilita en la formación de la clorofila y actúa como fuente de transporte de oxígeno.
Boro	Estimula la generación del polen.
Zinc	Es esencial para el desarrollo de tallos y soporte de las hojas.

Nota. Datos tomados de (Cerna, 2007) y (Lastra, s.f.).

2.2.3 Biofertilizantes líquidos

Los biofertilizantes líquidos son generados a partir de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos provenientes de plantas y animales (residuos de alimentos o estiércol), es una mezcla compuesta por biomasa microbiana, residuos orgánicos semidegradada y compuestos inorgánicos. Esta digestión o degradación de los residuos se puede llevar a cabo en biodigestores en depósitos herméticamente cerrados. (Sharma et al., 2023)

Díaz et al. (2022) mencionan que los biofertilizantes líquidos o también llamados abonos foliares orgánicos contribuyen con nutrientes al suelo y las plantas, beneficiando la fertilidad, así mismo controlan enfermedades causadas por patógenos de las tierras de cultivo; priorizando un efecto positivo sobre la preservación de las tierras de cultivo y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes por parte de los cultivos, generando así una agricultura sostenible.

En nuestros días los fertilizantes líquido orgánico son empleados para controlar enfermedades y plagas que se presentan en las plantas sin considerarse como plaguicidas, por la gran variedad de microorganismos benéficos que componen este producto, los cuales están relacionados con el desarrollo de la capacidad biológica de las tierras de cultivo, facilitando la destrucción del número de patógenos que causan enfermedades a las plantas. (Gonzáles et al., 2021)

2.2.4 Caracterización fisicoquímica

Quiñones et al. (2016) mencionan que para determinar la calidad de un biofertilizante líquido es importante realizar mediciones como el pH, conductividad eléctrica, densidad y contenido de sólidos totales. Así mismo se debe considerar realizar una caracterización de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Na y Mg).

4.2.2.1 pH. Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiadas (CEUTA, 2006) menciona que el pH indispensable para un biol es cercano al neutro, entre 6,5 y 8, debido a que este rango de pH mantiene una relación para equilibrar H+ y OH- disueltos.

4.2.2.2 Conductividad eléctrica (CE). Para Solís et al. (2017) mencionan que es la capacidad de transmisión de la corriente eléctrica en el agua, indica la concentración total de sales en una solución, se expresa en miliSiemens/cm (mS/cm).

4.2.2.3 Densidad. Para Perez (2020) en biofertilizantes líquidos la densidad es la relación de la masa entre volumen, denotadas con las unidades gramos/mililitro. La densidad se define como el cociente entre la masa y volumen, representada por las unidades g/mL o kg/m^3 o, a determinadas condiciones de temperaturas.

En lo referente a abonado la densidad es importante para calcular la cantidad de sustancias y deducir la cantidad de fertilizante en litros necesarios para satisfacer las necesidades nutrimentales de las plantas. Se calcula empleando un densímetro con escala de 1 a 2 g/ml, y se realiza durante la planificación del fertilizante líquido a escala piloto, el resultado obtenido es utilizado como un parámetro de calidad durante la elaboración de un biol o fertilizante líquido. (Perez, 2020)

4.2.2.4 Sólidos totales. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2007) menciona que los sólidos totales comprenden todos los materiales suspendidos y disueltos contenidas en los materiales líquidos. Los sólidos totales vienen a ser la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a temperaturas entre 103 °C a 105 °C. El valor de los sólidos totales abarca el material disuelto (sólidos disueltos totales: cantidad o porción del líquido que pasa a través del filtro) y materiales suspendidos (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro) y se expresa en mg/L.

2.2.5 Principales componentes del biol

Los componentes principales de un biol son el fósforo (P) 4 %, potasio (K) 3 % y nitrógeno (N) 1 %; El porcentaje de cada uno de estos varia con la calidad y cantidad de materia orgánica o los materiales empleados en su elaboración (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2015).

2.2.6 Bioconversión por microorganismos

Los microorganismos son un medio notable en la bioconversión de residuos y la fermentación microbiana es una actividad importante realizada por microorganismos para mejorar la biomasa mediante bioconversión. La fermentación puede ser tradicional, biomasa o fermentación de precisión; siendo la más empleada la tradicional, que utiliza bacterias aeróbicas, anaeróbicas o facultativas, hongos, micelio o microalgas, es ecológica, confiable, rápida y a menudo, económica. (Venugopal., 2022)

4.2.6.1 Digestión aeróbica. Es un proceso de degradación que se da en condiciones en las que haya fuente de O2 (oxigeno) por acción de microorganismos que producen dióxido de carbono, agua y otros compuestos; el oxígeno inhibe la proliferación y el metabolismo de organismos anaeróbicos (Fu et al., 2023)

4.2.6.2 Digestión anaeróbica. Para Fu., et al. (2023) este es un proceso o fenómeno natural que ocurre en un medio libre de O2 (oxígeno), como sedimentos y humedales, o en ambientes anaeróbicos artificiales como digestores. Es realizado por microorganismos que convierten la materia orgánica (desechos agrícolas, desechos alimentarios, etc.) para producir productos por medio de cuatro fases la hidrólisis, acidogénesis, actetogénesis y metanogénesis (Yaashikaa et al., 2022).

2.2.7 Fases de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica comprende las siguientes frases.

4.2.7.1 Hidrólisis. Curletto et al. (2023) refieren que las bacterias hidrolíticas transforman compuestos orgánicos complejos del sustrato (carbohidratos, grasas y proteínas) en compuestos más simples y solubles (monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, glicerol)

La hidrolisis es la primera etapa que se da en el proceso de digestión anaerobia, es la fase limitante de la velocidad, generalmente, ocurre a temperaturas entre 30 °C a 50 °C y a un rango de pH de entre 5 a 7. El pH, la temperatura, la naturaleza del sustrato, la carga orgánica y el tamaño de las partículas tienen un impacto directo en este proceso. Las bacterias acidogénicas utilizan enzimas para hidrolizar sustratos de elevado peso molecular solubles en agua, como proteínas, lípidos y carbohidratos; transformándolos en monómeros. (Sharma et al., 2023)

4.2.7.2 Acidogénesis. Las bacterias acidogénicas descomponen compuestos orgánicos simples en ácidos grasos volátiles y CO_2 (dióxido de carbono) (Curletto et al., 2023).

Sharma et al. (2023) refieren que los monómeros provenientes de la hidrolisis son absorbidos por diferentes bacterias o microorganismos anaeróbicos, se degeneran en ácidos grasos volátiles como butirato, acetato, propionato, isobutirato y valerato a través de la reacción catalizada por bacterias acidogénicas. El CO2, H2 S y NH3 son subproductos del proceso de acidogénesis. Las bacterias facultativas anaeróbicas utilizan oxígeno y carbono para crear un ambiente anaeróbico durante el proceso de acidificación.

4.2.7.3 Acetogénesis. Curletto et al. (2023) mencionan que las bacterias acetogénicas transforman los ácidos grasos volátiles en H_2 (hidrógeno), CH_3COOH (ácido acético) y CO_2 (dióxido de carbono).

Los productos provenientes de la etapa acidogénica sirven como sustratos para los demás microorganismos. Los acetógenos utilizan los productos finales de otros procesos bioquímicos, como la fermentación o la hidrólisis, como sustrato en el transcurso esta fase. El hidrógeno, los alcoholes y los ácidos grasos volátiles se encuentran entre estos productos

finales. En la acetogénesis, el CO_2 (dióxido de carbono) o el CO (monóxido de carbono) se reducen utilizando hidrógeno (H2) o formiato como donantes de electrones. Para estas conversiones, los acetógenos utilizan enzimas como la monóxido de carbono deshidrogenasa y la acetil-CoA sintasa. En esta fase se producirán moléculas de acetato que se utilizarán en el proceso de metanogénesis. La liberación de hidrógeno inhibirá la actividad del microorganismo. Como resultado, existe una relación sintrófica entre los metanógenos hidrogenotróficos y las bacterias acetogénicas. Además, durante la reducción del acetato, la acetogénesis puede producir un 70 % de metano y un 11 % de hidrógeno. (Sharma et al., 2023)

4.2.7.4 Metanogénesis. Es la fase limitante en la digestión anaerobia de sustratos de fácil degradación. La velocidad de incremento del número de estos microorganismos resulta en la acumulación de ácidos grasos volátiles y en consecuencia la impedir el desarrollo de actividad metanogénica de organismos. En esta fase la producción de CO_2 (dióxido de carbono) y CH_4 (metano) a partir de los sustratos se lleva a cabo por bacterias metanogénicas bajo condiciones anaeróbicas rigurosas y es la reacción bioquímica más lenta del proceso. Las bacterias metanogénicas utilizan acetato, H2 y CO2 en este paso para que se produzca la generación de gas metano. El proceso involucra dos vías, la metanogénesis acetoclástica y la metanogénesis hidrogenotrófica. Los metanógenos hidrogenotróficos son fundamentales para mantener el hidrógeno a una presión parcial de menos de 10 Pa para que las acetogeninas y los metanógenos acetoclásticos puedan mantener su actividad metabólica. (Sharma et al., 2023)

2.2.8 Microorganismos

Para Raimi et al. (2021) los biofertilizantes son formulaciones biológicamente activas que comprenden microorganismos vivos beneficiosos, que cuando se aplican al suelo restauran y preservan la riqueza de nutrientes de este, la planta y la semilla mejorando el

crecimiento y desarrollo de esta. Los grupos de microbios más utilizados para la producción de sustratos en la elaboración de biofertilizantes son los hongos micorrízicos arbusculares, las rizobacterias impulzoras del desarrollo de las plantas y los rizobios fijadores de nitrógeno. Los géneros *Pseudomonas, Gigaspora*, *Glomus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bradyrhizobium, Bacillus* y *Rhizobium*.

Los biofertilizantes basados en la digestión anaeróbica contienen una gran combinación microbiana junto con diferentes composiciones de nutrimentos que son importantes para la productividad del suelo. Especies de bacterias y hongos como *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Penicillum*, *Shigella*, *Bacillus*, *Bacteriodes* y *Aspergillus* se encuentran en los biofertilizantes. Por ejemplo, *Klebsiella* y *Clostridium spp*. son la comunidad bacteriana de vida libre responsable de la fijación de nitrógeno, mientras que *Bacillus* y *Pseudomonas spp*. se conocen como solubilizadores de fosfato (Areeshi, 2022).

2.2.8.1 Microorganismos Eficientes (ME)

Morocho y Leiva (2019) mencionan que los microorganismos eficicaces (ME) o Efficient Microorganism son formulaciones líquidas que coexisten en un pH cercano a 3,5, contienen una gran diversidad de microorganismos entre la cual contiene principalmente bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas)*, levaduras (*Saccharomyces*) y bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus)*, con capacidad fermentativa, que se usan en la reducción de malos olores en el manejo de residuos orgánicos. Desde el punto de vista fisiológico estos aumentan la capacidad de la fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes en los cultivos, además mejoran y reducen el tiempo de digestión aeróbica y anaeróbica en la producción de abonos orgánicos. La inoculación de los ME realiza en condiciones de anaerobiosis y a un pH cercanos al neutro de 6 a 8 y con temperaturas entre 15 y 45 °C.

2.2.9 Biodigestor

Según Curletto et al. (2023) el biodigestor es un tanque en el que se inserta materia orgánica a descomponer. Con procesos húmedos, para que la degradación se produzca en condiciones anaeróbicas eficientemente, se introduce continuamente una cantidad de H_2O (agua) calibrada al porcentaje de sustrato, para que la degradación se produzca a un 100 % en el medio líquido. Seleccionando adecuadamente las poblaciones bacterianas que realizan esta descomposición, para producir digestato y una mezcla compuesta fundamentalmente por dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4).

La complejidad como los materiales que se emplean en el diseño y elaboración de los biodigestores son relativamente costosos, pero el biodigestor anaeróbico se puede construir a partir de materiales de bajo costo como latas, tanques de concreto o plástico, con volumen variable según la capacidad de producción, y se puede operar de manera discontinua o continua. (Nuhu et al., 2021)

Figura 1

Biodigestor

Nota. La figura muestra el recipiente en el que se puede realizar la digestión anaeróbica, este puede ser de diferentes formas, materiales y capacidad, además, es un sistema hermético que favorece la digestión anaeróbica. Fuente: Restrepo (2007).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Macronutrientes

De Bang et al. (2021) refieren que los macronutrientes fundamentales para el buen crecimiento de las plantas son el potasio, nitrógeno y fósforo. Estos elementos son importantes en las plantas para sintetizar sus compuestos que la constituyen y para sus reacciones metabólicas indispensables (Romera et al., 2021).

2.3.2 Micronutrientes

Para Romera et al. (2021) los micronutrientes de importancia para el desarrollo de los cultivos son Zn (zinc), B (boro), Mo (molibdeno), Cl (cloro), Mn (manganeso), Cu (cobre), Ni (níquel) y Fe (hierro).

2.3.3 Análisis fisicoquímico

Quiñones et al. (2016) mencionan que es importante realizar un análisis fisicoquímico para determinar la calidad de un biofertilizante líquido como es el pH, conductividad eléctrica, densidad y contenido de sólidos totales.

2.3.4 Biol

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2008) menciona que un biofertilizante líquido es un abono orgánico líquido, obtenido por la descomposición de los residuos animales y vegetales como estiércol, restos de cosecha, tallos y otros residuos orgánicos, en ausencia de oxígeno. Este contiene nutrimentos de fácil absorción para las plantas haciéndolas más resistentes y fuertes.

2.3.5 Residuos orgánicos

INIA (s.f.) los residuos orgánicos son materiales que se pueden descomponer por medio de la digestión anaeróbica, estos pueden ser de origen animal (estiércol) y vegetal (tallos, hojas y otros).

2.3.6 Digestión anaeróbica

Gonzáles et al. (2022) refiere que la digestión anaeróbica es un proceso biológico desarrollado en ausencia de oxígeno (biodigestor) en el que un grupo específico de bacterias descompone la materia orgánica en CH_4 (metano), CO_2 (dióxido de carbono), una mezcla rica en macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (Zn, B, Mo, Cl, Mn, Cu, Ni y Fe), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3).

2.3.7 Metanogénesis

Este fenómeno involucra dos familias bacterianas, las bacterias acetoclásticas que degradan el CH_3COOH (ácido acético) en CH_4 (metano) y CO_2 (dióxido de carbono), las bacterias hidrogenotróficas que realizan la oxidación anaeróbica de hidrógeno y carbono redox a partir de dióxido de carbono, lo que resulta en la formación de metano y agua. (Curletto et al., 2023)

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis nula

La relación estiércol de vacuno-residuos (vísceras de trucha, residuos de cosecha, estiércol de gallina y estiércol de cuy) y la concentración de microorganismos no influyen en el contenido de micronutrientes, macronutrientes y características fisicoquímicas en la formulación de un biofertilizante líquido (biol) elaborado a partir de residuos orgánicos.

2.4.2 Hipótesis alterna

La relación estiércol de vacuno-residuos (vísceras de trucha, residuos de cosecha, estiércol de gallina y estiércol de cuy) y la concentración de microorganismos influyen en el contenido de micronutrientes, macronutrientes y características fisicoquímicas en la formulación de un biofertilizante líquido (biol) elaborado a partir de residuos orgánicos.

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Independientes	Concentración estiércol de vacuno/residuos orgánicos	Concentración estiércol de vacuno/residuos orgánicos	%	Balanza analítica
	Concentración de microorganismos	Concentración de microorganismos	%	Balanza analítica
Dependientes	Características fisicoquímicas	Análisis Fisicoquímicos	pH	Potenciómetro
			conductividad eléctrica	Medidor conduc.
			sólidos suspendidos totales	Balanza analítica
			densidad	Picnómetro
	Contenido de macronutrientes	Cuantificación de Macronutrientes	Nitrógeno (mg/L)	LAQUAtwin
			Potasio (mg/L)	LAQUAtwin
			Fósforo (mg/L)	HANNA Checker
	Contenido de micronutrientes	Cuantificación de Micronutrientes	Mg (mg/L)	Espectofotómetro
			Na(mg/L)	

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada y el nivel de investigación fue experimental, porque se manipularon las variables independientes (relación: estiércol de vacuno – residuos, y concentración de microorganismos) para obtener la mejor formulación de biofertilizante (biol) y evaluar el contenido de macronutrientes, micronutrientes y características fisicoquímicas.

3.2 Diseño de investigación

En la presente investigación se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un diseño factorial de dos factores (Factor A y B). El Factor A (formulación estiércol de vacuno - residuos) con tres niveles (30-70%, 50-50%, 70-30%), el factor B es la concentración de microorganismos en dos niveles (1% y 1,5%), con sus respectivas réplicas.

