



## **UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente**

Carrera de Agroindustrias

### **TEMA**

**“APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO MEDIANTE  
BIOMETANIZACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTES  
ORGÁNICOS”**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la facultad de ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias.

### **AUTORES**

Nelson Fredy Cajo Araña

Jhon Fabián León Peñafiel

### **TUTOR**

Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MsC.

**Guaranda -Ecuador**


**2025**

“APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO MEDIANTE BIOMETANIZACIÓN  
PARA LA ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTES ORGÁNICOS”

**REVISADO Y APROBADO POR:**




**Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.**  
**TUTOR**



**Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.**

**PAR LECTOR**



**Ing. José Luis Altuna Msc.**

**PAR LECTOR**

## CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, Nelson Fredy Cajo Araña con CI; 0202143038 y Jhon Fabian León Peñafiel, con CI; 0202181442, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.



Nelson Fredy Cajo Araña  
E-mail: necajo@mailes.ueb.edu.ec  
Cédula: 0202143038



Jhon Fabian León Peñafiel  
E-mail: johleon@mailes.ueb.edu.ec  
Cédula: 0202181442



Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.  
E-mail: fverdezoto@ueb.edu.ec  
Cédula: 0201668043



DOCTORA MSc. GINA CLAVIJO CARRION  
Notaria Cuarta del Cantón Guaranda.

ESCRITURA N° 20250201004P00182

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGAN:

NELSON FREDY CAJO ARAÑA Y  
JHON FABIAN LEON PEÑAFIEL

CUANTÍA: INDETERMINADA

Di 2 COPIAS

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy miércoles a los cinco días del mes de marzo del año dos mil veinticinco, ante mi DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÓN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura los señores, NELSON FREDY CAJO ARAÑA, de estado civil soltero; y, JHON FABIAN LEON PEÑAFIEL, de estado civil soltero, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Los comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatorianos, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación ambos estudiantes, domiciliado el primero en la parroquia Cañi, Cantón Colta, Provincia Chimborazo y de paso por este Canton Guaranda, provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve ocho siete ocho uno dos dos cuatro ocho; y, con correo electrónico [necajo@mailse.ueh.edu.ec](mailto:necajo@mailse.ueh.edu.ec); y, el segundo en la parroquia San Sebastián, Cantón Chimbo y de paso por este Canton Guaranda, Provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve siete nueve siete siete seis seis nueve; y, con correo electrónico [jhleon@mailse.ueh.edu.ec](mailto:jhleon@mailse.ueh.edu.ec), hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocer doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificaciones, en base lo cual obtengo las certificaciones biométricas del Registro Civil, además por petición expresa de los comparecientes adjunto sus documentos personales como son las cédulas y los certificados de votaciones, como habilitantes a esta escritura. Advertidos los comparecientes por mi la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinados que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mi de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada: Nosotros: NELSON FREDY CAJO ARAÑA, de estado civil soltero; y, JHON FABIAN LEON PEÑAFIEL, de estado civil soltero, declaramos que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de nuestra absoluta autoría, titulado APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO MEDIANTE BIOMETAZACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTES ORGÁNICOS, previo a la obtención del título de Ingenieros Agroindustriales, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Agroindustria. - Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad. - Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leída que les fue a los comparecientes íntegramente por mi la Notaria, aquellos se afirman y ratifican en todas sus partes y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo cuanto doy Fe.-----

  
SR. NELSON FREDY CAJO ARAÑA.  
C.C. 0202143038

  
SR. JHON FABIAN LEON PEÑAFIEL.  
C.C. 0202181442

  
DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION  
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA.





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **VÍCTOR ALEJANDRO BÓSQUEZ BARCENES**  
Título del ejercicio: **87**  
Título de la entrega: **Tesis Nelson Fredy Cajo Araña y Jhon Leon**  
Nombre del archivo: **tesis\_Nelson\_jhon.pdf**  
Tamaño del archivo: **5.81M**  
Total páginas: **106**  
Total de palabras: **14,477**  
Total de caracteres: **108,447**  
Fecha de entrega: **25-feb.-2025 10:12a. m. (UTC-0500)**  
Identificador de la entrega: **2479022235**



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Escuela de Ingeniería de Sistemas y Electrónica  
Carrera de Ingeniería de Sistemas  
2025  
IDENTIFICADOR DE LA ENTREGA: 2479022235  
NOMBRE DEL ARCHIVO: tesis\_Nelson\_jhon.pdf  
TAMAÑO DEL ARCHIVO: 5.81 MB  
FECHA DE ENTREGA: 25-feb.-2025 10:12a. m. (UTC-0500)  
AUTOR DE LA ENTREGA: VÍCTOR ALEJANDRO BÓSQUEZ BARCENES  
TÍTULO DEL EJERCICIO: 87  
TÍTULO DE LA ENTREGA: Tesis Nelson Fredy Cajo Araña y Jhon Leon

## Tesis Nelson Cajo y Jhon León

### INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	0%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	4%

Excluir citas      Activo      Excluir coincidencias < 2%  
Excluir bibliografía      Activo

  
Ing. Franz Patricio Verdezoto Mendoza MSc.