Tabla 3

Diseño de la investigación

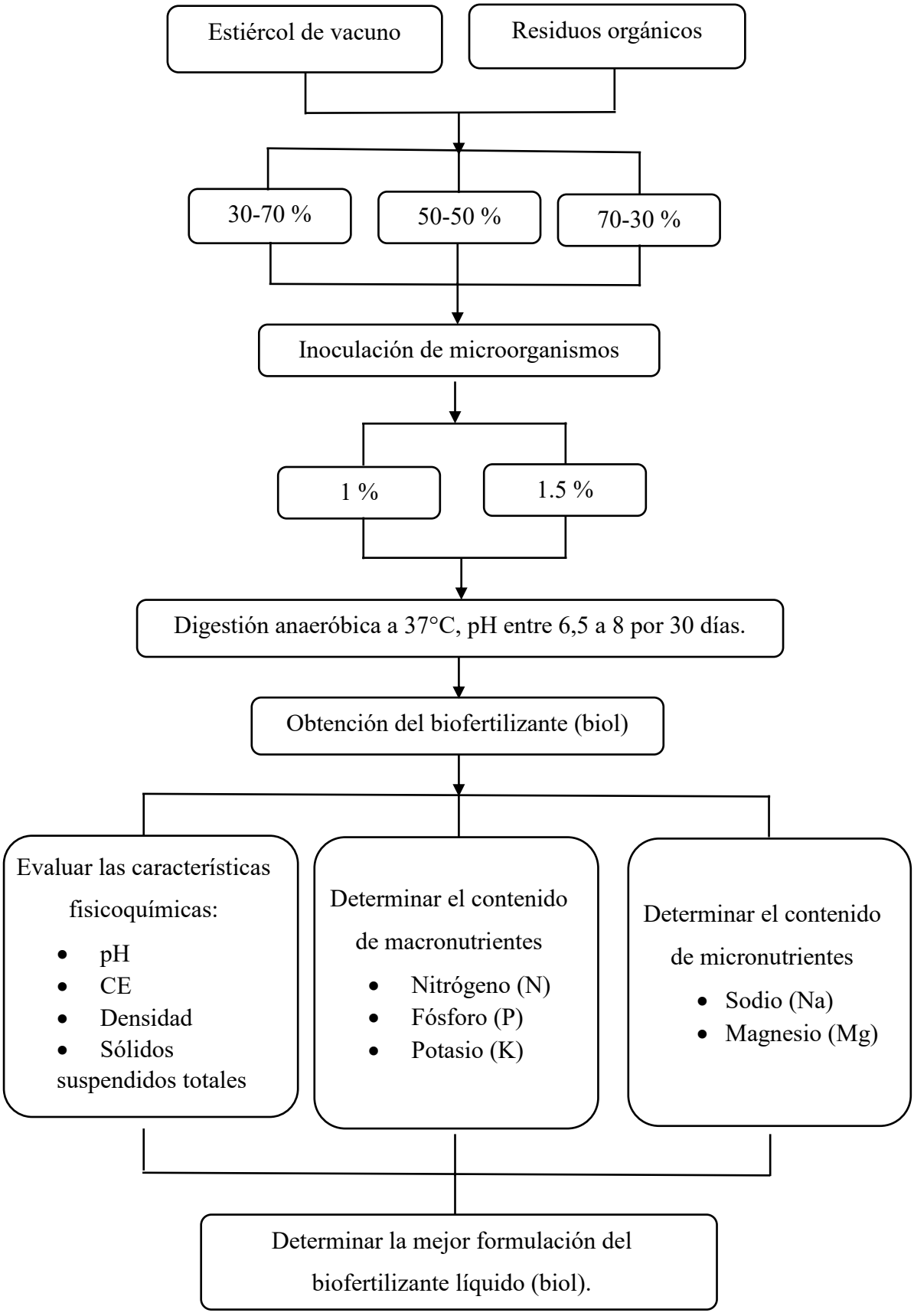
Formulación	Estiércol de vacuno – Residuos %	% microorganismos
T_1	30-70	1
T_2	50-50	1
T_3	70-30	1
T_4	30-70	1,5
T_5	50-50	1,5
T_6	70-30	1,5

5.2.1 Esquema experimental

El esquema experimental fue el siguiente:

Figura 2

Esquema experimental



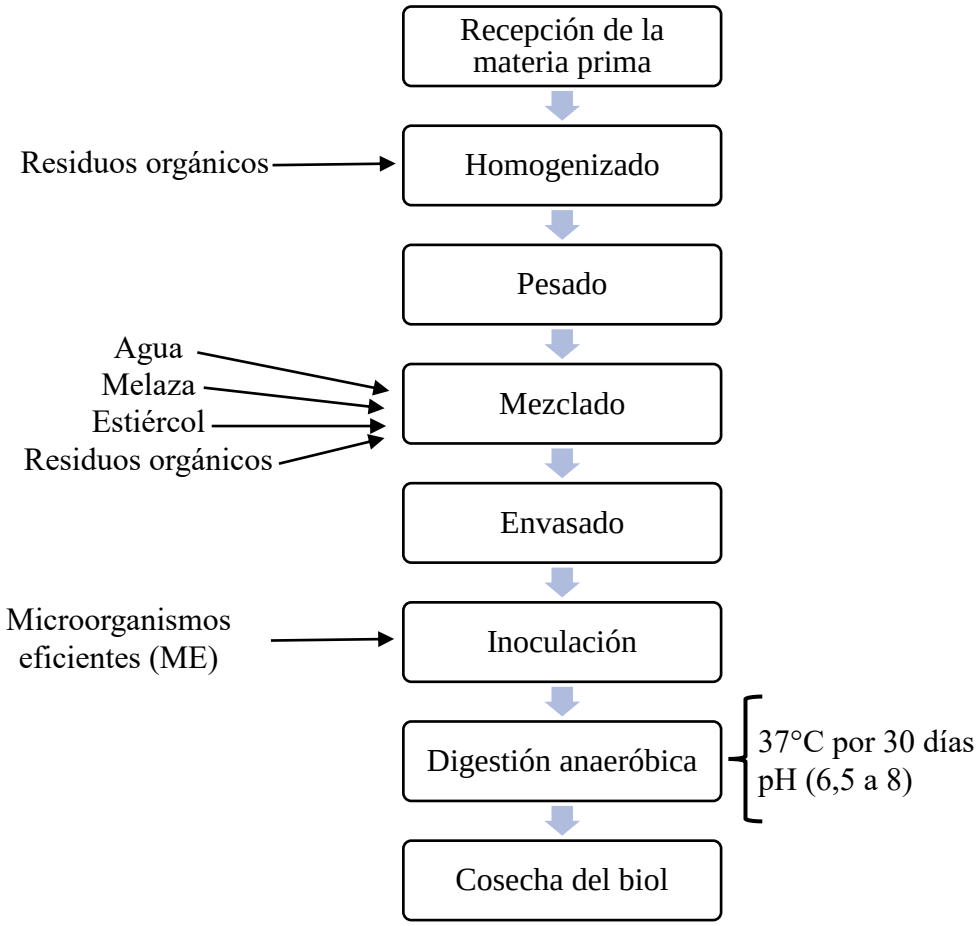
3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Elaboración de biol

Gil et al. (2023) refieren que el biofertilizante líquido (biol) es un abono foliar que se elabora de mediante la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) a partir de residuos orgánicos provenientes de animales (excremento) y vegetales (residuos de cosecha). Para la elaboración del biol se utilizó la secuencia del flujo de operaciones (Figura 2) de la siguiente manera:

Figura 3

Diagrama de flujo de elaboración de biofertilizante (biol)



Nota. La figura muestra el diagrama de flujo de elaboración de biofertilizante (biol), desde la recepción de la materia prima hasta la cosecha del biofertilizante líquido. Datos tomados de (INIA, s.f.; Restrepo, 2007).

3.3.1.1 Recepción de la materia prima. En esta primera etapa se recolectaron los residuos orgánicos (estiércol de vacuno, gallinas, cuy, gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha) y otros materiales para el desarrollo de las demás operaciones (Restrepo, 2007).

3.3.1.2 Homogenizado. Se redujo el tamaño los residuos orgánicos, para ello se utilizó un molino manual, hasta uniformizarlos con la finalidad de facilitar su descomposición y sea más rápida la descomposición (Restrepo, 2007).

3.3.1.3 Pesado. El pesado se realizó en una balanza de precisión, esto con la finalidad de agregar las concentraciones exactas de agua, microorganismos, materia orgánica y melaza, según la formulación (Restrepo, 2007).

Para determinar la cantidad adecuada de adición de los diferentes tipos de residuos orgánicos (estiércol de vacuno, cuy, gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha) y agua para adicionar al biodigestor con capacidad de 3600 g de sustrato, se realizaron pruebas preliminares. En el cual, inicialmente se incorporó los residuos orgánicos en diferentes proporciones en base a 70 % de agua y 30 % de residuos orgánicos, como se muestra en el anexo A, lo cual no fue favorable ya que la mezcla obtenida era demasiada pastosa no propicia para la elaboración de un biofertilizante líquido. Posteriormente, se realizó una verificación visual de las formulaciones en base a ello, se determinó usar el 85 % de agua y 15 % de residuos orgánicos, para incorporación de los residuos orgánicos al biodigestor, como se muestra en la Tabla 4, esta mezcla fue la ideal ya que era propia o característica para elaborar el biofertilizante líquido.

Tabla 4

Cantidades en base a 85% de agua y 15% de residuos orgánicos

Formulación		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Estiércol de vacuno (30%)	Estiércol de vacuno (g)	162	270	378	162	270	378
	Vísceras de trucha (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5
Residuos orgánicos (70%)	Residuos de cosecha (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5
	Estiércol de gallina (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5
	Estiércol de cuy (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5

Nota. La cantidad de agua destilada que se utilizó fue de 3060 g, melaza al 5 % fue de 180 g y microorganismos al 1 % (36 g) y al 1.5 % (54 g), según formulación respectivamente, además, la tabla muestra las cantidades en gramos de los residuos que se adicionaron a cada formulación. Así mismo, los diferentes tipos de estiércol se usaron en estado seco, las vísceras de trucha y los residuos de cosecha en su estado natural de recolección, al estar el estiércol en estado seco al momento del mezclado la absorción de agua aumenta, por lo que se realizaron las pruebas preliminares para determinar la adición exacta de cada una de concentraciones de los diferentes residuos.

3.3.1.4 Mezclado. Se mezcló homogéneamente el agua, melaza, estiércol y los residuos orgánicos (INIA, s.f.).

3.3.1.5 Envasado. La premezcla obtenida en la operación anterior se agregó en los biodigestores (Restrepo, 2007), como se muestra en la Figura 4, previamente rotulados que fueron elaborados con galones de 4 L.

Figura 4

Biodigestor empleado

3.3.1.6 Inoculación. En la inoculación se empleó un inoculante biológico comercial (microorganismos eficaces) que contenía levaduras (*Saccharomyces spp*), bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas spp*) y bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus spp*), que fueron los encargados de degradar el material orgánico mediante la digestión anaeróbica (Restrepo, 2007).

3.3.1.7 Digestión anaeróbica. Seguidamente se procedió a tapar el biodigestor de manera hermética para que no exista fugas (Restrepo, 2007). La digestión anaeróbica se realizó a una temperatura promedio de 37,01 °C ± 1.57 °C (en ausencia de oxígeno), La lectura promedio de pH y conductividad eléctrica (CE) de la mezcla en día 0, fueron 6, 79 ± 0,02 y 12,53 ± 0,01 respectivamente, estas se muestran a detalle en el Anexo B. El tiempo de duración de la digestión anaeróbica para obtener el producto final (biol) fue de 30 días (CEUTA, 2006).

Para que se desarrolle de manera efectiva la digestión anaeróbica se elaboró una incubadora con la final mantener la temperatura a 37 °C (Ver Figura 5). Durante el proceso de digestión anaeróbica se registró la temperatura cada 5 días de la incubadora, esto se realizó con el objetivo de que las temperaturas se mantengan constantes. En el Anexo C, se muestra la evolución de la temperatura cada 5 días en los 30 días de evaluación.

Figura 5

Incubadora utilizada

3.3.1.8 Cosecha de biol. La cosecha del biol se realizó cuando el agua del sistema del biodigestor cambió de color y no presentó burbujeo en ella (burbujas saliendo por la manguera del biodigestor), indicando que ya ha finalizado la fermentación y terminó de producir los gases resultantes de la degradación del biol (Restrepo, 2007). Al ser un biofertilizante líquido, el preparado obtenido se procedió a filtrar para eliminar agentes extraños adheridos al líquido (INIA, s.f.)

3.3.2 Análisis fisicoquímicos

3.3.2.1 pH y conductividad eléctrica (CE). Se determinó por potenciometría, el procedimiento fue el siguiente: Se encendió el potenciómetro y retiró el protector de membrana del electrodo; se calibró el potenciómetro. Se preparó la muestra, para ello se tomó 20 mL de biol en un vaso, de tal manera que cubrió la membrana del potenciómetro. Finalmente se esperó hasta que se estabilice el indicador del pH y CE, seguidamnete se registraron los valores, este procedimiento se realizaron para todas las muestras de biol. (Gil et al., 2023)

3.3.2.2 Densidad. Se determinó por el método del picnómetro, el procedimiento se muestra a continuación: Se pesó el picnómetro vacío en una balanza analítica y se registró su masa (m_p); se llenó completamente el picnómetro, evitando la formación o acumulación de

burbujas en su interior, con el fluido de referencia (agua) y se anotó su masa (m_{p+w}). Al cerrarlo, el nivel del agua subió por el capilar y este rebosó, quedando el capilar lleno de agua; una vez que el agua rebosó, se limpió los restos de agua adheridos a las paredes externas del picnómetro antes de pesarlo. Se llenó el picnómetro con la muestra de biol y se anotó su masa (m_{p+d}). Se realizó el mismo procedimiento para todas las muestras de biol. (Atarés, s.f.)

Para el cálculo se emplearon las siguientes fórmulas (Atarés, s.f.):

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_p}$$

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{V_p}$$

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} = \frac{m_w}{V_w}$$

$$V_p = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{m_{p+w} - m_p}{\rho_w}$$

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_w$$

Para ver a detalle el cálculo de la densidad de cada formulación ver Anexo D.

3.3.2.3 Obtención de sólidos suspendidos totales. El procedimiento que se realizó fue: Se verificó que el material este limpio. Se adhirió un filtro prepesado en el embudo Buchner y se ajustó firmemente hacia un Matraz Kitasato. Se homogenizó la muestra de biol. Se llenó una jeringa con 5 mL de muestra de biol. Se vertió la muestra hacia un Matraz Kitasato y se encendió la bomba de vacío. Los restos de sólidos adherido a las paredes de la jeringa se lavaron con agua destilada hacia el filtro nuevamente. Se retiró cuidadosamente el filtro hacia una placa de Petri. Se introdujo el filtro y la placa de Petri a una estufa a 105 °C por 1 h para la evaporación total del agua. Se dejó enfriar las muestras en un desecador

durante una hora y se pesó en una balanza analítica (se manipularon las muestras con una pinza), este procedimiento se realizó a todas las muestras de biol. (Carpio, 2007)

Para la obtención de los sólidos suspendidos totales se empleó la siguiente fórmula (Carpio, 2007):

$$\mathrm{SST} = \frac{(\mathrm{A} - \mathrm{B}) * 1000}{\mathrm{V}}$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

A: Peso final del filtro con el residuo seco, en gramos.

B: Peso inicial del filtro (tara) en gramos.

V: Volumen total de la muestra, en litros.

Para ver a detalle el cálculo de los sólidos suspendidos totales de cada formulación ver Anexo E.

3.3.3 Cuantificación de macronutrientes

3.3.3.1 Nitrógeno y Potasio. Para medir el nitrógeno y potasio se empleó espectofotometría automatizada usando un medidor LAQUAtwin NO3+ y LAQUAtwin K+ respectivamente; el procedimiento fue el siguiente: Se calibró el LAQUAtwin con la solución de 2000 ppm, para ello se cubrió el sensor con la solución y se cerró la tapa. Cuando la calibración estuvo completa apareció una retroiluminación y el icono “MEAS” en la pantalla. Se vació el sensor y se enjuagó con agua destilada. Se colocó una cantidad de la muestra de biol de tal manera que cubra el sensor, se esperó hasta que se estabilice el valor y se registró el dato. (HORIBA Advanced Techno, 2017)

3.3.3.2 Fósforo. Para medir el fósforo se empleó colorimetría automatizada por medio de un verificador HANNA checker Phosphorus HR. El procedimiento que se realizó se muestra a continuación: Se presionó el botón ENCENDIDO/APAGADO para encender el

verificador. Todos los segmentos se mostraron durante unos segundos, seguidos de “Add”, “C1” con “Press” parpadeando. Seguidamente se llenó la cubeta con 10 ml del biol o muestra y se volvió a colocar la tapa. Se insertó la cubeta en el comprobador y se cerró la tapa; se presionó el botón ENCENDIDO/APAGADO. Cuando la pantalla muestra "Add", "C2" con "Press" parpadeando, el verificador se pone a cero; se retiró la cubeta junto con la tapa. Se agregó 10 gotas de reactivo Fósforo Rango Alto HI706AS junto con el reactivo Fósforo Rango Alto HI706B-0. Se volvió a colocar la tapa y agitar suavemente hasta que el reactivo se disuelva por completo. Se insertó la cubeta en el verificador y se cerró la tapa. Se mantuvo presionado el botón de ENCENDIDO/APAGADO; la pantalla indicó la cuenta regresiva previa a la medición, alternativamente, se esperó 5 minutos y se presionó el botón. Cuando finalizó el cronómetro, el verificador mostró la lectura. El instrumento indicó la concentración de fósforo en mg/L (ppm). Se realizó el mismo procedimiento para todas las muestras de biol y seguidamente se realizaron los cálculos correspondientes según la dilución 1-20 para las formulaciones (T1, T2, T3, T4 y T5) y dilución 1 – 50 para la formulación (T6), el cálculo se muestra a detalle en el Anexo F. (HANNA instruments, s.f.)

3.3.4 Cuantificación de micronutrientes

3.3.4.1 Absorción atómica-Llama. Para cuantificar los micronutrientes Sodio (Na) y Magnesio (Mg) se empleó absorción atómica – Llama que en este caso lo realizó el Laboratorio de ensayo e investigación SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. para más información se detalla en el Anexo H; la descripción del procedimiento es: La muestra en este caso biol fue previamente digestada (tratamiento con ácidos fuertes para evitar interferencia que pueda obstruir en el equipo la lectura del elemento. Se toman 100 mL de la muestra y se agregan 5 mL de ácido hasta evaporar 50 mL y se aforó o llenó a 100 mL con agua destilada (muestra lista para leer en el equipo). Pasado un tiempo se obtienen los

datos en partes por millón, este procedimiento se realizó para todas las muestras. (Gallegos et al., 2012)

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1 Población

Los residuos orgánicos (estiércol de vacuno, cuy, gallinas y vísceras de trucha) fueron recolectados por separado cada uno de ellos, procedentes del distrito de Bambamarca, provincia Hualgayoc, región Cajamarca.

3.4.2 Muestra

La muestra utilizada fue de 10 kg de estiércol de ganado vacuno, cuy, gallinas y vísceras de trucha y residuos de cosecha. En el pesado de cada uno de los residuos orgánicos, se tomó la cantidad respectiva dependiendo a la formulación por realizar.

3.4.3 Muestreo

Se utilizó un muestreo no probabilístico al azar por conveniencia, por lo que para cada formulación de biol, se tomó la cantidad respectiva aleatoriamente de cada tipo de residuo orgánico.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 5

Técnicas e instrumentos para recolección de datos

Variables	Técnica	Instrumento
Análisis fisicoquímico: • pH • Conductividad eléctrica • Sólidos suspendidos totales • Densidad	Análisis de contenido	Cuaderno de registro
Determinar el contenido de macronutrientes • Nitrógeno (N)	Análisis de contenido	Cuaderno de registro

• Fósforo (P) • Potasio (K) Determinar el contenido de micronutrientes • Sodio (Na) • Magnesio (Mg)	Análisis de contenido	Cuaderno de registro

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En el procesamiento de datos se analizaron los resultados de los análisis fisicoquímicos y contenido de macronutrientes y micronutrientes mediante un análisis de varianza ANOVA para determinar si existe diferencias significativas entre las formulaciones. Además, se utilizaron los softwares Microsoft EXCEL y MINITAB.

3.7 Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación se realizó conforme a los principios éticos asegurando el avance del conocimiento y entendimiento de este, para el progreso de la sociedad, así mismo, cumple con la autenticidad, respeto a las personas y a la propiedad intelectual, además del compromiso, responsabilidad social por el beneficio del público en general, así mismo garantiza que los resultados son creíbles respetando el método científico.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de resultados

Las tablas y gráficas de los resultados se realizaron en base a las medias obtenidas de la evaluación fisicoquímica (pH, CE, densidad y sólidos suspendidos totales) y contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y micronutrientes (sodio y magnesio), además, en base al análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) y la Prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% (ver Anexo G).

4.1.1 Análisis fisicoquímico (pH, CE, Densidad y Sólidos suspendidos) de biofertilizante líquido (biol)obtenido a partir de residuos orgánicos

En general el biol presentó un color marrón claro, con olor agradable y consistencia líquida. En la Tabla 6 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y densidad) de las diferentes formulaciones de biol.

Tabla 6

Análisis fisicoquímicos de las muestras de los biofertilizantes líquidos obtenidos

F	N	pH	CE mS/cm	Densidad g/mL	Sólidos suspendidos totales mg/L
T_1	3	3,61 ± 0,03 a	7,88 ± 0,03 b	1,01673 ± 0,00015 b	3140,0 ± 20,0 c
T_2	3	3,61 ± 0,00 a	8,40 ± 0,01 a	1,01533 ± 0,00006 d	1826,67 ± 11.55 d
T_3	3	3,59 ± 0,00 ab	7,84 ± 0,02 b	1,01617 ± 0,00006 c	1760,0 ± 20,0 e
T_4	3	3,56 ± 0,00 bc	7,65 ± 0,01 d	1,01617 ± 0,00006 c	3533,3 ± 23,1 b
T_5	3	3,55 ± 0,01 c	7,72 ± 0,01 c	1,01637 ± 0,00015 c	1820,0 ± 20,0 d
T_6	3	3,53 ± 0,00 c	7,51 ± 0,01 e	1,01707 ± 0,00006 a	5860,0 ± 20,0 a

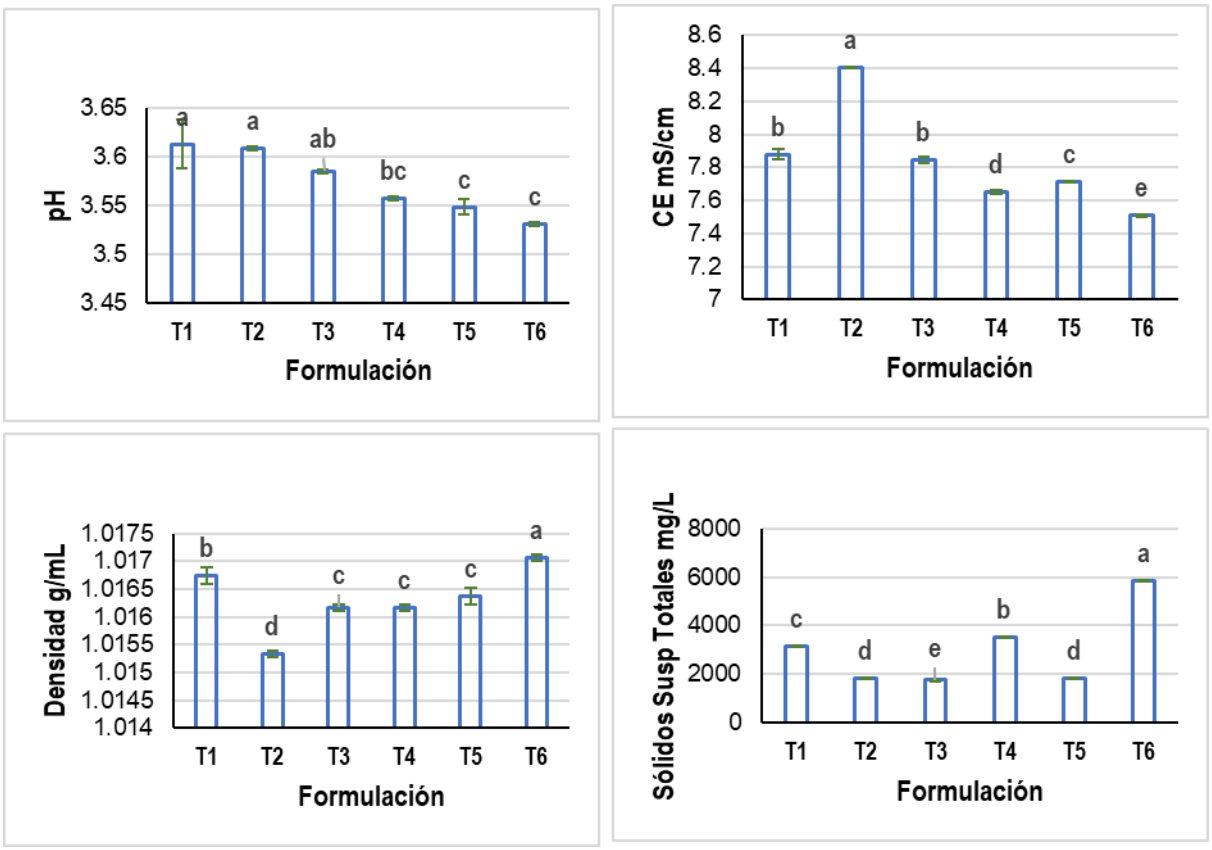
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. F = formulación, N = repeticiones, CE = conductividad eléctrica.

En la Tabla 6 se presentan las medias de los análisis fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y densidad) de las diferentes formulaciones de biofertilizante líquido según ANOVA con un nivel de significancia (α = 0,05) existen diferencias significativas en las medias presentadas en la tabla. Por otro lado, la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% arrojo que, en las formulaciones, los valores de pH en las formulaciones presentaron un pH ácido entre 3,53 ± 0,00 a 3,61 ± 0,03. La conductividad eléctrica (CE) es mayor en la segunda formulación T2 con un resultado de 8,40 ± 0,01 mS/cm, mientras que en las demás formulaciones varían ligeramente entre 7,51 ± 0,01 mS/cm y 7, 88 ± 0,03 mS/cm. En cuanto a la densidad presentó valores de 1,01617 ± 0,00006 g/mL a 1,01707 ± 0,00006 g/mL, de los cuales no existen diferencias significativas entre las formulaciones (T3, T4 y T5), mientras en las demás varía ligeramente. En lo referente a los sólidos suspendidos totales existen diferencias significativas en todas las formulaciones a excepción de (T2 y T5) con valores de 1826,67 ± 11.55 mg/L y 1820,0 ± 20,0 mg/L respectivamente, siendo mayor el contenido de estos en las formulaciones (T1, T4 y T6) con valores de 3140,0 ± 20,0 mg/L, 3533,3 ± 23,1 mg/L y 5860,0 ± 20,0 mg/L respectivamente.

En la Figura 6 se muestra las gráficas del análisis fisicoquímico de los biofertilizantes líquidos obtenidos (pH, conductividad eléctrica, densidad y sólidos suspendidos totales), según cada formulación realizada.

Figura 6

Gráficas del análisis fisicoquímico de los biofertilizantes líquidos obtenidos



Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. En la figura se presentan las gráficas con las medias obtenidas de pH, CE, densidad y sólidos suspendidos totales por cada formulación. De manera general se observa que para cada análisis fisicoquímico existe diferencias significativas en cada una de las medias de las formulaciones según el ANOVA con un $\alpha = 0{,}05$.

4.1.2 Contenido de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) de biofertilizante líquido (biol) obtenido a partir de residuos orgánicos

En la Tabla 7 se presentan las medias del contenido de macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por cada formulación de los biofertilizantes líquidos obtenidos.

Tabla 7

Resultados del contenido de macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)

F	N	Nitrógeno (N) mg/L	Fósforo (P) mg/L	Potasio (K) mg/L
T_1	3	98,78 ± 0,19 e	184 ± 2,00 b	1200,00 ± 10,00 b
T_2	3	130,00 ± 0,88 d	148 ± 2,00 c	1300,00 ± 10,00 a
T_3	3	159,67 ± 0,33 c	313,33 ± 11,55 a	1200,00 ± 10,00 b
T_4	3	169,56 ± 0,19 b	76,67 ± 1,16 d	1300,00 ± 10,00 a
T_5	3	179,89 ± 0,69 a	87,33 ± 1,16 d	1103,33 ± 5,77 c
T_6	3	180,22 ± 0,77 a	160 ± 5,00 c	946,67 ± 5,77 d

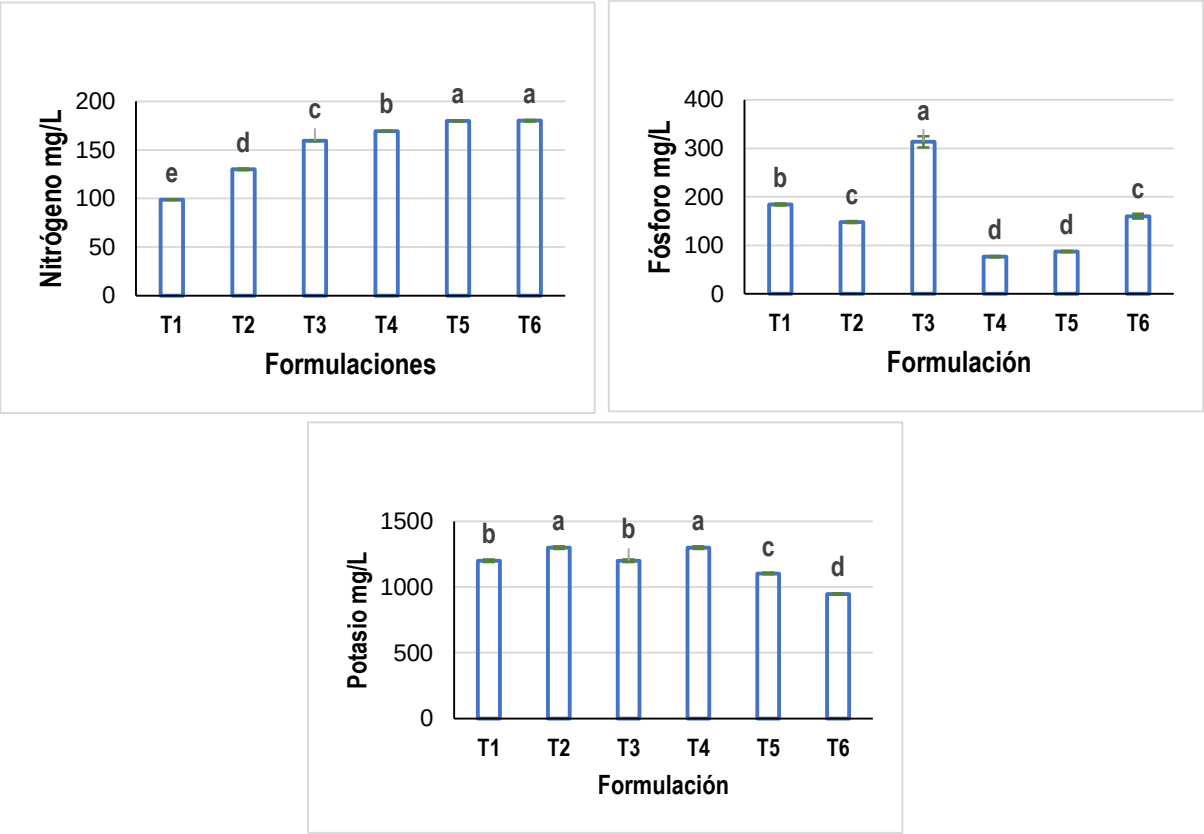
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. F = formulación y N = repeticiones.

En la tabla 7 se presentan las medias de la cuantificación de macronutrientes de las diferentes formulaciones del biol. Según el ANOVA con un nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) existen diferencias significativas en las medias presentadas en la tabla. Por otro lado, la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% arrojó que en las medias del nitrógeno existen diferencias significativas en todas las formulaciones a excepción de las formulaciones (T5 y T6) con un contenido de nitrógeno de 179,89 ± 0,69 mg/L y 180,22 ± 0,77 mg/L respectivamente, en las medias del fósforo no existen diferencias significativas entre las formulaciones T4 y T5 con valores de 76,67 ± 1,16 mg/L y 87,33 ± 1,16 respectivamente, mientras que en las demás existen diferencias significativas y en lo referente a las medias obtenidas para el potasio no existen diferencias significativas entre las formulaciones (T1, T2, T3 y T4).

En la Figura 7 se muestra las gráficas de contenido de macronutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo) de los biofertilizantes líquidos obtenidos, según cada formulación realizada.

Figura 7

Gráficas de contenido de macronutrientes nitrógeno (N), fóforo (P) y potasio (K)



Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. En la figura se presentan las gráficas de nitrógeno, fósforo y potasio. Para ello se utilizaron las medias obtenidas de cada macronutriente por cada formulación. De forma general se observa que en las medias del nitrógeno, fósforo y potasio existen diferencias significativas según el ANOVA con un $\alpha = 0{,}05$.

4.1.3 Contenido de micronutrientes (Sodio y Magnesio) de biofertilizante líquido (biol) obtenido a partir de residuos orgánicos

En la Tabla 8 se muestra el contenido de micronutrientes (sodio y magnesio) por cada formulación de los biofertilizantes líquidos obtenidos.

Tabla 8

Resultados del contenido de micronutrientes (sodio y magnesio)

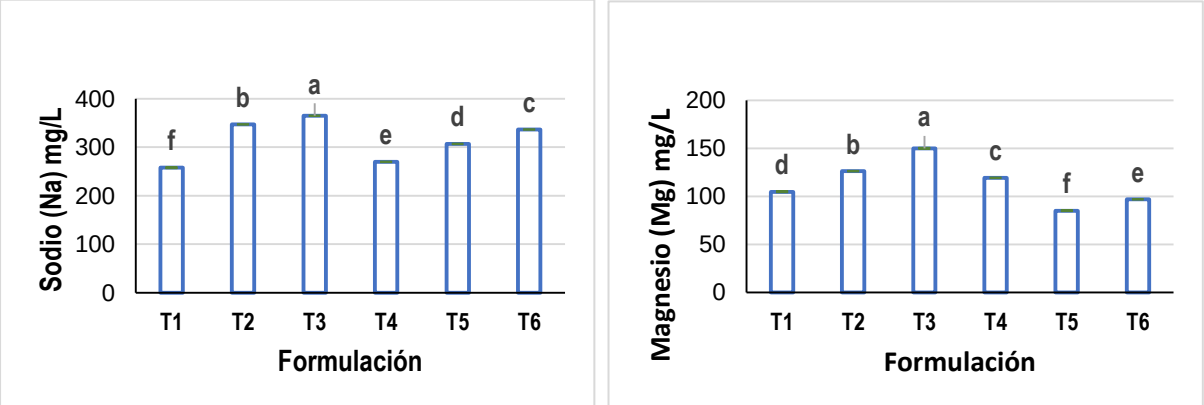
Formulaciónes	N	Sodio (Na) mg/L	Magnesio (Mg) mg/L
T_1	3	257,76 ± 0,18 f	104,75 ± 0,06 d
T_2	3	347,06 ± 0,02 b	126,17 ± 0,03 b
T_3	3	364,60 ± 0,02 a	149,99 ± 0,14 a
T_4	3	269,93 ± 0,08 e	119,24 ± 0,05 c
T_5	3	306,58 ± 0,01 d	85,05 ± 0,04 f
T_6	3	336,63 ± 0,03 c	96,85 ± 0,03 e

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. N = repeticiones.

En la tabla 8 se presentan las medias del contenido de micronutrientes (sodio y magnesio) de las diferentes formulaciones del biol. Según el ANOVA con un nivel de significancia (α = 0,05) y la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% arrojó que existen diferencias significativas en las medias presentadas en la tabla.

Figura 8

Gráficas de contenido de los micronutrientes sodio (Na) y magnesio (Mg)



Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. En la figura se presentan las gráficas de sodio y magnesio. De manera general se observa que las medias obtenidas por cada formulación del sodio y magnesio existen diferencias significativas.

4.2 Contrastación de Hipótesis

Conforme a los resultados experimentales y la información estadística, se acepta la hipótesis alterna, es decir la relación estiércol de vacuno-residuos (vísceras de trucha, residuos de cosecha, estiércol de gallina y estiércol de cuy) y la concentración de microorganismos influyen presentando efecto significativo en el contenido de micronutrientes, macronutrientes y características fisicoquímicas en la formulación de un biofertilizante (biol) elaborado a partir de residuos orgánicos. En consecuencia, queda rechazada la hipótesis nula, debido a que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las 6 formulaciones (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) de biofertilizante líquido en la mayoría de los resultados de la evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes.

Tabla 9

Contrastación de Hipótesis

Contrastación de Hipótesis			
Hipótesis nula	Análisis estadístico	Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$)	Decisión
Las medias de la evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes de las formulaciones: T1, T2, T3, T4, T5 y T6 son iguales.	ANOVA y la Prueba de Tukey	($p < 0,05$)	Se rechaza la hipótesis nula.

Nota. El estudio es estadísticamente significativo ya que, las medias de los análisis fisicoquímicos (pH, CE, densidad y sólidos suspendidos totales) y la cuantificación de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y micronutrientes (sodio y magnesio) de las formulaciones de biol (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 *Análisis fisicoquímico (pH, CE, Densidad y Sólidos suspendidos totales) de biofertilizante líquido (biol) obtenido a partir de residuos orgánicos*

De los análisis realizados a los biofertilizantes líquidos obtenidos elaborados a partir de residuos orgánicos como estiércol de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha presentaron un pH ácido entre 3,53 ± 0,00 a 3,61 ± 0,03. En un estudio similar Linares et al. (2017) obtuvieron un pH ácido final de 3,7 en un biofertilizante líquido foliar elaborado a partir de agua, estiércol de bovino, melaza de caña y *Mucuna sp*. (58, 22, 5 y 15 %, respectivamente), el cual favorece la absorción de nitrógeno, fósforo y el ión sodio y amonio, que se manifiesta con el color verde en las hojas en este caso experimentaron en plantas de heliconia. Igualmente, Flores, et al. (2020) elaboraron un biofertilizante líquido a partir de subproductos de trucha en los cuales presentó resultados similares de pH ácido de 3,4 a 3,91. Así mismo, Reed y Tukey (1978) mencionan que el pH ácido en biofertilizantes líquidos favorece la absorción de fósforo y es mayor con el ión sodio (Na^{+}) y y el ión amonio ($NH_4^{+)}$. Por otro lado, Aranganathan y Radhika (2016) mencionan que la reducción del pH en su biofertilizante líquido a partir de residuos de pescado, indica una buena bioconversión del sustrato durante el proceso de biodigestión, presentando un pH final de 4,21. Además, Reynoso et al. (2022) menciona que el pH es un parámetro importante ya que a través de un medio ácido se reduce el riesgo de proliferación de microorganismos patógenos perjudiciales para el biol; de igual manera Peralta et al. (2016) mencionan que en su biofertilizante líquido elaborado a partir de excretas frescas de vacuno, bacterias acido lácticas y melaza de caña presentó un pH ácido de 3,75 que genera condiciones de antagonismo dificultando el desarrollo de organismos putrefactivos y patógenos. En el cual los biofertilizantes obtenidos al presentar un pH ácido entre 3 a 4 es favorable para la absorción de N, P y el ión Na, así

mismo indica una exitosa conversión del sustrato en nutrientes durante la biodigestión anaeróbica.

La conductividad eléctrica (CE) indica la concentración de sales disueltas en el biofertilizante líquido. La CE fue mayor en la segunda formulación (T2) con un resultado de 8,40 ± 0,01 mS/cm, mientras que en las demás formulaciones varían ligeramente entre 7,51 ± 0,01 mS/cm y 7, 88 ± 0,03 mS/cm. Resultados similares obtuvieron Cano, et al. (2016) en su biol elaborado a partir de excretas de bovino y porcino en el cual el promedio de la CE fue de 8.94 y 8.4 mS/cm para el biofertilizante líquido bovino y porcino, además mencionan que, la conductividad eléctrica de suelos muy salinos está entre 8 y 16 mS/cm, por lo cual los biofertilizantes líquidos obtenidos en este estudio se pueden usar en suelos con salinidad baja o en cultivos resistentes a esta característica. En cambio, Soria et al. (2001) elaboraron biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo presentando una CE final de 4.08 mS/cm, así mismo los autores mencionan que al existir una disminución de la CE durante la digestión anaeróbica indica que los microorganismos degradan los compuestos solubles del sustrato. por los microorganismos durante su fase exponencial de crecimiento. Por otro lado, Gil et al. (2023) obtuvieron una CE de 16, 32 mS/cm, estos autores afirman que este parámetro es bueno debido a que se puede emplear en suelos de baja salinidad o aplicar a los cultivos con resistencia a esta propiedad, cabe mencionar que este último trabajo se obtuvo el biol a partir de estiércol de ganado vacuno. Por lo tanto, los biofertilizantes líquidos obtenidos presentaron una CE entre 7 y 8 mS/cm se pueden usar en suelos con baja presencia de sales o para el cultivo de plantas resistentes a esta propiedad.