Cedula: 0201668043

**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación, lo dedico primeramente a Dios y a la virgencita del Guayco, quienes han sido mi guía y mi fortaleza para superar los obstáculos y alcanzar mis metas.

A mis padres, Roberto y Bertila y mi Abuelita María, que han sido una fuente de apoyo incondicional, gracias por sus consejos, por sus ánimos, su paciencia que me ha permitido cumplir esta meta, siendo mis pilares fundamentales en cada escalón de mi vida profesional.

A mis hermanos, Mayra y Diego quienes han estado a mi lado para apoyarme y animarme durante toda esta etapa. Gracias también a toda mi familia, amigos quienes me han apoyado de una u otra forma para alcanzar esta meta en mi vida.

Fabián León

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme salud y vida y a través de sus bendiciones. A mi familia que ha estado en todo momento buenos y malos apoyándome durante toda esta etapa universitaria.

A mi querida universidad Estatal de Bolívar por abrirme las puertas para mi formación académica y profesional compartiendo sus conocimientos que me permitieron la elaboración de esta investigación.

A mis docentes por brindarme sus sabidurías y oportunidades de crecer a través de sus enseñanzas por sus consejos y sobre todo su amistad incondicional y sus motivaciones que me ayudaron a culminar esta etapa profesional.

Fabián León

## **DEDICATORIA**

Todo la grandeza y la gloria hacia dios, creador y conservador de la vida al ser mi guía en todo momento, aunque mis ojos no te pueden ver esto se lo dedico a mi ser especial mi madre Olguita quien desde el cielo me ha guiado y ser ella quien me ha levantado en los momentos más grises.

A mi padre y a mis hermanos por ser quienes me han estado ahí de una forma u otra. A mi hermana por estar pendiente y darme el apoyo necesario.

Fredy A.C

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su amor, su protección y sus bendiciones recibidas, gracias por la vida por medio de ella puedo cumplir este logro.

A mis padres Olguita y Juanito, hermanos, amigos esto es por y para ustedes agradezco cada uno de sus consejos de fuerza, motivación y de esperanza que nunca deje de creer en el dios verdadero.

A mis profesores que me han ayudado en mi formación académica y personal, de manera que hago mi extensivo agradecimiento a mi director de tesis Ing. Franz Verdezoto al ser una gran persona y compartirnos sus conocimientos durante toda esta etapa, así mismo al Ing. José Luis Altúna y Dr. Juan Gaibor por sus consejos y sabiduría extendidas durante este proceso.

La vida es un viaje asegúrate de vivirla a conciencia.....

Fredy A.C

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Lactosuero	5
2.1.1. Características del lactosuero	5
2.1.2. Tipos de lactosuero	6
2.1.3. Composición del lactosuero	7
2.1.4. Composición Química del lactosuero	8
2.2. Propiedades biológicas del lactosuero	9
2.3. Biometanización	9
2.3.1. Fases de biometanización	10
2.3.2. Etapas de la biometanización	10
2.3.3. Parámetros de digestión anaerobia	13
2.4. Residuos	14
2.4.1. La Melaza	15
2.4.2. Residuos de pescado	15
2.5. Biofertilizante	15
2.5.1. Importancia de los Biofertilizante	16
2.5.2. Tipos de Biofertilizante	16
2.5.3. Beneficios al usar biofertilizante	17

2.5.4.	Biofertilizantes que hayan utilizado como base el lactosuero	17
2.5.5.	Inoculantes microbianos y su función	18
2.6.	Biorreactor	19
2.6.1.	Biorreactor tipo Batch	19
2.7.	Diseño del reactor	20
2.8.	Elaboración de los biofertilizantes	22
CAPÍTULO III		24
3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Ubicación de la investigación	24
3.1.1.	Situación geográfica y edafoclimática	25
3.1.2.	Zona de vida	25
3.2.	Metodología	25
3.2.1.	Material experimental	25
3.2.2.	Material de laboratorio y de campo	26
3.2.3.	Materiales de Bioseguridad	26
3.2.4.	Materiales de oficina	26
3.2.5.	Equipos	27
3.3.	Métodos	27
3.3.1.	Factores de estudio	27
3.3.2.	Tratamientos	28
3.3.3.	Características del experimento	30
3.3.4.	Composición por porcentaje para la elaboración del biofertilizante	30
3.3.5.	Diseño estadístico	31
3.3.6.	Modelo matemática del diseño	31
3.3.7.	Modelo de análisis de Varianza	32
3.3.8.	Pruebas de rangos múltiples	33