La densidad en el biofertilizante líquido obtenido se encuentra en un rango de 1,01533 g/mL a 1,01673 g/mL, resultados similares obtuvo León (2018) en un biol a partir de residuos de cosecha como panca de maíz, restos de hortícolas, frutas, césped, estiércol de cuy, melaza, levadura, agua y leche, siendo la densidad del biol 1,007 g/mL a 1,036 g/mL, el autor

menciona que este parámetro no influye de manera directa en la eficiencia de los cultivos, pero en cuanto a la absorción de nutrientes presentes en el biol por parte de las plantas se ve reducido cuando la densidad es demasiado elevada.

Por su parte, Cano et al. (2016) indican que a mayor concentración de sólidos dificulta la disolución y transporte de nutrientes. En cuanto a los sólidos suspendidos totales en el biofertilizante líquido obtenido se encuentra en un rango de 1760,0 ± 20,0 mg/L a 5860,0 ± 23,1 mg/L, siendo mayor en las formulaciones (T1, T4 y T6) indicando que dificultaría la disolución y transporte de nutrientes, siendo de mayor problema en la formulación (T6).

4.3.2 Contenido de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) de biofertilizante líquido (biol)obtenido a partir de residuos orgánicos

El contenido de macronutrientes como nitrógeno (N) de los biofertilizantes líquidos obtenidos elaborados a partir de residuos orgánicos como estiércol de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha fue de 98,78 ± 0,19 mg/L a 180,22 ± 0,77 mg/L, siendo mayor el contenido de N en la formulación (T6) y menor en la formulación (T1). En estudios realizados anteriormente reportaron concentraciones de 290 mg/L de N en un biofertilizante líquido a base de estiércol de vacuno (Gil et al., 2023) y 321 mg/L de N en un biofertilizante líquido a partir de estiércol de ovino (Medina et al., 2014). Existe una variación en el contenido de nitrógeno, siendo inferior en los biofertilizantes obtenidos, esta variación puede ser debido a la variedad de sustratos utilizados para elaborar el biofertilizante líquido, de la misma manera está asociado al proceso de degradación de materia orgánica (Peralta, 2016).

En los biofertilizantes líquidos obtenidos el que presentó mayor contenido de fósforo (P) fue la formulación (T3) con un valor de 313,33 ± 11,55 mg/L, los valores de P variaron entre 76,67 ± 1,16 mg/L y 184 ± 2,00 mg/L. Valores inferiores a los reportados en esta investigación obtuvieron Soria et al. (2001) en su biofertilizante líquido elaborado a partir de

excreta líquida de cerdo con un valor de 17,2 mg/L. De igual forma, Medina et al. (2014) en su biofertilizante líquido a partir de estiércol de ovino obtuvo una cantidad de 55,4 mg/L. Por otro lado, valores cercanos a la formulación (T3) obtuvieron Medina et al. (2022) en su biol a partir de estiércol de vacuno con concentraciones de fósforo de 219,10 mg/L y Cabos et al. (2019) en su biol a partir de estiércol de ganado de vacuno con un valor de 250,92 mg/L. El contenido de fósforo al ser mayor a los reportados por los autores anteriormente en otros estudios indica que los biofertilizantes líquidos elaborados aportaran este macronutriente esencial en mayor cantidad a los cultivos favoreciendo un mejor desarrollo de estos. Las diferencias se deben al grado de dilución de los residuos orgánicos en el proceso de digestión anaeróbica, del mismo modo se le atribuye al tipo de alimentación del ganado, es decir, la calidad del estiércol va a depender de la alimentación del animal (Gil et al., 2023), o al tipo de sustrato que se utilizó (Peralta, 2016).

El potasio (K) en los biofertilizantes líquidos obtenidos fue de 946,67 ± 5,77 mg/L a 1300,00 ± 10,00 mg/L en el cual las formulaciones que presentaron mayor contenido de este micronutriente fueron (T2 y T4). Resultados inferiores obtuvieron Soria et al. (2001) en su biofertilizante líquido a partir de excretas líquidas de cerdo con un contenido de 363,8 mg/L de potasio. También, Quiñones et al. (2016) en su biofertilizante líquido a partir de excretas de alpaca, lactosuero vacuno, ácido láctico y melaza obtuvieron un contenido de 660 mg/L. Por otro lado, valores similares obtuvieron Medina et al. (2022) en un biol a partir de estiércol de vacuno con un valor de 1103,80 mg/L. Además, Cabos et al. (2019) elaboraron biofertilizante líquido a partir de estiércol de ganado de vacuno en el cual obtuvieron un dato para el potasio de 1152,37 mg/L. De igual forma, Hernández et al. (2024) formularon dos biofertilizantes con diferentes concentraciones de microorganismos de montaña, frutos de *Monstera deliciosa*, hojas de *Aloe vera*, cal agrícola, ceniza de madera, melaza, *Leonardita*, cáscaras de huevo y agua en el cual obtuvieron resultados de potasio 54 mg/L y 1000 mg/L

en dos formulaciones respectivamente. Los valores de potasio superiores a los presentados en otros estudios son favorables para los biofertilizantes líquidos elaborados ya que eso indica una buena conversión del sustrato en nutrientes por parte de los microorganimos (Aranganathan y Radhika, 2016). Soria et al. (2001) mencionan que la calidad del biol obtenido por medio de la biodigestión varía de acuerdo con la cantidad de sólidos sedimentables totales contenidos en el sustrato, ya que estos sólidos son los que sirven como alimento para los microorganismos responsables de la biodigestión, por lo tanto, entre mayor sea la acumulación de sólidos totales, mayor será el contenido de nutrientes en el biol.

4.3.3 *Contenido de micronutrientes (Sodio y Magnesio) de biofertilizante líquido (biol)obtenido a partir de residuos orgánicos*

El contenido de micronutrientes como sodio (Na) de los biofertilizantes líquidos obtenidos elaborados a partir de residuos orgánicos como estiércol de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha se encuentra en un rango de 257,76 mg/L a 364,60 mg/L. En otros estudios obtuvieron resultados inferiores como en el de Espinoza et al. (2020) elaboraron biofertilizantes líquidos a partir de estiércol de cerdo una relación de estiércol – agua de (1:3) con un contenido de 2,28, 9,59 y 358 mg/L para cada formulación en cuanto a sodio. Lo contrario sucedió con Quiñones et al. (2016) en su biofertilizante líquido a partir de excretas de alpaca, lactosuero vacuno, ácido láctico y melaza el contenido de Na fue de 0,59 g/L equivalente a 590 mg/L, esto indica que la variación del contenido de los nutrientes va a depender de dos factores la buena conversión por parte de los microorganismos o la cantidad usada (Florez et al., 2020). Así mismo, cabe mencionar que la eficiente adaptación de los microorganismos en el sustrato es de suma importancia en la elaboración de un biol para posteriormente mejorar las concentraciones de los nutrientes en el sustrato (Aranganathan y Radhika, 2016).

En lo referente al magnesio (Mg) se registraron valores de 85,05 a 149,99 mg/L en los biofertilizantes obtenidos. Valores similares obtuvieron Gil et al. (2023) ya que en su estudio las concentraciones de Mg fue de153,2 mg/L. Lo opuesto sucedió en el estudio de Soria et al. (2001) en su biofertilizante obtenido a partir de excreta líquida de cerdo que presentó un contenido de magnesio de 59,3 mg/L, siendo este dato inferior a los obtenidos en este estudio. Por su parte, Espinoza et al. (2020) elaboraron biofertilizantes líquidos a partir de estiércol de cerdo una relación de estiércol – agua de (1:3) con un contenido de 24,56 y 230 mg/L en dos formulaciones. Por lo tanto, los biofertilizantes obtenidos presentaron un contenido de magnesio igual o mayor a lo reportado por otros estudios, esto indica que hubo una buena bioconversión del sustrato por parte de los microorganismos durante el proceso de digestión anaeróbica (Florez et al., 2020).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se elaboró un biofertilizante líquido a partir de residuos orgánicos como estiércol de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha, a diferentes concentraciones de estiércol de vacuno – residuos orgánicos (30:70; 50:50 y 70:30) y microorganismos (1,0% y 1,5%). Existiendo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las 6 formulaciones (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) de biofertilizante líquido en la mayoría de los resultados de la evaluación fisicoquímica y cuantificación de nutrientes indicando que la relación estiércol de vacuno-residuos (vísceras de trucha, residuos de cosecha, estiércol de gallina y estiércol de cuy) y la concentración de microorganismos influyen en el contenido de micronutrientes, macronutrientes y características fisicoquímicas en la formulación de un biofertilizante (biol) elaborado a partir de residuos orgánicos.

En relación con la evaluación de las características fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y densidad), de los biofertilizantes líquidos (biol) obtenidos a partir de estiércol de vacuno, cuy y gallinas, vísceras de trucha y residuos de cosecha presentaron un pH ácido entre 3,53 a 3,61 indicando una buena bioconversión del sustrato en nutrientes durante el proceso de biodigestión anaeróbica que genera condiciones de antagonismo reduciendo el riesgo de proliferación de microorganismos patógenos perjudiciales para el biol, además, favorece la absorción de nitrógeno, fósforo y el ión sodio. En cuanto a la conductividad eléctrica (CE) fue mayor en la segunda formulación (T2) con un resultado de 8,40 mS/cm, mientras que en las demás formulaciones varían ligeramente entre 7,51 mS/cm y 7, 88 mS/cm, por lo cual los biofertilizantes líquidos se pueden usar en suelos con salinidad baja o en cultivos resistentes a esta característica. La densidad es un parámetro que no influye de manera directa en la eficiencia de los cultivos, pero en cuanto a la absorción de este por las plantas se ve reducido cuando la densidad es demasiado elevada,

encontrándose en los biofertilizantes obtenidos en este estudio es cercana a 1 g/mL, de igual manera, la mayor concentración de sólidos dificulta la disolución y transporte de nutrientes, siendo mayor en las formulaciones (T1, T4 y T6) indicando que dificultaría la disolución y transporte de nutrientes, siendo de mayor problema en la formulación (T6).

En cuanto a los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de los biofertilizantes líquidos (biol) obtenidos, de los cuales, en la mayoría de las formulaciones presentaron valores superiores a los reportados en otros estudios, esto se debe al tipo de sustrato, microorganismos utilizados y la eficiencia por parte de los microorganismos durante la digestión anaeróbica. En cuanto al nitrógeno solo la formulación (T1) fue la que presentó menor cantidad de este nutriente, para el caso del fósforo la formulación (T3) fue la que presentó mayor contenido con un valor de 313,33 mg/L y para el potasio la formulación (T6) fue la que presentó menor contenido de este nutriente.

En el contenido de micronutrientes (Na y Mg) de los biofertilizantes líquidos (biol) obtenidos, no se observó diferencia en cuanto al contenido de estos micronutrientes en las diferentes formulaciones, siendo mayor el sodio en las formulaciones (T3 y T2) con valores de 364,60 mg/L y 347,06 mg/L respectivamente para el sodio, en cuanto al magnesio 149,99 mg/L y 126,17 mg/L respectivamente, siendo estos datos iguales o mayores a los reportados por otros autores indicando la buena conversión del sustrato en nutrientes por parte de los microorganismos.

5.2 Recomendaciones

Determinar el contenido de nutrientes de la formulación de un biofertilizante líquido a partir de residuos orgánicos con mayor contenido de residuos agroindustriales para evaluar si existen cambios en el contenido de nutrientes del producto terminado.

Estudiar otros micronutrientes de interés, importantes para las plantas.

Se recomienda a los agricultores implementar la metodología utilizada en este estudio para elaborar biofertilizantes líquidos con residuos orgánicos que en muchos casos son desechados generando contaminación al medio ambiente o aplicados de forma directa a los cultivos para de esta manera reducir el costo en cuanto al uso de agrofertilizantes.

Realizar una valorización de los residuos de la provincia de Chota con el fin de generar un medio ambiente sostenible y promover el uso de fertilizantes orgánicos, con el fin de reducir costos de producción en los cultivos, no generar contaminación al ambiente y recuperar las tierras de cultivo que son degradadas por el uso de agroquímicos.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

Allouzi, M.M.A., Allouzi, S. M. A., Keng, Z. X., Supramaniam, C. V., Singh, A. y Chong, S. (2022). Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture. *Heliyon*, *8*, e12609. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12609

Alurralde, A. L., Imhoff, S., Gariglio, N. y Albers, A.B. (2021). Caracterización de abonos sólidos y líquidos derivados del compostaje de alperujo y restos de poda de olivares. *Ciencia del Suelo, 39*(1), 94-111. http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v39n1/1850-2067-cds-39-01-94.pdf

Aranganathan, L. y Radhika, S. R. (2016). Bioconversion of marine trash fish (MTF) to organic liquid fertilizer for effective solid waste management and its efficacy on Tomato growth. *Management of Environmental, 27*(1), 1477-7835. https://doi.org/10.1108/MEQ-05-2015-0074

Areeshi, M. Y. (2022). Recent advances on organic biofertilizer production from anaerobic fermentation of food waste: Overview. *International Journal of Food Microbiology, 347*, 109719. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109719

Atarés, L. (s.f.). *Determinación de la densidad de líquido con el método del picnómetro.* Universidad Politécnica de Valencia. https://goo.su/26FOzai

Borah A. y Das, H. (2023). Liquid Bio-Fertilizers: A Replacement Tool for Chemical Fertilizer. *Just Agriculture, 3*(12), 2582-8223. https://justagriculture.in/files/newsletter/2023/august/41.%20Liquid%20Bio-Fertilizers-%20A%20Replacement%20Tool%20for%20Chemical%20Fertilizer.pdf

Cabos, J., Bardales.C.B., León, C. A. y Gil, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa, 26*(3), 2413-3299. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300021&script=sci_arttext

Cano, M., Bennet, A., Silva, E., Robles, S., Sainos, U. y Castorena, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia, 50*(4), 471-479. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400471&lng=es&tlng=es

Carpanez, T., Moreira, V., Assis, I. y Amaral, M. (2022). Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. *Science of the Total Environment, 832*, 154998. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154998

Carpio, T.M. (2007). *Sólidos totales secados a 103 – 105ºC.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Subdirección De Hidrología - Grupo Laboratorio De Calidad Ambiental. https://goo.su/w5ueN

Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiadas [CEUTA]. (2006). Biofertilizantes. Nutriendo cultivos sanos. Tecnologías apropiadas.

Cerna, L. A. (2007). Agrotecnia Sostenible. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Curletto, C., Bullab, L., Canovib, L., Demichelib, F. y Venturino, E. (2023). A mathematical investigation for the simulation and forecasting of a biodigester operations.

Mathematics and Computers in Simulation, 209, 118-152. https://doi.org/10.1016/j.matcom.2023.02.002

Daniel, A. I., Fadaka, A. O., Gokul, A., Bakare, O. O.,Aina, O., Fisher, S., Burt, A. F., Mavumengwana, V., Keyster, M. y Klein, A. (2022). Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety. *Microorganisms, 10* (6), 1220. https://doi.org/10.3390/microorganisms10061220

De Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P. y Schjocrring, J. K. (2021). The molecular–physiological functions ofmineral macronutrients and their consequencesfor deficiency symptoms in plants. *New Phytologist, 229*, 2446–246. https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/nph.17074?src=getftr

Delgado, E. J. (2018). Elaboración de abono orgánico a partir de vísceras de pescado para cultivos agrícolas. Arequipa, Perú. https://repositorio.unsa.edu.pe/items/a5cbe808-8391-4584-ad97-ee8a5cd4498c

Delgado, E. J., Benavente, G. E. y Cáceres, G. V. (2019). Elaboración de Fertilizante Orgánico a Partir de Vísceras de Trucha (Oncorhynchus mikyss) y Jurel (Trachurus murphyi), Cuantificación y Evaluación del Efecto de los Nutrimentos Minerales. *Anales Científicos, 80*(2), 452–461. https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1471

Díaz, P., Hidalgo, E., Cabrejo, C. y Valdés, O. A. (2022). Respuesta del maíz (Zea mays L.) A la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences, 38*(2), 144-153. https://dx.doi.org/10.29393/chjaa38-14rmpo40014

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2007). Sólidos totales secados a 103 – 105ºC. Colombia.

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC.

Espinoza, J.P., Apaza, C. y Luizaga, I. (2020). Caracterización y análisis para la aplicación de biol obtenido a partir de residuos orgánicos en la Unidad Experimental de Producción de Biogás en los laboratorios de Petróleo, Gas y Energías de la Universidad Privada del Valle. *Journal Boliviano de Ciencias, 48*(1), 2075-8944. https://doi.org/10.52428/20758944.v16i48.347

Florez, M. A., Roldán, D. J. y Juscamaita, J. G. (2020). Evaluación de fitotoxicidad y caracterización de un fertilizante líquido elaborado mediante fermentación láctica utilizando subproductos del procesamiento de trucha (Oncorhynchus mykiss). *Ecología Aplicada, 19*(2), 121-131. https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1563

Fu, S., Lian S., Angelidaki, I. y Guo, R. (2023). Micro-aeration: an attractive strategy to facilitate anaerobic digestion. *Trends in Biotechnology, 41*(5), 714-726. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.09.008

Gallegos, W., Vega, M. y Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja.15*(1). 18-25. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047399003

Gil, L.A., Leiva, F. A., Lezama, M.K., Bardales, C.B. y León, C.A (2023). Biofertilizante "biol": caracterización física, química y microbiológica. ALFA. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 7* (20), 336 – 345. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-09022023000200336

Gonzáles, J. F., Parralejo, A.I., Gonzáles J., Álvares, A. y Sabio, E. (2022). Optimization of the production and quality of biogas in the anaerobic digestion of different types of biomass in a batch laboratory biodigester and pilot plant: Numerical modeling, kinetic study and hydrogen potential. *International journal of hydrogen energy, 47*, 39386-39403. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.113

Gonzáles, L.C., Félix, R., Sandoval, J. A., Escobedo, D. C. y Longoria, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana, 39*, e859.https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859

HANNA instruments. (s.f.). *Phosphate Low Range HI713.* Instruction manual. https://www.hannainst.com/hubfs/product-manuals/IST713_05_18-1.pdf?hsLang=en

Hernández, V., Rosales, J. C. y Hernández, H. A. (2024). Análisis fisicoquímico de un biofertilizante hidrolizado para uso en la agricultura. *Ciencia Agrícola,4*(1), 2954-3886. 10.5154/r.rchsat.2023.04.02

HORIBA Advanced Techno. (2017). *LAQUAtwin-NO3-11S. Measurement Procedure*. https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Water_Quality/04_Support/Instruction_Manuals/Pocket_Meters/LAQUAtwin_NO3-11S_Quick_Manual.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2015). Abono orgánico sólido (compost) y líquido (biol). Paraguay.

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2008). Producción y uso del biol. Biotecnologías apropiadas para la conservación in situ de los cultivos nativos. Lima, Perú. http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/115/1/Uso_Biol_Lima_2008.pdf

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (s.f.). Preparación, uso y manejo de abonos orgánicos. Ayacucho, Perú.

Jara, J., Cruz, A. y Gallegos, J. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes, Revista electrónica de las sedes regionales de la Universidad de Costa Rica, 22*(45), 189-203. 10.15517/isucr.v22i45.46013

Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A.N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S. y Saxena, A. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 23*, 101487. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487

Lakhal, D., Bahlaouan, B., Boutaleb, N., Bennani, M. y El Antri. (2020). Agricultural valorization by biotransformation of fish wastes combined with grape marc and molasses. *Mediterranean Journal of Chemistry, 10*(7), 723-733. file:///F:/AASUBMISSIONS/VOLUMES%201/VOLUME%2010%20ISSUE%207/SUBMISSION%20of%20Nadia%20Boutaleb1447/nadia.boutaleb@univh2c.ma

Lastra, O. (s.f.). Sodio en plantas C4. En González, J, L. y Chueca, A. (2010). (Eds.), *C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas* (pp. 151-156). Consejo Superior De Investigaciones Científicas.

León, E, G. (2018). *Evaluación de la eficacia de violes en cultivo hortícola*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Archivo digital. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15178/1/UPS-CT007495.pdf

Linares, A., López, C. J., Tinoco, C. A., Velasco, J. y López, G. (2017). Aplicación de biol, fertilizante inorgánico y polímeros superabsorbentes en el crecimiento de

heliconia (*Heliconia psittacorum cv.* Tropica). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *23*(1),35-48. doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.02.004

Medina, A., Quipuzco, L. y Juscamaita, J. (2014). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores.*Anales Científicos,76*(1), 116-124. http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.772

Medina, K. M. E., Leiva, F. A., Rodríguez, A. D., Gil, L. A., Bardales, C. B. y León, C. A. (2022). Influencia de las concentraciones del bioabono "biol" en el cultivo hidropónico de Lactuca sativa var. longifolia (Asteraceae). *Arnaldoa, 29*,(1), 137-148. http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n1/2413-3299-arnal-29-01-137.pdf

Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2016). Resolución Ministerial N° 0028-2016-MINAGRI. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú.

Morocho, M. T. y Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, *46*(2), 2072-2001. http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf

Nosheen, S., Ajmal, I. y Song, Y. (2021). Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability, 13*, 1868. https://doi.org/10.3390/su13041868

Nuhu, S. K., Gyang, J. A. y Kwarbak, J.J. (2021). Production and optimization of biomethane from chicken, food, and sewage wastes: The domestic pilot biodigester performance. *Cleaner Engineering and Technology, 5*, 100298. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100298

Peralta, L., Juscamaita, J. y Meza, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada, 15*(1), 1726-2216. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001

Perez, L. K. (2020). *Diseño del proceso de elaboración de fertilizante líquido químico para cultivo agroindustrial intensivo de la uva en la zona de Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Archivo digital. https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/41709d17-109e-4f7b-b246-09cf74134fa5/content

Quiñones, H., Trejo, W. y Juscamaita, M. (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada, 15*(2), 1726-2216. http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.753

Raimi, A., Roopnarain, A. y Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. *Scientific African, 11*, e00694. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694

Reed, D.W. y Tukey, H.B. (1978). Effect of pH on foliar absorption of phosphorus compounds by chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103*(3), 337-340. https://www.researchgate.net/publication/362651754_Effect_of_pH_on_Foliar_Absorption_of_Phosphorus_Compounds_by_Chrysanthemum1

Restrepo, J. (2007). *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca* (1.ª ed.). Feriva S.A.

Reynoso, A., Cosme, R., Adama, E. y Quispe, M. (2022). *Manual Técnico. Producción de biofertilizante líquido acelerado.* Instituto Nacional de Innovación Agraria. /20.500.12955 https://repositorio.inia.gob.pe/handle /1673

Romera, F. J., Lan, P., Rodriguez, J. y Pérez, V. R. (2021). Nutrient Interactions in Plants. *Frontiers in Plant Science, 12*, 782505. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.782505

Sharma, P., Bano, A., Verma, K., Yadav, M., Varjani, S., Singh, S. P. y Tong, Y. W. (2023). Food waste digestate as biofertilizer and their direct applications in agriculture. *Bioresource Technology Reports,23*, 101515. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101515

Singh, A. y Kumar, V. (2020). Liquid Biofertilizers. *Readers Shelf, 12*(2), 2321-7405. https://www.researchgate.net/publication/358461504_Liquid_Biofertilizers

Solís, Y., Zúñiga, L. A. y Mora, D. (2017). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha, 31*(1), 35-46. 10.18845/tm.v31i1.3495

Soria, M de J., Ferrera, R., Etchevers, J., Alcántar, G; Trinidad, J., Borges, L. y Pereyda, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta liquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, *19*, (4), 353-362. https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf

Venugopal, V. (2022). Green processing of seafood waste biomass towards blue economy. *Current Research in Environmental Sustainability. 4*, 100164. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100164

Yaashikaa, P. R., Kumar, S. P. y Varjani, S. (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. *Bioresource Technology, 343*, 126126. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Pruebas preliminares para determinar la cantidad adecuada de residuos orgánicos y agua.

Tabla 10

Prueba a 70 % agua – 30% de residuos orgánicos

Formulación		**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**Descripción**
Estiércol de vacuno (30%)	Estiércol de vacuno (g)	324	540	756	324	540	756	exceso de sólidos mezcla pastosa
Residuos orgánicos (70%)	Vísceras de trucha (g)	189	135	81	94,5	135	81	
	Residuos de cosecha (g)	189	135	81	94,5	135	81	
	Estiércol de gallina (g)	189	135	81	94,5	135	81	
	Estiércol de cuy (g)	189	135	81	94,5	135	81	

Tabla 11

Prueba a 80 % agua – 20% de residuos orgánicos

Formulación		**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**Descripción**
Estiércol de vacuno (30%)	Estiércol de vacuno (g)	324	540	756	324	540	756	
Residuos orgánicos (70%)	Vísceras de trucha (g)	126	90	54	126	90	54	sólidos menores a la prueba anterior, mezcla semilíquida
	Residuos de cosecha (g)	126	90	54	126	90	54	
	Estiércol de gallina (g)	126	90	54	126	90	54	
	Estiércol de cuy (g)	126	90	54	126	90	54	

Tabla 12

Prueba a 85 % de agua – 15 % de residuos orgánicos

Formulación		T1	T2	T3	T4	T5	T6	Descripción
Estiércol de vacuno (30%)	Estiércol de vacuno (g)	162	270	378	162	270	378	
Residuos orgánicos (70%)	Vísceras de trucha (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5	sólidos menores a la prueba anterior, mezcla semilíquida ideal para elaboración del biol
	Residuos de cosecha (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5	
	Estiércol de gallina (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5	
	Estiércol de cuy (g)	94,5	67,5	40,5	94,5	67,5	40,5	

Anexo B. Lectura de pH y CE de las muestras de la mezcla en el día 0.

Tabla 13

Lectura de pH y CE de las muestras de la mezcla en el día 0.

F	R	pH	CE mS/cm	F	R	pH	CE mS/cm
T_1	R_1	6,76	12,51	T_4	R_1	6,79	12,52
	R_2	6,78	12,52		R_2	6,80	12,54
	R_3	6,80	12,50		R_3	6,81	12,54
T_2	R_1	6,78	12,53	T_5	R_1	6,76	12,54
	R_2	6,76	12,53		R_2	6,80	12,53
	R_3	6,77	12,54		R_3	6,78	12,54
T_3	R_1	6,80	12,53	T_6	R_1	6,79	12,51
	R_2	6,81	12,53		R_2	6,77	12,50
	R_3	6,80	12,54		R_3	6,80	12,51

*F = formulaciones y R = repeticiones

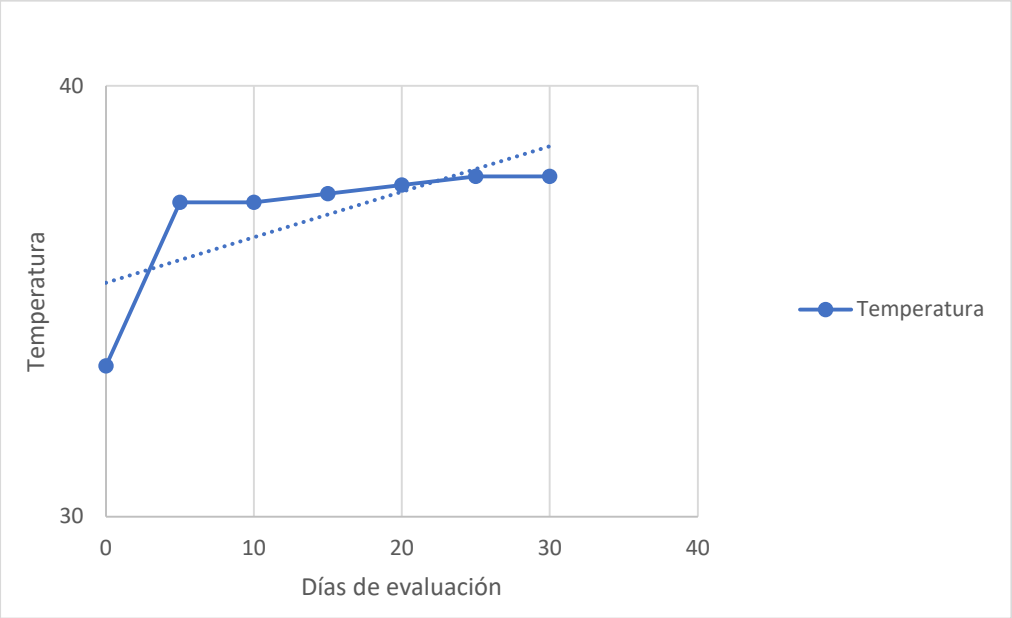
*Valores promedio (n=3)

*CE conductividad eléctrica

Anexo C. Evolución de la temperatura durante la digestión anaeróbica.

Figura 9

Evolución de la temperatura en los días de evaluación



Nota. Se observa que la temperatura promedio fue de 37,01 °C ± 1.57 °C durante el proceso de digestión anaeróbica.

Anexo D. Cálculo de la densidad de cada formulación.

Para el cálculo de la densidad se usó el programa Microsoft Excel, en el cual se reemplazaron los datos obtenidos en la siguiente fórmula:

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_w$$

Repetición 1

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_w$$

Masa del picnómetro vacío	$\boldsymbol{m_p}$	9,4185

Masa del picnómetro enrasado con agua	m_{p+w}	19,3437
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T1	m_{p+d}	19,5091
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T2	m_{p+d}	19,4967
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T3	m_{p+d}	19,5045
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T4	m_{p+d}	19,5043
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T5	m_{p+d}	19,5074
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T6	m_{p+d}	19,5129

Formulación	Densidad g/mL
T1	1,0167
T2	1,0154
T3	1,0162
T4	1,0162
T5	1,0165
T6	1,0170

Repetición 2

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_w$$

Masa del picnómetro vacío	$\boldsymbol{m_p}$	9,4185
Masa del picnómetro enrasado con agua	m_{p+w}	19,3437
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T1	m_{p+d}	19,5112
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T2	m_{p+d}	19,4955
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T3	m_{p+d}	19,5033
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T4	m_{p+d}	19,5039
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T5	m_{p+d}	19,5042
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T6	m_{p+d}	19,5134

Formulación	Densidad g/mL
T1	1,0169
T2	1,0153
T3	1,0161
T4	1,0161
T5	1,0162
T6	1,0171

Repetición 3

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} * \rho_w$$

Masa del picnómetro vacío	$\boldsymbol{m_p}$	9,4185
Masa del picnómetro enrasado con agua	m_{p+w}	19,3437
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T1	m_{p+d}	19,508
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T2	m_{p+d}	19,4959
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T3	m_{p+d}	19,5042
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T4	m_{p+d}	19,5046
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T5	m_{p+d}	19,5064
Masa del picnómetro enrasado con la solución (biol) T6	m_{p+d}	19,5132

Formulación	Densidad g/mL
T1	1,0166
T2	1,0153
T3	1,0162
T4	1,0162
T5	1,0164
T6	1,0171

Anexo E. Cálculo de los sólidos suspendidos totales de cada formulación.

Para el cálculo de la densidad se usó el programa Microsoft Excel, en el cual se reemplazaron los datos obtenidos en la siguiente fórmula:

$$\mathrm{SST} = \frac{(\mathrm{A} - \mathrm{B}) * 1000}{\mathrm{V}}$$

Repetición 1

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A: Peso final del filtro con el residuo seco, en gramos.	
T1	0,917
T2	0,9103
T3	0,9133
T4	0,9216
T5	0,9142
T6	0,9349

B: Peso inicial del filtro (tara) en gramos.	
T1	0,9013
T2	0,9012
T3	0,9046
T4	0,9038
T5	0,9052
T6	0,9055

V: Volumen total de la muestra, en litros.
5 mL = 0,005 L

Formulación	**Sólidos Suspendidos Totales mg/L**
T1	3140
T2	1820
T3	1740
T4	3560
T5	1800
T6	5880

Repetición 2

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A: Peso final del filtro con el residuo seco, en gramos.	
T1	0,9196
T2	0,9138
T3	0,9132
T4	0,9218
T5	0,9137
T6	0,9331

B: Peso inicial del filtro (tara) en gramos.	
T1	0,904
T2	0,9046
T3	0,9044
T4	0,9042
T5	0,9045
T6	0,9039

V: Volumen total de la muestra, en litros.
5 mL = 0,005 L

Formulación	**Sólidos Suspendidos Totales mg/L**
T1	3120
T2	1840
T3	1760
T4	3520
T5	1840
T6	5840

Repetición 3

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A: Peso final del filtro con el residuo seco, en gramos.	
T1	0,9193
T2	0,9134
T3	0,9133
T4	0,9229
T5	0,9142
T6	0,9329

B: Peso inicial del filtro (tara) en gramos.	
T1	0,9035
T2	0,9043
T3	0,9044
T4	0,9053
T5	0,9051
T6	0,9036

V: Volumen total de la muestra, en litros.
5 mL = 0,005 L

Formulación	**Sólidos Suspendidos Totales mg/L**
T1	3160
T2	1820
T3	1780
T4	3520
T5	1820
T6	5860

Anexo F. Cálculo de fósforo

Para el cálculo del fósforo se realizaron diluciones de 1-20 y 1-50. En el cual se multiplicaron los datos de lectura del HANNA checker Phosphorus HR por 20 y 50 según corresponda en cada dilución para las formulaciónes.

Dilución 1-20	**T1, T2, T3, T3, T4, T5**
Dilución 1-50	**T6**

Repetición 1

Datos de lectura del HANNA checker Phosphorus HR		**Datos finales según dilución**
Formulación	**Fósforo mg/L**	**Fósforo mg/L**
T1	9,1	182
T2	7,4	148
T3	15	300
T4	3,8	76
T5	4,4	88
T6	3,2	160

Repetición 2

Datos de lectura del HANNA checker Phosphorus HR		**Datos finales según dilución**
Formulación	**Fósforo mg/L**	**Fósforo mg/L**
T1	9,3	186
T2	7,5	150
T3	16	320
T4	3,8	76
T5	4,4	88
T6	3,3	165

Repetición 3

Datos de lectura del HANNA checker Phosphorus HR		Datos finales según dilución
Formulación	**Fósforo mg/L**	**Fósforo mg/L**
T1	9,2	184
T2	7,3	146
T3	16	320
T4	3,9	78
T5	4,3	86
T6	3,1	155

Anexo G. Análisis estadístico (ANOVA y Prueba de Tukey)

Análisis fisicoquímicos

Para los análisis fisicoquímicos (pH, CE, densidad y sólidos suspendidos totales) se empleó ANOVA con un nivel de significancia de ($\alpha = 0,05$) y la Prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

- **pH**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Formulación	5	0,016892	0,003378	28,21	0,000
Error	12	0,001437	0,000120		
Total	**17**	**0,018329**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0109432	92,16%	88,89%	82,36%

Medias

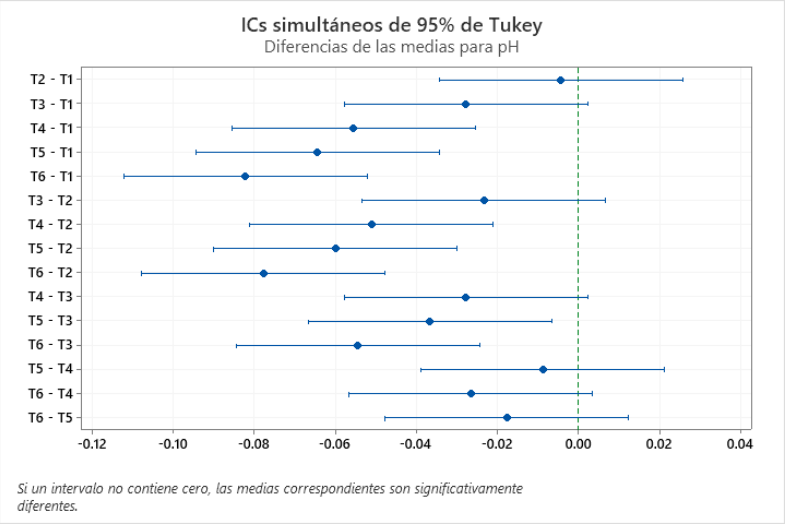
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	3,6133	0,0252	(3,5996; 3,6271)
T2	3	3,60889	0,00192	(3,59512; 3,62265)
T3	3	3,58556	0,00192	(3,57179; 3,59932)
T4	3	3,55778	0,00192	(3,54401; 3,57154)
T5	3	3,54889	0,00839	(3,53512; 3,56265)
T6	3	3,53111	0,00192	(3,51735; 3,54488)

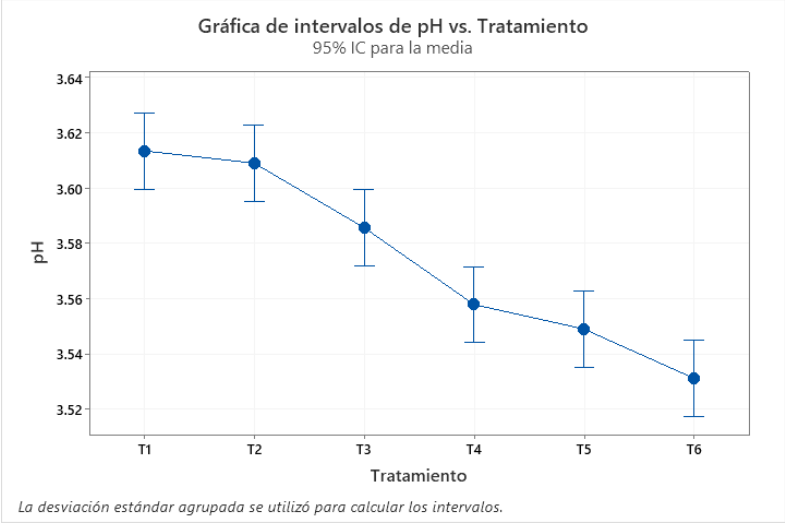
Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0109432.