3.4.	Metodología experimental	33
3.4.1.	Análisis mediante análisis proximal para materia prima	33
3.4.2.	Análisis elemental en materias primas	34
3.4.3.	Desarrollo del biofertilizante	34
3.4.4.	Diseño y desarrollo técnico del biorreactor	38
3.4.5.	Análisis químico al biofertilizante	40
3.5.	Análisis estadístico	41
CAPÍTULO IV		42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Caracterización de la materia prima	42
4.1.1.	Análisis proximal	42
4.1.2.	Análisis elemental	43
4.1.3.	Análisis microbiológico	43
4.2.	Resultados en el análisis de biofertilizante en la cantidad alcanzada en Nitrógeno, Fósforo y Potasio.	44
4.2.1.	Análisis de varianza (ANOVA) de nitrógeno en biofertilizante	46
4.2.2.	Análisis de varianza de Fósforo en biofertilizante	48
4.2.3.	Análisis de varianza (ANOVA) de Potasio en biofertilizante	50
4.3.	Evaluación del mejor tratamiento a través del análisis de microorganismos benéficos (MOBs) y micronutrientes.	53
4.3.1.	Evaluación de micronutrientes	53
4.3.2.	Evaluación de microorganismos benéficos	54
4.4.	Balance de materia para la elaboración del biofertilizante orgánico	54
4.4.1.	Modelamiento del balance de materia en la elaboración del biofertilizante orgánico	56
4.5.	Elaboración del producto a base del mejor tratamiento	58
4.6.	Comprobación de hipótesis	59

CAPÍTULO V	60
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1.1. Conclusiones	60
5.1.2. Recomendaciones	61
6. BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	72

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Nº. de Tablas</b>	<b>Páginas</b>
1. Características del lactosuero	6
2. Composición química de los tipos de lactosuero	6
3. Diferencia entre composiciones entre los tipos de lactosuero	7
4. Componentes del Lactosuero	8
5. Composición química del lactosuero	8
6. Parámetros climáticos del territorio	25
7. Materiales de laboratorio y de campo	26
8. Equipos utilizados en el experimento	27
9. Factores de estudio	28
10. Tratamientos del experimento	29
11. Características del experimento	30
12. Nivel de composición por %	31
13. Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño en arreglo factorial AxBxC	32
14. Análisis proximal	33
15. Variables respuesta	40
16. Análisis proximal	42
17. Análisis elemental	43
18. Análisis microbiológico	44
19. Valores obtenidos en la cantidad de N, P y K	44
20. Análisis de Varianza para la variable de respuesta Nitrógeno	46
21. Pruebas de Múltiple Rangos para nitrógeno por Residuos	47
22. Análisis de Varianza para la variable de respuesta Fósforo	48
23. Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo por residuos	49
24. Análisis de Varianza para la variable de respuesta Potasio	50
25. Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio por Residuos	51
26. Micronutrientes	53
27. Microorganismos benéficos	54
28. Datos del proceso	55
29. Cálculos del modelamiento	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Nº. Figura</b>	<b>Páginas</b>
1. Fases de la biometanización	10
2. Etapas de la biometanización	11
3. Zona de experimentación	24
4. Diagrama de procesos	35
5. Parte superior del biorreactor	38
6. Parte frontal del biodigestor	39
7. Medias del factor Residuos en el porcentaje de Nitrógeno	47
8. Medias del factor C en el porcentaje de Fósforo.	49
9. Gráfico de medias del Potasio	51
10. Gráfico de interacciones	52
11. Diagrama del proceso de balance de materia	55
12. Esquema del modelamiento para obtener biofertilizante	57
13. Relación de producción de biofertilizante en función de la entrada de materia prima	58
14. Etiqueta del producto	59
15. Producto	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Nº. Anexos</b>	<b>Páginas</b>
1. Determinación de ceniza presente en materias primas.	72
2. Determinación de grasa presente en materias primas	73
3. Determinación de humedad presente en las materias primas	74
4. Determinación de acidez titulable de materias primas	75
5. Determinación del pH en el las materias primas	76
6. Análisis proximal en materia prima	77
7. Análisis microbiológico para materia prima	79
8. Normativa INEN 211 para abonos orgánicos	80
9. Resultado de análisis para determinar N, P y K.	83
10. Determinación de micronutrientes	89
11. Determinación de microorganismos benéficos	90
12. Fase de campo	91
13. Fase de laboratorio	93
14. Glosario	94

## RESUMEN

La presente investigación propone aprovechar el lactosuero mediante biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos, a través de un estudio aplicativo experimental. Se inició el proceso con un análisis elemental de las materias primas, bajo la normativa UNE – EN ISO 16948 en las muestras de lactosuero, melaza y residuos de pescado. Este análisis permitió determinar el contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, hierro y azufre. El lactosuero contiene 2,87 % de carbono, el 0,20 % de nitrógeno, en la melaza, el contenido de carbono es de 29,85 % y 0,74 %; de nitrógeno, mientras que los residuos de pescado el contenido de carbono es del 10,62 % y 2,17 %, de nitrógeno, la materia prima fue ajustada a una relación de carbono/nitrógeno del rango 20-30 para una eficiente biometanización. El análisis proximal indicó que los residuos de pescado presentaron la mayor concentración de grasa con 4,83%, mientras que el lactosuero destacó por su alto contenido de humedad con un 93,07%, para la ceniza, la melaza tiene la mayor concentración 8,01%. Se empleó un diseño experimental en arreglo factorial A x B x C (2x2x3) para combinar los diferentes niveles. Para conocer cuál es el mejor tratamiento del biofertilizante se identificó a partir de la concentración de los nutrientes de N, P y K. El tratamiento 12 del nivel C3 que combina melaza y residuos de pescado, presenta los valores más altos: 0,77% de nitrógeno, 0,70% de fósforo y 0,965 % de potasio, lo que demuestra que se encuentran dentro de los rangos óptimos para garantizar la calidad y efectividad del producto, conforme a la normativa NTE INEN 211:98.

**Palabras clave:** Biometanización, Biofertilizante, Residuos, Lactosuero, Biodigestores.

## SUMMARY

This research proposes the use of whey by biomethanization for the elaboration of organic biofertilizers, through an experimental application study. For the elaboration, the process of elemental analysis of the raw materials was carried out under the UNE - EN ISO 16948 standard on samples of whey, molasses and fish waste. This analysis made it possible to determine the carbon, hydrogen, nitrogen, iron and sulfur content. For whey, the carbon content was 2.87 % and nitrogen 0.20 %; for molasses, the carbon content was 29.85 % and nitrogen 0.74 %; while for fish waste, the carbon content was 10.62 % and nitrogen 2.17 %; these data allow the study to optimize the C/N ratio (20:1) for efficient biomethanization. The proximate analysis indicated that the fish waste had the highest concentration of fat with 4.83%, while the whey stood out for its high moisture content with 93.07%, and for ash, molasses had the highest concentration of 8.01%. An experimental design in factorial arrangement A x B x C (2x2x3) was used to combine the different levels. The best biofertilizer treatment was identified from the concentration of N, P and K nutrients. The C3 level, which combines molasses and fish waste, presents the highest values: 0.77% nitrogen, 0.70% phosphorus and 0.965% potassium, which shows that they are within the optimum ranges to guarantee the quality and effectiveness of the product, according to NTE INEN 211:98.

**Key words:** Biomethanization, Biofertilizer, Waste, Whey, Biodigesters.

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El lactosuero es un subproducto generado en la producción de productos lácteos, especialmente durante la fabricación de queso. Representa entre el 80% y el 90% del volumen total de la leche procesada y contiene una importante cantidad de materia orgánica y nutrientes. Si no se maneja adecuadamente, el lactosuero puede generar impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación de cuerpos de agua y la degradación del suelo debido a su alta carga orgánica, por ello el manejo del suero de queso se debe tratar por las diversas tecnologías que permiten tener un amplio uso en la industria (Zambrano et al., 2021).

Los biofertilizantes llamados bioles o biofermentos, son abonos líquidos que se producen mediante la fermentación del estiércol de ganado vacuno por medio de la acción de microorganismos del género *Lactobacillus* presentes en la leche y suero (Reynoso et al., 2022). Al ser productos derivados de organismos vivos, ofrecen una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos convencionales, contribuyendo así a la gestión responsable de los residuos industriales y promoviendo prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente (Torres & Romero, 2020a).