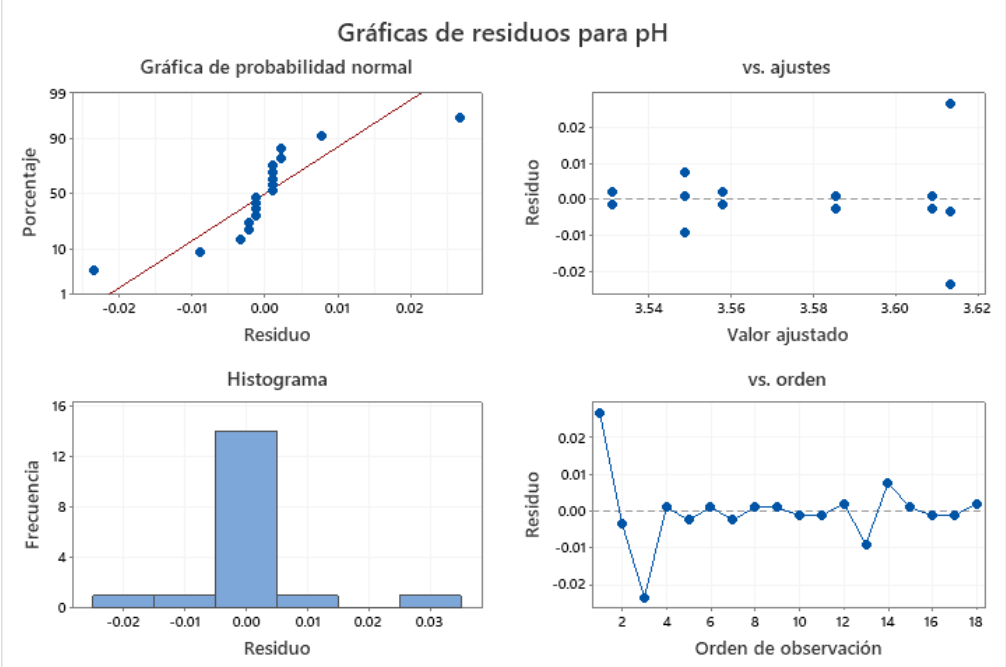
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación		
T1	3	3,6133	A		
T2	3	3,60889	A		
T3	3	3,58556	A	B	
T4	3	3,55778		B	C
T5	3	3,54889			C
T6	3	3,53111			C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.




Gráfica de intervalos de pH vs. Tratamiento
95% IC para la media
pH
3.64
3.62
3.60
3.58
3.56
3.54
3.52
T1
T2
T3
T4
T5
T6
Tratamiento
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.


Gráficas de residuos para pH
Gráfica de probabilidad normal
Porcentaje
99
90
50
10
1
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02
Residuo
vs. ajustes
Residuo
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
3.54
3.56
3.58
3.60
3.62
Valor ajustado
Histograma
Frecuencia
16
12
8
4
0
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02
0.03
Residuo
vs. orden
Residuo
0.02
0.01
0.00
-0.01
-0.02
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Orden de observación

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	1,44180	0,288360	989,71	0,000
Error	12	0,00350	0,000291		
Total	**17**	**1,44529**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0170692	99,76%	99,66%	99,46%

Medias

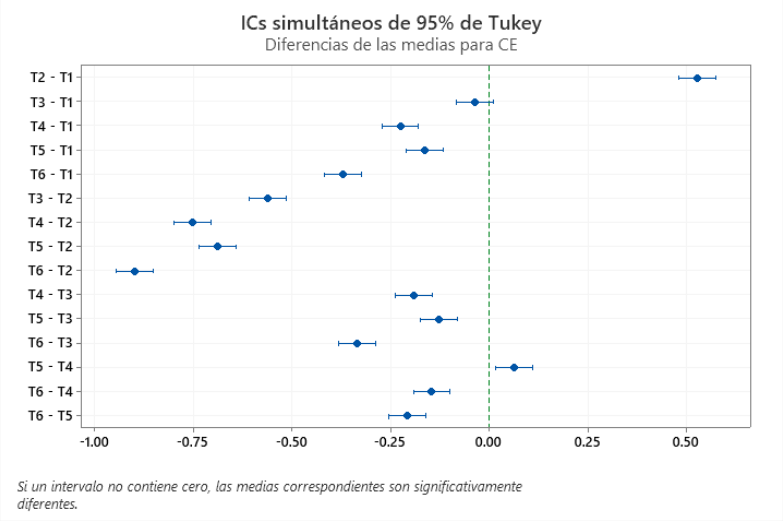
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	7,8789	0,0317	(7,8574; 7,9004)
T2	3	8,40444	0,00694	(8,38297; 8,42592)
T3	3	7,8433	0,0208	(7,8219; 7,8648)
T4	3	7,65333	0,01155	(7,63186; 7,67481)
T5	3	7,71556	0,00509	(7,69408; 7,73703)
T6	3	7,50778	0,01018	(7,48631; 7,52925)

Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0170692.

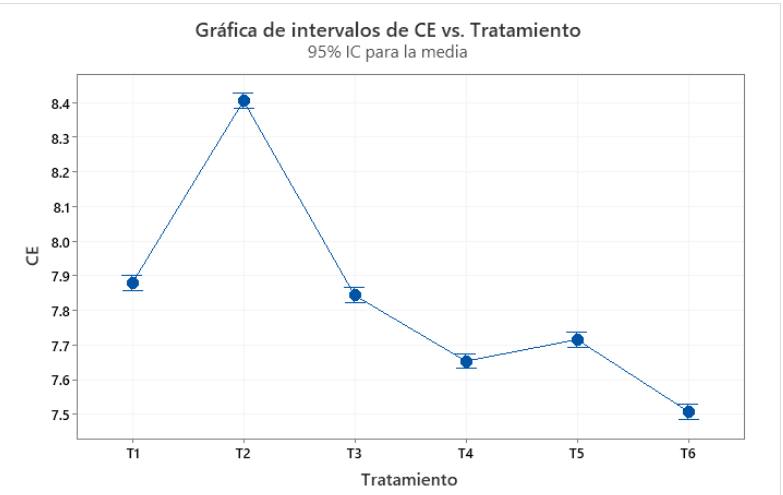
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación
T2	3	8,40444	A
T1	3	7,8789	B
T3	3	7,8433	B
T5	3	7,71556	C
T4	3	7,65333	D
D	3	7,50778	E

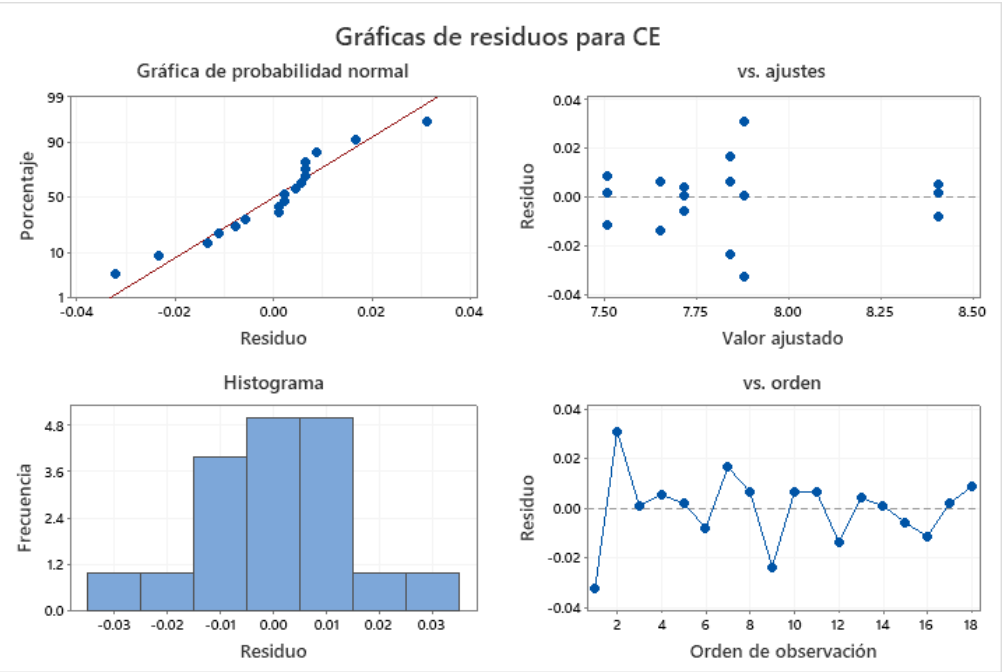
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



- **Densidad**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	0,000005	0,000001	104,99	0,000
Error	12	0,000000	0,000000		
Total	**17**	**0,000005**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0001	97,77%	96,83%	94,97%

Medias

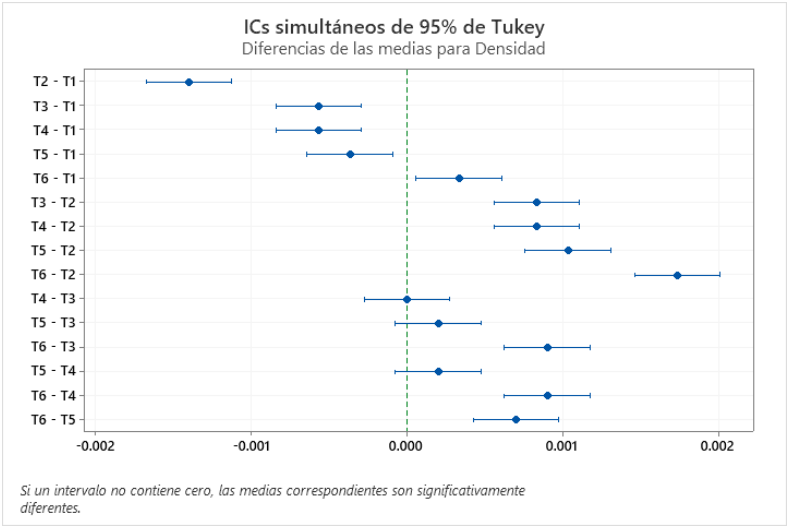
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	1,01673	0,00015	(1,01661; 1,01686)
T2	3	1,01533	0,00006	(1,01521; 1,01546)
T3	3	1,01617	0,00006	(1,01604; 1,01629)
T4	3	1,01617	0,00006	(1,01604; 1,01629)
T5	3	1,01637	0,00015	(1,01624; 1,01649)
T6	3	1,01707	0,00006	(1,01694; 1,01719)

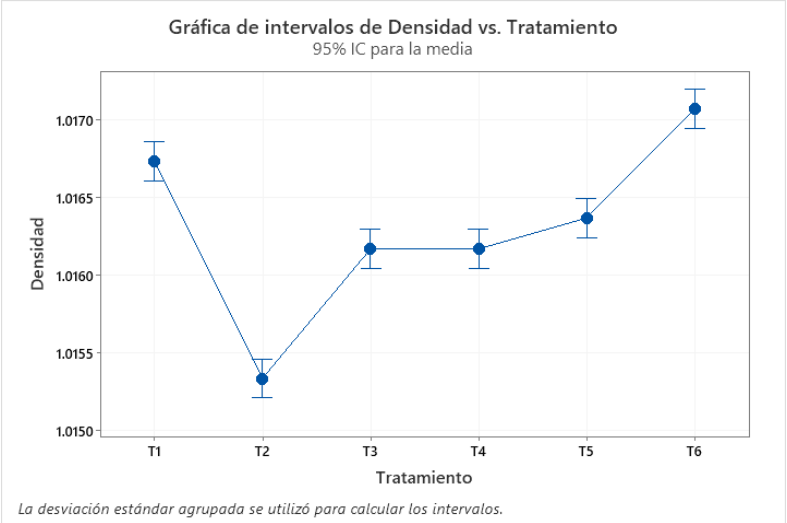
Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0001.

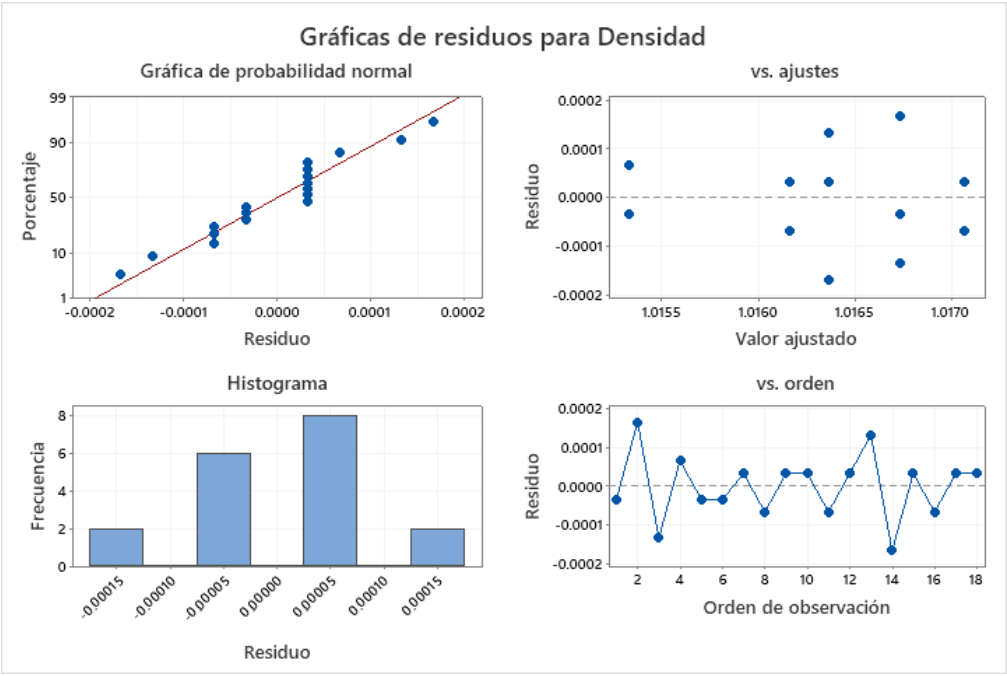
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación			
T6	3	1,01707	A			
T1	3	1,01673		B		
T5	3	1,01637			C	
T4	3	1,01617			C	
T3	3	1,01617			C	
T2	3	1,01533				D

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.


ICs simultáneos de 95% de Tukey
Diferencias de las medias para Densidad
T2 - T1
T3 - T1
T4 - T1
T5 - T1
T6 - T1
T3 - T2
T4 - T2
T5 - T2
T6 - T2
T4 - T3
T5 - T3
T6 - T3
T5 - T4
T6 - T4
T6 - T5
-0.002
-0.001
0.000
0.001
0.002
Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.


Gráfica de intervalos de Densidad vs. Tratamiento
95% IC para la media
Densidad
1.0170
1.0165
1.0160
1.0155
1.0150
T1
T2
T3
T4
T5
T6
Tratamiento
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.


Gráficas de residuos para Densidad
Gráfica de probabilidad normal
Porcentaje
99
90
50
10
1
-0.0002
-0.0001
0.0000
0.0001
0.0002
Residuo
vs. ajustes
Residuo
0.0002
0.0001
0.0000
-0.0001
-0.0002
1.0155
1.0160
1.0165
1.0170
Valor ajustado
Histograma
Frecuencia
8
6
4
2
0
-0.00015
-0.00010
-0.00005
0.00000
0.00005
0.00010
0.00015
Residuo
vs. orden
Residuo
0.0002
0.0001
0.0000
-0.0001
-0.0002
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Orden de observación

- **Sólidos Suspendidos Totales**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	38369267	7673853	20313,14	0,000
Error	12	4533	378		
Total	**17**	**38373800**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
19,4365	99,99%	99,98%	99,97%

Medias

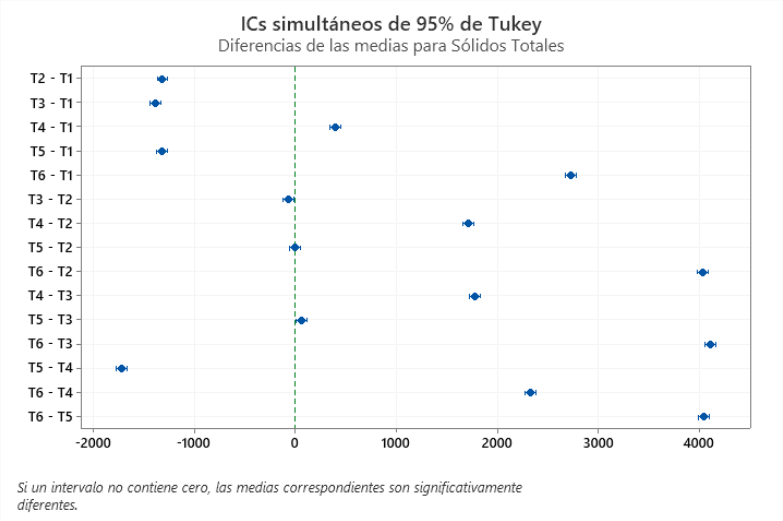
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	3140,0	20,0	(3115,6; 3164,4)
T2	3	1826,67	11,55	(1802,22; 1851,12)
T3	3	1760,0	20,0	(1735,6; 1784,4)
T4	3	3533,3	23,1	(3508,9; 3557,8)
T5	3	1820,0	20,0	(1795,6; 1844,4)
T6	3	5860,0	20,0	(5835,6; 5884,4)

Nota. Desv.Est. agrupada = 19,4365.

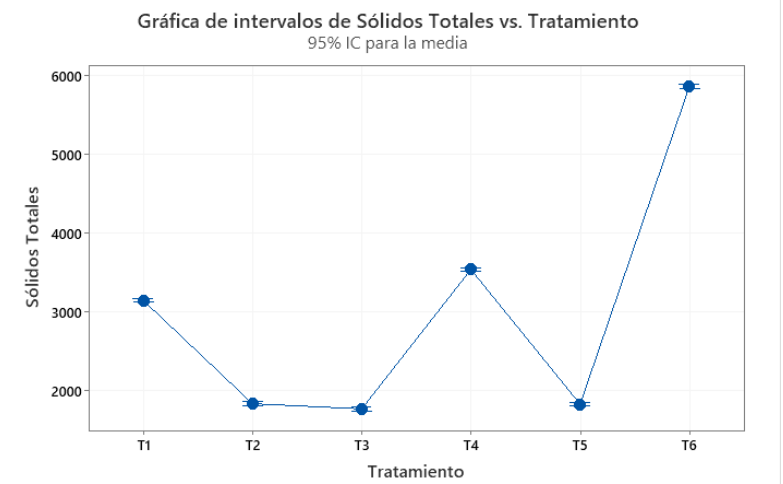
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación				
T6	3	5860,0	A				
T4	3	3533,3		B			
T1	3	3140,0			C		
T2	3	1826,67				D	
T5	3	1820,0				D	
T3	3	1760,0					E

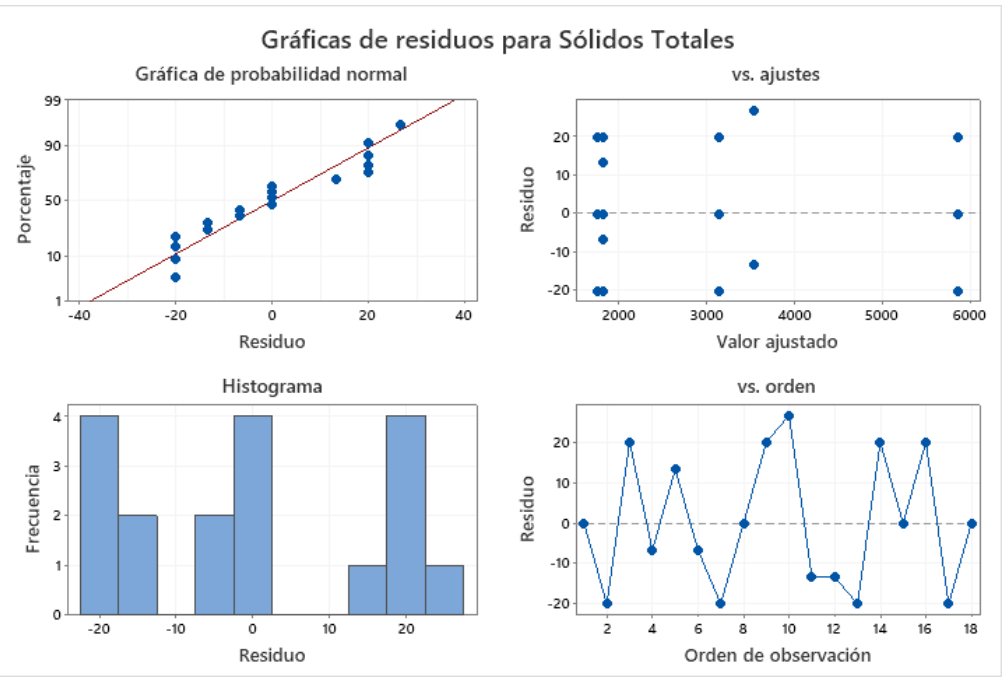
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