El biofertilizante producido a partir del lactosuero al ser una fuente de nutrientes para las plantas, ya que contiene elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales que se incorporan al suelo para optimizar el suministro de nutrientes a las plantas (Caiza, 2020). Al utilizar este fertilizante orgánico ofrece una solución efectiva para la agricultura, alineándose con las tendencias actuales de sostenibilidad ambiental.

Este trabajo busca el aprovechamiento del lactosuero mediante biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos, con el fin de contribuir a la solución de las problemáticas; gestión adecuada de residuos industriales y la demanda creciente de fertilizantes ecológicos en el sector agrícola.

## 1.2. PROBLEMA

Esta investigación destaca por su enfoque innovador en la valorización de subproductos lácteos, específicamente el lactosuero, transformándolo en productos de alto valor agregado como son los biofertilizantes orgánicos. Este proceso biotecnológico (biometanización), representa un avance significativo en la biotecnología aplicada al sector agroindustrial, con la producción de insumos agrícolas, demostrando cómo la tecnología puede aplicarse para crear soluciones sostenibles en la industria agroalimentaria.

En el Ecuador se produce aproximadamente 900,000 L diarios de lactosuero de modo que solo el 10% del volumen es aprovechado industrialmente, mientras que el 40% se destina a la alimentación animal en sistemas de producción porcina y el 50% es desechado esto representando un desafío tanto económico como ambiental (Caisaguano & Casa, 2024). También se conoce que en la provincia de Bolívar mediante un estudio de Agrocalidad (2020), se tiene registrado aproximadamente 110 queseras las cuales todas producen lactosuero representando un aporte del 5% de producción nacional, con 50 mil litros de lactosuero los que se obtienen al día, una parte es utilizada para alimentación animal, mientras que la parte restante es desechada ocasionando daños al medio ambiente.

La inadecuada utilización del lactosuero conlleva a impactos ambientales negativos como la contaminación del suelo y fuentes de agua. Este desecho es constante y la principal problemática radica en la falta de estrategias integrales para su transformación y reutilización.

De acuerdo a lo mencionado en la presente investigación se planteó la siguiente pregunta general:

¿Cómo se puede aprovechar el lactosuero mediante biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Aprovechar el lactosuero mediante biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar mediante análisis elemental y proximal a las materias primas.
- Determinar el mejor tratamiento del biofertilizante mediante la concentración de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).
- Evaluar al mejor tratamiento obtenido mediante análisis microorganismos benéficos (MOBs) y micronutrientes.
- Elaborar un producto en base al mejor tratamiento.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis Nula ( $H_0$ )**

No es viable el aprovechamiento del lactosuero mediante la biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos.

### **Hipótesis Alterna ( $H_a$ )**

Es viable el aprovechamiento del lactosuero mediante la biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Lactosuero

El lactosuero o comúnmente llamado suero de leche es el líquido que se obtiene tras la coagulación de la leche en la elaboración del queso, una vez separada la cuajada (caseína y grasa) del queso (Mora & Portilla, 2022). Está compuesto en su mayoría por agua alrededor del 93 %, adicional a eso contiene proteínas solubles, lactosa, minerales como el fósforo, potasio y calcio (Ávila, 2024).

Según Torres, (2019) estima que el 90% de la leche que es utilizada para la fabricación de quesos es desechada como lactosuero, en donde cada kg de queso produce 6 litros de lactosuero, liberando el 55% de sus nutrientes. Sin embargo, el lactosuero se ha convertido en un residuo contaminante para el ambiente, no obstante, con el avance del tiempo y la tecnología, este subproducto debido a su contenido de minerales, proteínas y vitaminas ha llegado a convertirse en materia prima para la elaboración de algunos productos alimenticios (López, 2021).

Para Arias & Moreano, (2023) este subproducto permite mejorar las características organolépticas como es la textura y sabor de igual forma en la estabilización y emulsificación, todo ello para la obtención de bebidas. Al lactosuero de hecho, se le puede dar uso en la alimentación animal y humana, producción de fertilizantes, y valorización energética. Su utilización como fertilizante, aprovechando su alto contenido en agua, minerales y nutrientes para complementar los cultivos. Sin embargo, se debe controlar su uso para evitar posibles daños a la estructura física y química del suelo debido al contenido de sales, sustancias secas y grasas (Currilla & Flores, 2022)

##### 2.1.1. Características del lactosuero

Es considerable indicar la composición del lactosuero que varía de acuerdo a las características del tipo de leche y al proceso tecnológico realizado en la elaboración de los quesos, en la presente tabla se detalla las características del lactosuero (Oña, 2022).

**Tabla 1***Características del lactosuero*

<b>Característica</b>	<b>Valor (%)</b>
Agua	93,0
Sólidos totales	7,0
Lactosa	5,0
Materia Orgánica	0,3
Proteína	0,9
Cenizas	0,6

*Nota:* Tomado y adaptado de (López Torres, 2021).

**2.1.2. Tipos de lactosuero**

Existen diferentes tipos de suero de leche, basados principalmente en la eliminación de la caseína. El primero, llamado suero dulce, se basa en la coagulación por renina, enzima que precipita la caseína para la elaboración del queso y a un pH de 6,5 (Aráuz, 2020). El segundo, llamado ácido, se crea mediante el proceso de fermentación o la adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína, como en la producción de queso crema (Müller, 2020). En la siguiente tabla se detalla la composición de los dos tipos de lactosuero.

**Tabla 2***Composición química de los tipos de lactosuero*

<b>Composición</b>	<b>Lactosuero dulce (%)</b>	<b>Lactosuero ácido (%)</b>
Calcio	0,4 – 0,6	1,2 – 1,6
Proteína	6 - 10	6 - 8
Cloruros	1,1	1,1
pH	> 6	< 4.4
Acidez	< 20°D	> 50°D

*Nota:* Tomado y adaptado de (Arauz, 2020).

### 2.1.2.1. Diferencia entre los tipos de lactosuero

La diferencia que se puede encontrar entre los dos tipos de lactosuero es al medir su acidez en grados Dornic (°D), siendo considerado "dulce" cuando tiene un valor por debajo de 18°D. Por lo general, el pH del lactosuero dulce se sitúa entre 6.02 y 6.58, mientras que el lactosuero ácido presenta un pH que oscila entre 3.57 y 4.34 (Galán, 2020).

**Tabla 3**

*Diferencia entre composiciones entre los tipos de lactosuero*

Composición	Lactosuero dulce (%)	Lactosuero ácido (%)
Lactosa	4,5 – 5,0	3,8 – 4,4
Ácido láctico	0	0,8
Grasas	0,2 – 0,7	00,4

*Nota:* Tomado de Galán, (2020).

### 2.1.3. Composición del lactosuero

Es un líquido transparente con tonos amarillo, verdoso o incluso ligeramente azuladas, su color depende de la calidad y tipo de leche utilizada en su obtención, este subproducto es abundante en la industria láctea. Se destaca como un excelente medio de cultivo debido a sus propiedades y composición, por esta razón, se lo utiliza en diversos procesos fermentativos. El lactosuero es el líquido que resulta de la separación de la cuajada tras la coagulación de la leche, leche desnatada o suero de mantequilla durante la fabricación de queso (Rivera J. , 2021).

La composición del lactosuero varía dependiendo la influencia de algunos factores tales como:

- El tipo de queso (quesos frescos y quesos madurados).
- El tratamiento térmico de la cuajada puede disminuir el porcentaje de proteína del lactosuero resultante.
- La forma de coagulación ácida o enzimática.

- El cuajo empleado (microbiano, quimosina o mezclas quimosina/pepsina), que aporta amargor residual al suero por inactivación incompleta de las enzimas proteolíticas.

#### 2.1.4. Composición Química del lactosuero

Su composición química varía dependiendo el tipo de leche, tipo de queso producido o el proceso tecnológico empleado, este presenta gran contenido de agua, siendo el mismo que contribuye con gran cantidad de nutrientes importantes en especial de proteínas de alto valor biológico (Mora et al., 2022).

**Tabla 4**

*Componentes del Lactosuero*

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Agua	93 - 94
Sólidos Totales (lactosa, proteínas, péptidos, minerales vitaminas y grasa)	6 - 7
Lactosa	4 - 5
Proteínas solubles	0,8
Lípidos	0,5

*Nota:* Tomado de (Mora et al., 2022).

Existen diferentes clases de lactosuero de forma general se indica su composición de macro y micronutrientes, como se detalla en la siguiente tabla 5 (Aponte et al., 2023).

**Tabla 5**

*Composición química del lactosuero*

<b>Nutrientes</b>	<b>Tipos</b>
Vitaminas del complejo B	Tiamina (B1), riboflavina (B2), Ácido nicotínico (B1), Piridina (B6), ácido fólico (B9).
Minerales	Sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo y en menor cantidad zinc

*Nota:* Tomado de (Aponte et al, 2023).

## **2.2. Propiedades biológicas del lactosuero**

El lactosuero, se destaca por su alto valor nutricional gracias a la presencia de proteínas, lactosa, vitaminas y minerales con funciones biológicas significativas. Puede ser empleado directamente en la composición de diversos productos o desglosarse en sus distintos componentes para utilizarlos con diversos propósitos, aportando así un valor añadido a este subproducto (Hernández et al., 2020).