Cuantificación de macronutrientes

Para la cuantificación de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) se empleó ANOVA con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) y la Prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

- **Nitrógeno**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	15754,9	3150,98	9281,08	0,000
Error	12	4,1	0,34		
Total	**17**	**15759,0**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,582672	99,97%	99,96%	99,94%

Medias

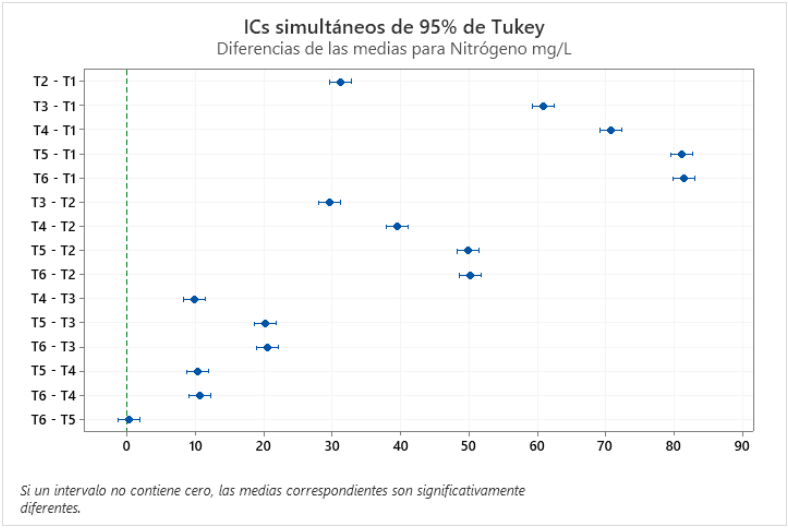
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	98,778	0,192	(98,045; 99,511)
T2	3	130,000	0,882	(129,267; 130,733)
T3	3	159,667	0,333	(158,934; 160,400)
T4	3	169,556	0,192	(168,823; 170,289)
T5	3	179,889	0,694	(179,156; 180,622)
T6	3	180,222	0,770	(179,489; 180,955)

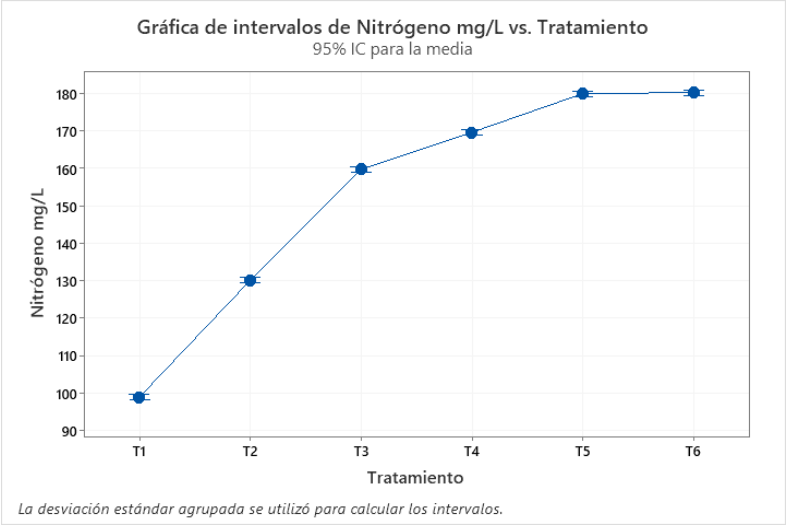
Nota. Desv.Est. agrupada = 0,582672.

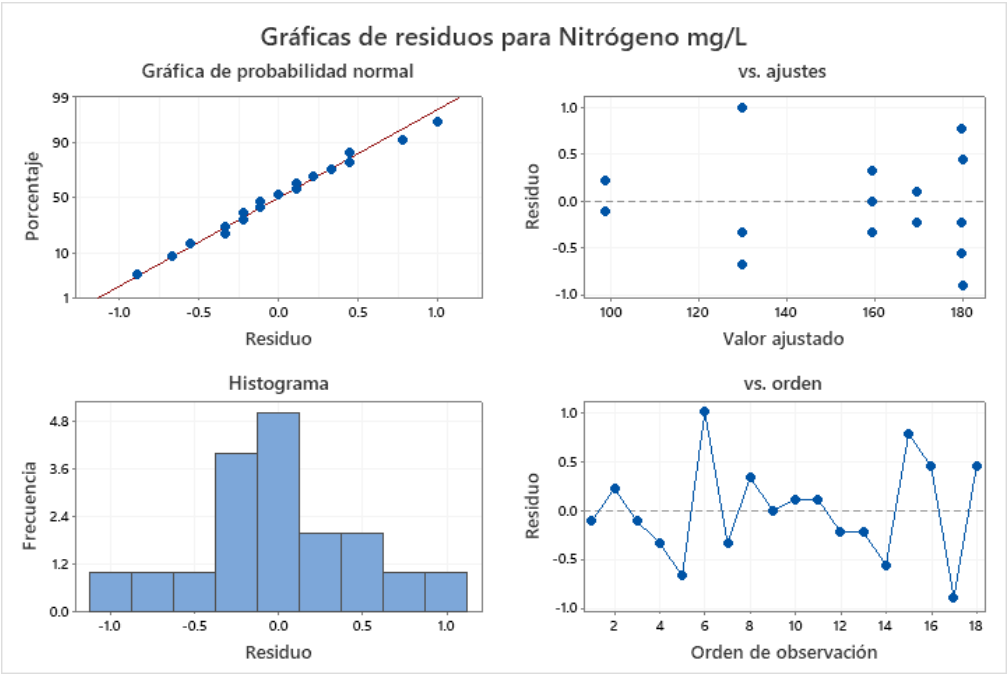
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación				
T6	3	180,222	A				
T5	3	179,889	A				
T4	3	169,556		B			
T3	3	159,667			C		
T2	3	130,000				D	
T1	3	98,778					E

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.


ICs simultáneos de 95% de Tukey
Diferencias de las medias para Nitrógeno mg/L
T2 - T1
T3 - T1
T4 - T1
T5 - T1
T6 - T1
T3 - T2
T4 - T2
T5 - T2
T6 - T2
T4 - T3
T5 - T3
T6 - T3
T5 - T4
T6 - T4
T6 - T5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.


Gráfica de intervalos de Nitrógeno mg/L vs. Tratamiento
95% IC para la media
Nitrógeno mg/L
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
T1
T2
T3
T4
T5
T6
Tratamiento
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.


Gráficas de residuos para Nitrógeno mg/L
Gráfica de probabilidad normal
Porcentaje
99
90
50
10
1
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
Residuo
vs. ajustes
Residuo
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
100
120
140
160
180
Valor ajustado
Histograma
Frecuencia
4.8
3.6
2.4
1.2
0.0
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
Residuo
vs. orden
Residuo
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Orden de observación

- **Fósforo mg/L**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	109324	21864,9	776,27	0,000
Error	12	338	28,2		
Total	**17**	**109662**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5,30723	99,69%	99,56%	99,31%

Medias

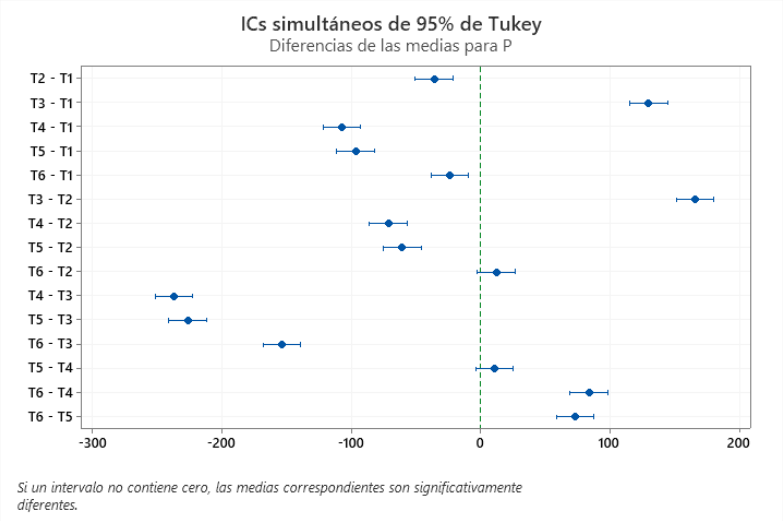
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	184,00	2,00	(177,32; 190,68)
T2	3	148,00	2,00	(141,32; 154,68)
T3	3	313,33	11,55	(306,66; 320,01)
T4	3	76,667	1,155	(69,991; 83,343)
T5	3	87,333	1,155	(80,657; 94,009)
T6	3	160,00	5,00	(153,32; 166,68)

Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0109432.

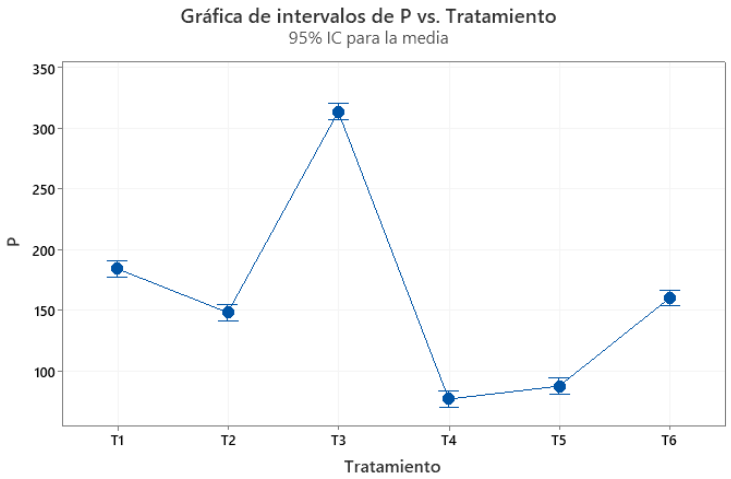
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación			
T3	3	313,33	A			
T1	3	184,00		B		
T6	3	160,00			C	
T2	3	148,00			C	
T5	3	87,333				D
T4	3	76,667				D

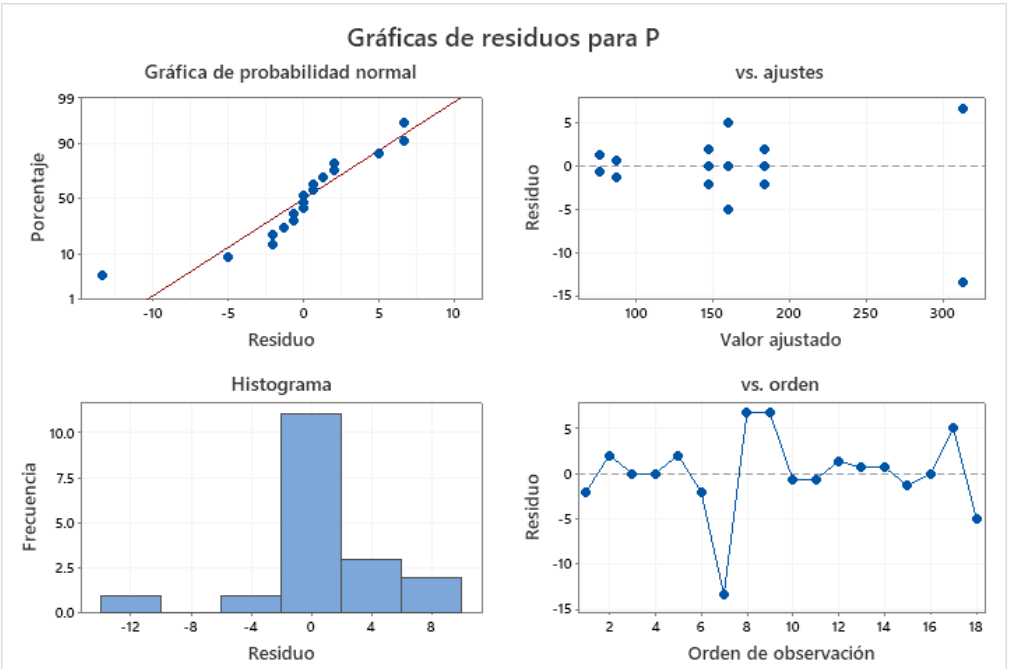
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



- Potasio mg/L

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	269317	53863,3	692,53	0,000
Error	12	933	77,8		
Total	**17**	**270250**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
8,81917	99,65%	99,51%	99,22%

Medias

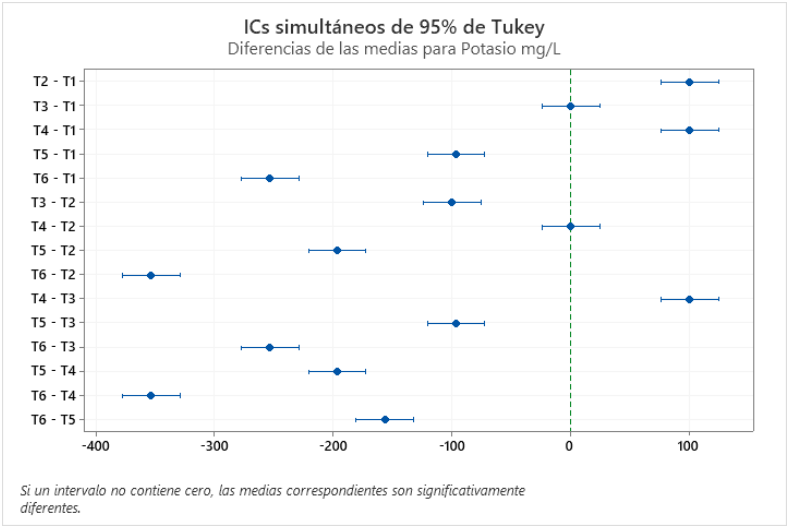
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	1200,00	10,00	(1188,91; 1211,09)
T2	3	1300,00	10,00	(1288,91; 1311,09)
T3	3	1200,00	10,00	(1188,91; 1211,09)
T4	3	1300,00	10,00	(1288,91; 1311,09)
T5	3	1103,33	5,77	(1092,24; 1114,43)
T6	3	946,67	5,77	(935,57; 957,76)

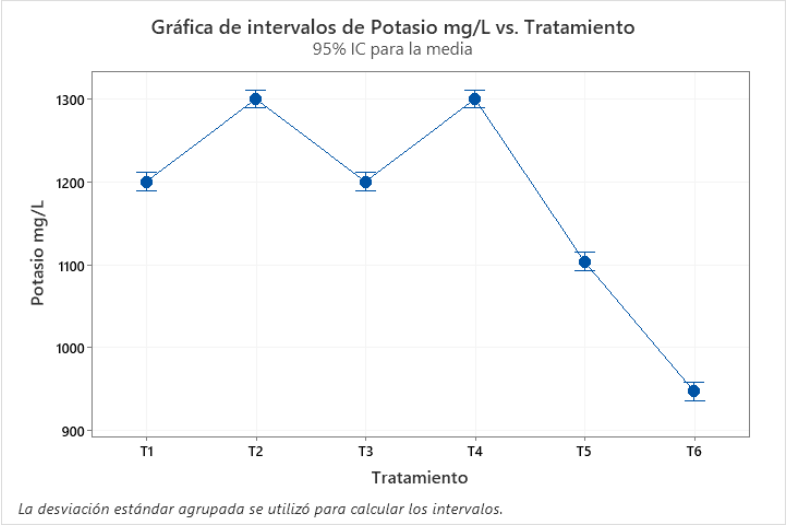
Nota. Desv.Est. agrupada = 8,81917.

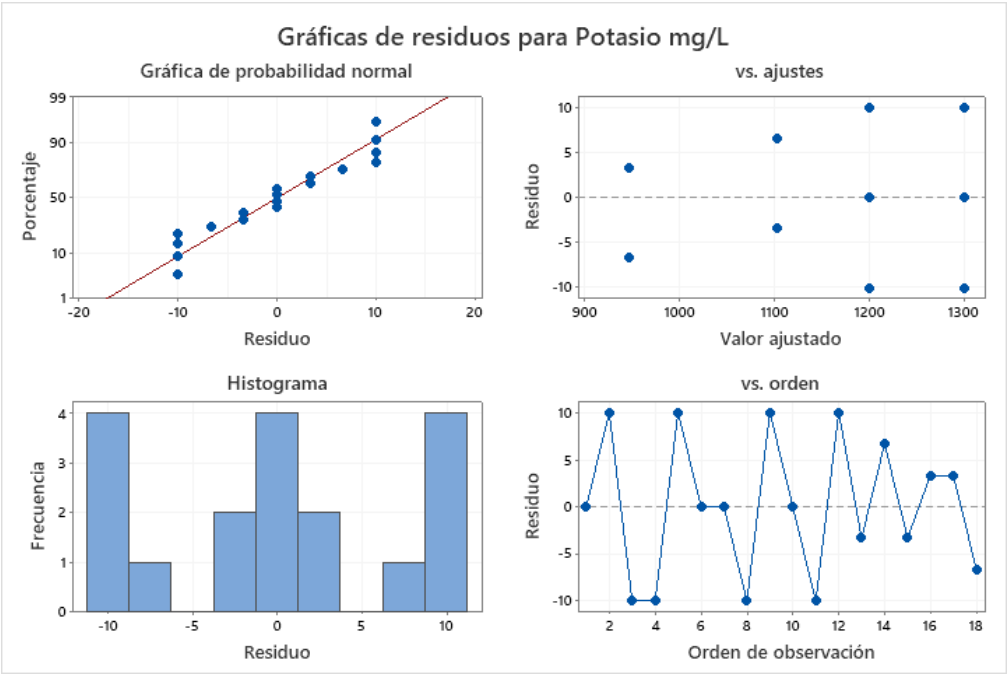
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación		
T4	3	1300,00	A		
T2	3	1300,00	A		
T3	3	1200,00		B	
T1	3	1200,00		B	
T5	3	1103,33			C
T6	3	946,67			D

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.


ICs simultáneos de 95% de Tukey
Diferencias de las medias para Potasio mg/L
T2 - T1
T3 - T1
T4 - T1
T5 - T1
T6 - T1
T3 - T2
T4 - T2
T5 - T2
T6 - T2
T4 - T3
T5 - T3
T6 - T3
T5 - T4
T6 - T4
T6 - T5
-400
-300
-200
-100
0
100
Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.


Gráfica de intervalos de Potasio mg/L vs. Tratamiento
95% IC para la media
Potasio mg/L
1300
1200
1100
1000
900
T1
T2
T3
T4
T5
T6
Tratamiento
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.