El lactosuero es una fuente completa de proteínas ricas en aminoácidos (AA) se les reconoce por su alto valor nutricional, alta digestibilidad, rápida absorción y generación de aminoácidos (AA) en plasma, las principales proteínas del suero, son beta lactoglobulina ( $\beta$ -LG), alfa lacto albúmina ( $\alpha$ - LA), lactoferrina (Lf), inmunoglobulinas (Ig) (Oviedo, 2021). Estos derivados del suero se utilizan por sus propiedades biológicas y nutricionales para promover la salud y prevenir enfermedades, ya que en general, las proteínas del suero presentan efectos antibacterianos, inmunomoduladores y antiinflamatorios (Hernández et al., 2020).

## **2.3. Biometanización**

La biometanización o digestión anaeróbica es una tecnología de energía renovable que utiliza microorganismos para degradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, lo que genera como resultado es la producción de biogás y efluente (Dahiya, 2020). La biometanización, es la descomposición bioquímica y microbiológica de materia orgánica sin la presencia de oxígeno, siendo la acción que lleva a cabo gracias a microorganismos anaerobios, dando como resultado un producto que es el efluente el biofertilizante y un digerido al ser el residuo del proceso (Vargas, 2018).

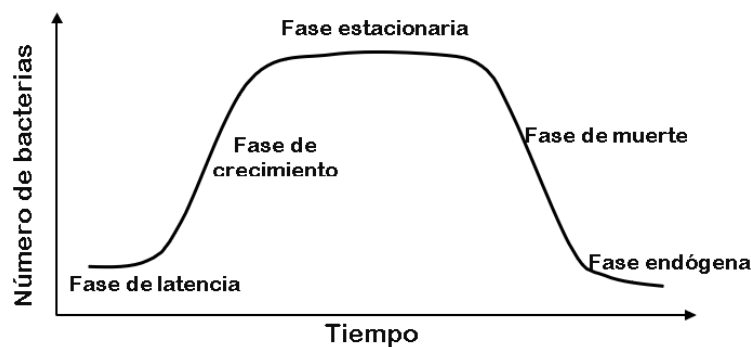
Esta tecnología de biometanización hace referencia a un proceso biológico que ocurre espontáneamente, en el cual diversas bacterias desintegran materia orgánica en un ambiente desprovisto de oxígeno. Este proceso implica la actuación de bacterias especializadas que son capaces de llevar a cabo su función metabólica en ausencia de oxígeno, descomponiendo compuestos orgánicos (Ariza et al., 2019).

### 2.3.1. Fases de biometanización

En esta fase es el proceso de degradación de residuos orgánicos, en biogás y un efluente esto se da mediante una acción de microorganismos, se identifica varias etapas como se lo indica en la siguiente figura (Chamorro, 2022).

**Figura 1**

*Fases de la biometanización*



*Nota:* Tomado y acoplado de la revista NOVA por (Caycedo et al., 2021).

**Fase de latencia:** Implica una etapa de adaptación de las bacterias al medio recién adquirido.

**Fase de crecimiento:** Las células se dividen a un ritmo uniforme lo que ocasiona el incremento exponencial de la biomasa.

**Fase estacionaria:** Ocurre cuando el sustrato comienza desgastarse y la cantidad de células muertas reemplaza a las células recién formadas (González et al., 2022).

**Fase de muerte:** Se le conoce como lisis, ya que no se añade sustrato y el número de células que fallece supera al de las células recién formadas.

**Fase endógena:** Esta etapa es esporádica, la tasa de reducción de la población disminuye porque las células muertas proporcionan sustrato para las células que sobreviven (Caycedo et al., 2021).

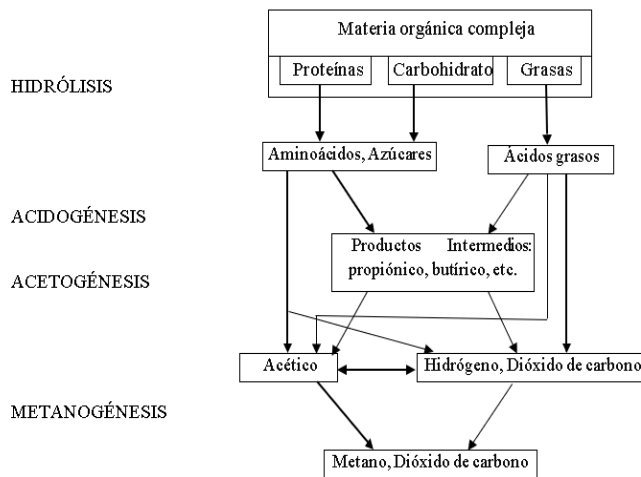
### 2.3.2. Etapas de la biometanización

Este es un proceso de degradación biológica que comprende de cuatro etapas que son la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; su propósito es