Gráficas de residuos para Potasio mg/L
Gráfica de probabilidad normal
Porcentaje
99
90
50
10
1
-20
-10
0
10
20
Residuo
vs. ajustes
Residuo
10
5
0
-5
-10
900
1000
1100
1200
1300
Valor ajustado
Histograma
Frecuencia
4
3
2
1
0
-10
-5
0
5
10
Residuo
vs. orden
Residuo
10
5
0
-5
-10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Orden de observación

Cuantificación de micronutrientes

Para la cuantificación de micronutrientes (sodio y magnesio) se empleó ANOVA con un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$) y la Prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

- **Sodio**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	27975,9	5595,19	797483,83	0,000
Error	12	0,1	0,01		
Total	**17**	**27976,0**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0837619	100,00%	100,00%	100,00%

Medias

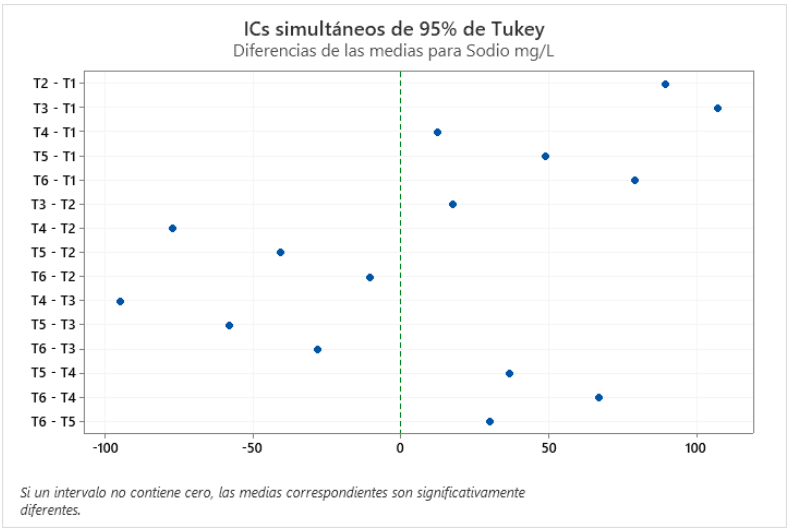
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	257,763	0,183	(257,658; 257,869)
T2	3	347,058	0,023	(346,952; 347,163)
T3	3	364,603	0,023	(364,498; 364,709)
T4	3	269,927	0,081	(269,821; 270,032)
T5	3	306,577	0,006	(306,471; 306,682)
T6	3	336,628	0,028	(336,522; 336,733)

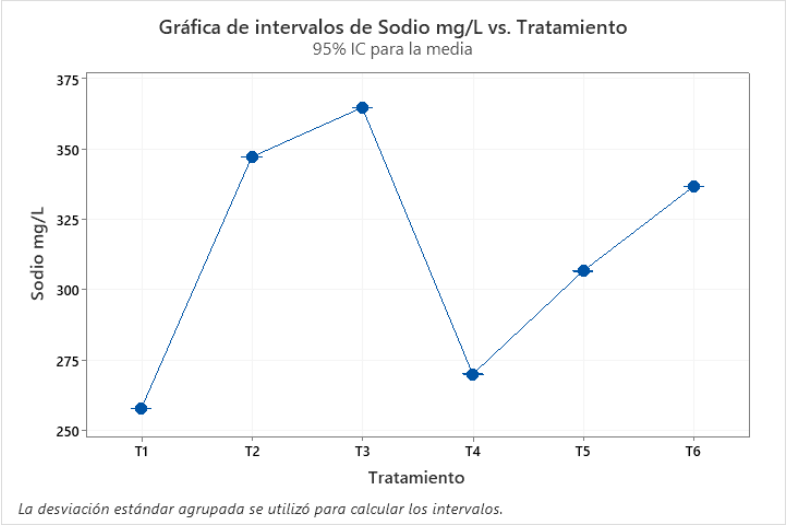
Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0837619.

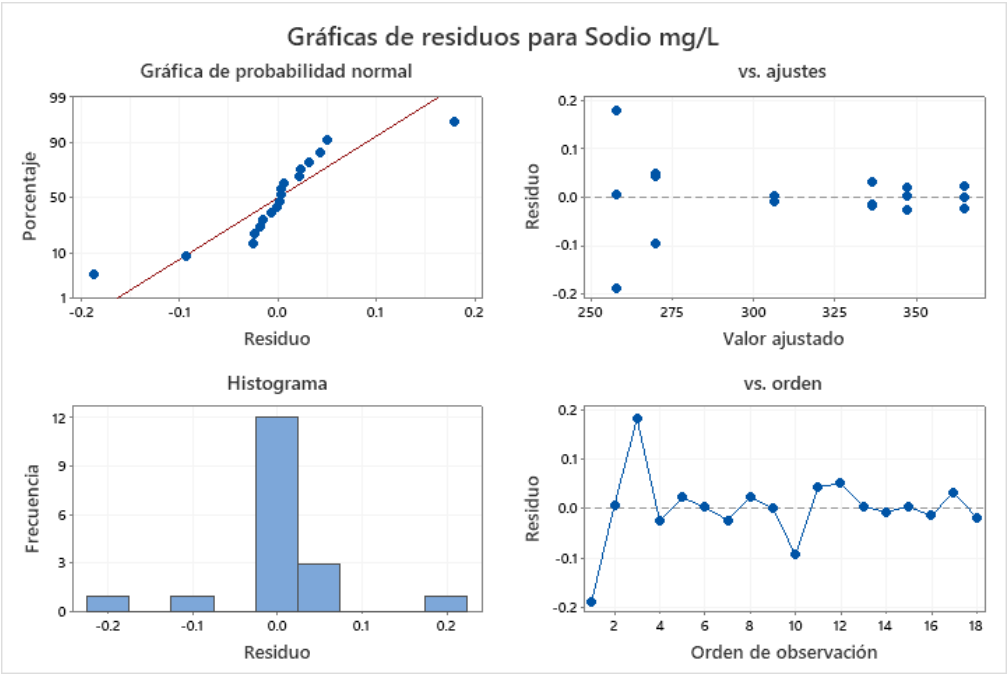
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación
T3	3	364,603	A
T2	3	347,058	B
T6	3	336,628	C
T5	3	306,577	D
T4	3	269,927	E
T1	3	257,763	F

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.


ICs simultáneos de 95% de Tukey
Diferencias de las medias para Sodio mg/L
T2 - T1
T3 - T1
T4 - T1
T5 - T1
T6 - T1
T3 - T2
T4 - T2
T5 - T2
T6 - T2
T4 - T3
T5 - T3
T6 - T3
T5 - T4
T6 - T4
T6 - T5
-100
-50
0
50
100
Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.


Gráfica de intervalos de Sodio mg/L vs. Tratamiento
95% IC para la media
Sodio mg/L
375
350
325
300
275
250
T1
T2
T3
T4
T5
T6
Tratamiento
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.


Gráficas de residuos para Sodio mg/L
Gráfica de probabilidad normal
Porcentaje
99
90
50
10
1
-0.2
-0.1
0.0
0.1
0.2
Residuo
vs. ajustes
Residuo
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
250
275
300
325
350
Valor ajustado
Histograma
Frecuencia
12
9
6
3
0
-0.2
-0.1
0.0
0.1
0.2
Residuo
vs. orden
Residuo
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Orden de observación

- **Magnesio**

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	8063,79	1612,76	344043,72	0,000
Error	12	0,06	0,00		
Total	**17**	**8063,85**			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0684664	100,00%	100,00%	100,00%

Medias

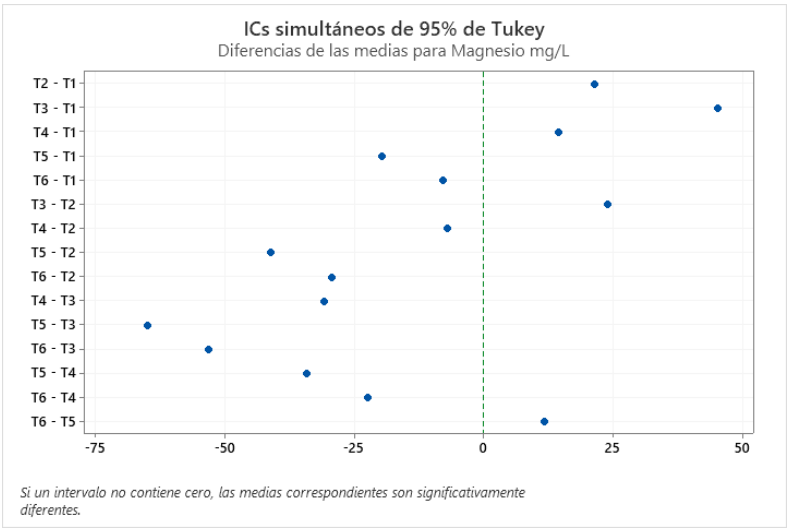
Formulación	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	3	104,746	0,057	(104,659; 104,832)
T2	3	126,166	0,025	(126,079; 126,252)
T3	3	149,987	0,139	(149,901; 150,073)
T4	3	119,238	0,050	(119,152; 119,324)
T5	3	85,0467	0,0371	(84,9605; 85,1328)
T6	3	96,8489	0,0337	(96,7628; 96,9350)

Nota. Desv.Est. agrupada = 0,0684664.

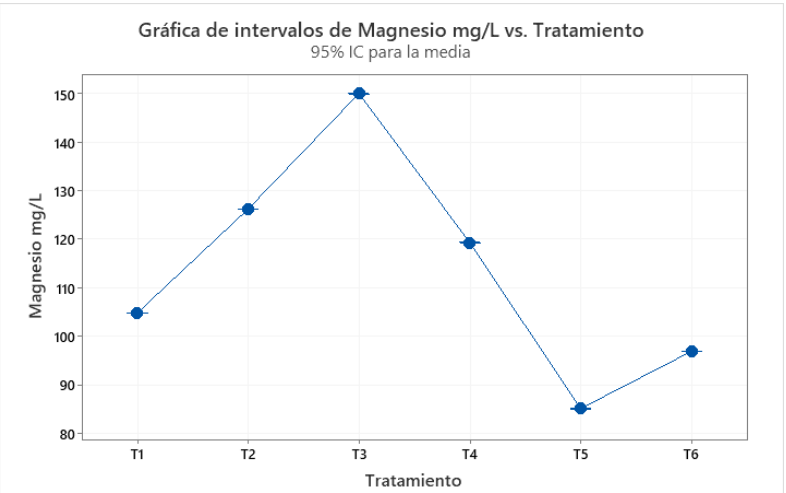
Prueba de Tukey

Formulación	N	Media	Agrupación
T3	3	149,987	A
T2	3	126,166	B
T4	3	119,238	C
T1	3	104,746	D
T6	3	96,8489	E
T5	3	85,0467	F

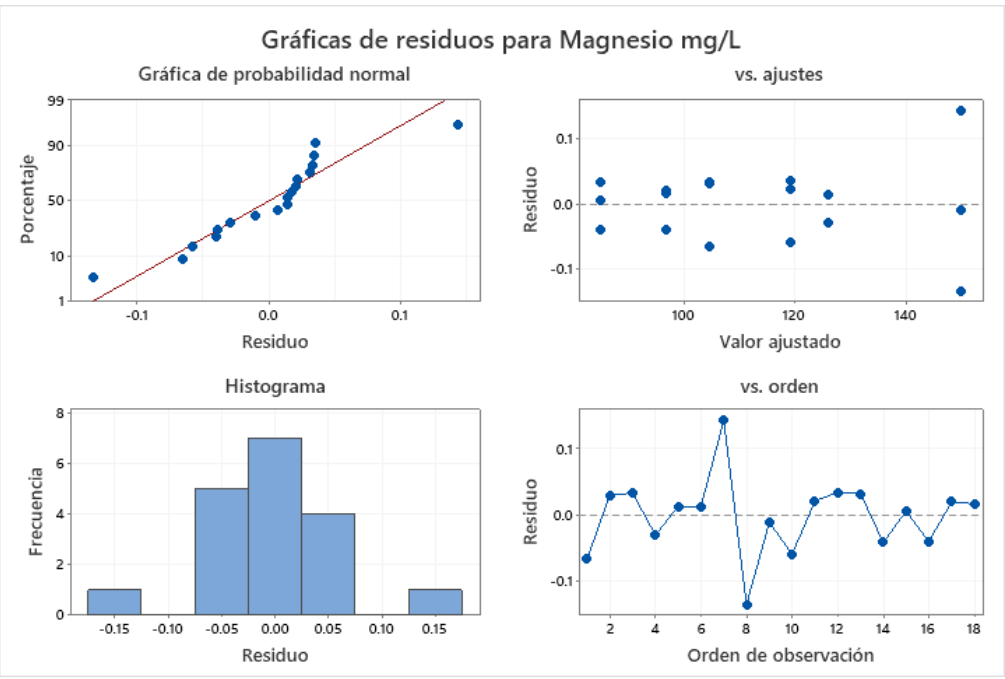
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



Anexo H. Informe de ensayo de micronutrientes

SLab
Laboratorio de ensayo e investigación

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO
IE-2024-1886

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1	Cliente	:	PEDRO WILFREDO GAMBOA ALARCÓN
1.2	RUC o DNI	:	46320555
1.3	Dirección	:	No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1	Producto	:	FERTILIZANTE
2.2	Muestreado por	:	CLIENTE [c]
2.3	Número de Muestras	:	06
2.4	Fecha de Recepción	:	2024-08-10
2.5	Periodo de Ensayo	:	2024-08-10 al 2024-08-16
2.6	Fecha de Emisión	:	2024-08-19
2.7	Fecha y Hora de Muestreo	:	No Precisa
2.8	N° de cotización	:	COT-137090-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Magnesio, Mg %	Absorción Atómica-Llama
Sodio,Na	Absorción Atómica-Llama

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:

Código de Laboratorio	Descripción de Muestras
S-3579	Muestra de Biol. 1
S-3580	Muestra de Biol. 2
S-3581	Muestra de Biol. 3
S-3582	Muestra de Biol. 4
S-3583	Muestra de Biol. 5
S-3584	Muestra de Biol. 6

DIEGO BONANNO BENEDETTI D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-3579	Magnesio, Mg	ppm	6.67	257.76
	Sodio, Na	ppm	10.00	104.75
S-3580	Magnesio, Mg	ppm	6.67	347.06
	Sodio, Na	ppm	10.00	126.17
S-3581	Magnesio, Mg	ppm	6.67	364.60
	Sodio, Na	ppm	10.00	149.99
S-3582	Magnesio, Mg	ppm	6.67	269.93
	Sodio, Na	ppm	10.00	119.24
S-3583	Magnesio, Mg	ppm	6.67	306.58
	Sodio, Na	ppm	10.00	85.05
S-3584	Magnesio, Mg	ppm	6.67	336.63
	Sodio, Na	ppm	10.00	96.85

Nota: Los resultados emitidos son el promedio de 3 mediciones de lectura.

Leyenda
LCM: Límite de Cuantificación de Método.
[c] Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Certificado

INACAL
Instituto Nacional de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023
Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026

Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU 20600283015 soft
Fecha: 2023-08-18 08:52:23
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023

Cedula N°: 228-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 039-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE - 211

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

Anexo I. Registro fotográfico de la ejecución del proyecto de investigación.

Elaboración del biol

Figura 1

Elaboración de los biodigestores

Figura 2

Estiércol de cuy

Figura 3

Estiércol de vacuno

Figura 4

Estiércol de gallinas

Figura 5

Vísceras de trucha

Figura 6

Otros residuos

Figura 7

Homogenizado de los residuos

Figura 8

Pesado de los residuos

Figura 9

Pesos según formulación

Figura 10

Pesado de la melaza

Figura 11

Pesado del agua

Figura 12

Mezclado (agua, melaza, residuos)

Figura 13

Envasado de la mezcla

Figura 14

Peso del inóculo

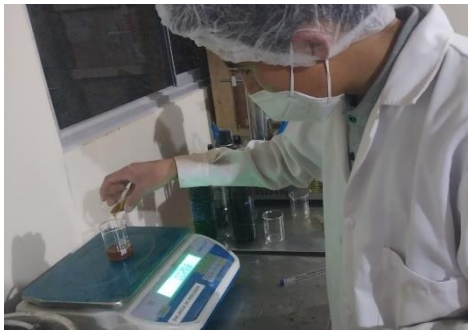


Figura 15

Adición del inóculo

Figura 16

Digestión anaeróbica

Figura 17

Monitoreo de la temperatura

Figura 18

Cosecha de biol

Análisis fisicoquímicos (Medición de pH y conductividad eléctrica)

Figura 19

Medición del pH

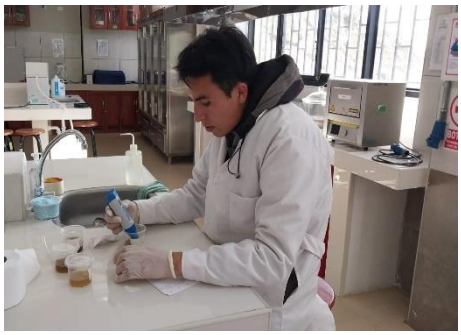


Figura 20

Medición de CE

Análisis fisicoquímicos (Determinación de la densidad-Método del picnómetro)

Figura 21

Registro del peso del picnómetro vacío

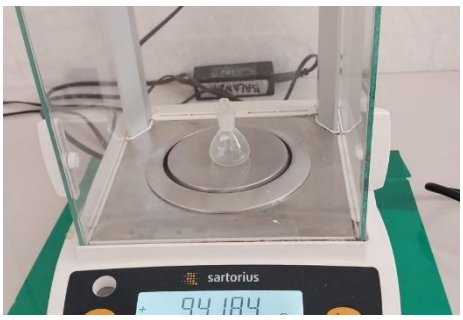
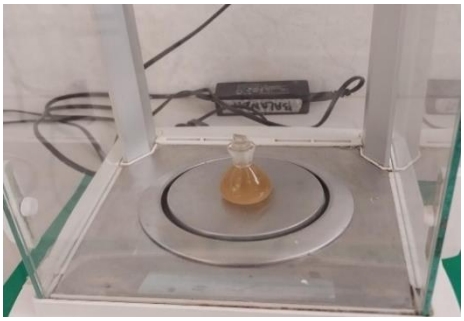


Figura 22

Picnómetro con el fluido de evaluación



Análisis fisicoquímicos (Determinación de sólidos suspendidos totales)

Figura 23

Peso del filtro

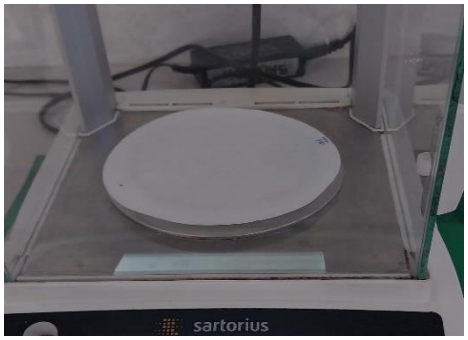


Figura 24

Filtrado de las muestras

Figura 25

Tratamiento a 105 °C en la estufa

Figura 26

Pesado de las muestras

Cuantificación de macronutrientes

Figura 27

Medición del nitrógeno

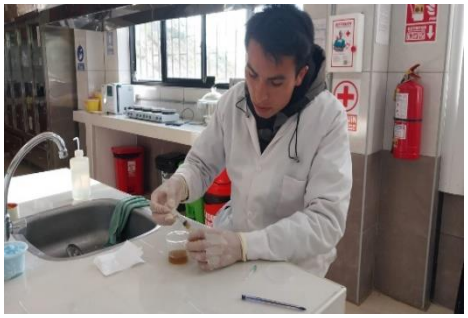


Figura 28

Medición del potasio

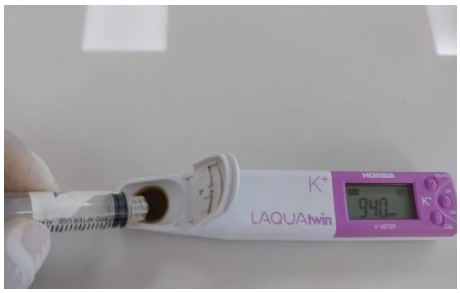


Figura 29

Medición del fósforo