convertir la materia orgánica en biogás, biosol y biofertilizante mediante una serie de reacciones bioquímicas (Sánchez, et al., 2022). También es conocida como fermentación metánica esto es un proceso microbiológico por el que la materia orgánica compleja se degrada en ausencia de oxígeno, dando lugar a la formación de una mezcla gaseosa formada mayoritariamente por metano  $CH_4$  y dióxido de carbono  $CO_2$  (Morales et al., 2018).

**Figura 2**

*Etapas de la biometanización*



*Nota:* Etapas de la biometanización

**2.3.2.1. Hidrólisis**

En esta fase, los compuestos orgánicos complejos, tales como los carbohidratos, se descomponen en compuestos orgánicos simples, como el azúcar, para que puedan cruzar la membrana celular. El proceso involucra implica enzimas hidrolasas, que son generadas por bacterias fermentativas y tienen la capacidad de disolver compuestos orgánicos y romper enlaces a través de la acción del agua para poder utilizarlos (Poveda, 2021).

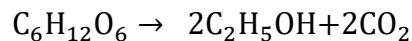
**2.3.2.2. Acidogénesis**

El objetivo de la acidogénesis es seguir descomponiendo moléculas que todavía son relativamente grandes. Las bacterias acidogénica responsables de este proceso

producen un ambiente ácido, los principales productos de esta etapa son acetato, propionato y butirato (AGV) (Montes, 2021).

### 2.3.2.3. Acetogénesis

Los productos de la etapa anterior se convierten en ácido acético,  $CO_2$  e hidrógeno que posteriormente se utilizan para producir metano. Los organismos responsables de este proceso, se le conoce a la acetogénica mediante la siguiente ecuación (Gonzales & Ipanaque, 2022).

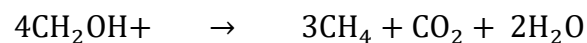
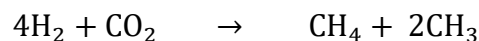
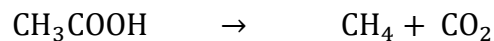


### 2.3.2.4. Metanogénesis

Es la etapa en la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Es el proceso en el que se reducen los aceptores de electrones (como oxígeno, hierro, sulfato, nitrato y manganeso), mientras que se reducen el hidrógeno ( $H_2$ ) y el dióxido de carbono. Los compuestos orgánicos ligeros también se acumulan debido a la fermentación (Tomarán, 2022).

Según (Fernández, 2023), la metanogénesis la fase final de la biometanización indica que el metano ( $CH_4$ ) se genera principalmente por medio de la descomposición del ácido acético o a través de la reacción entre combinaciones de hidrógeno ( $H_2$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). De la misma forma se puede producir este metano a través de otros sustratos como el ácido fórmico y el metanol.

En el estudio de Parra, (2022) se determina las principales como son Methanosarcina, Methanococcus, Methanobrevibacter y Methanomicrobium, de tal manera que la reacción metanogénica se expresa.



### **2.3.3. Parámetros de digestión anaerobia**

Para el proceso de la digestión anaerobia intervienen diversos parámetros ambientales y de operación. Conocer los parámetros permite entender la cinética de este proceso para su control. Se clasifica en parámetros ambientales en los que debe mantenerse la digestión anaerobia y parámetros de control son las condiciones de trabajo (Vargas, 2018).

#### **2.3.3.1. Parámetros ambientales**

Los parámetros ambientales es necesario controlarlo para que no se dañen los microorganismos implicados en el proceso de degradación, asegurando así el buen funcionamiento del sistema (Granzotto et al., 2023).

#### **pH**

La digestión anaeróbica se lleva a cabo en un rango de pH entre 6,2 y 7,8 siendo óptimo entre 7 y 7,2, pero esto depende del grupo particular de bacterias con el que se esté trabajando, por lo que el valor de pH óptimo varía (Gómez, 2022).

#### **Nutrientes**

Los microorganismos anaerobios requieren macronutrientes y micronutrientes al ser nutrientes esenciales para que los microorganismos puedan realizar sus funciones metabólicas en el proceso de biometanización (Véliz & Seni, 2022). Así mismo para Ramón, (2021) los nutrientes se dividen según su concentración en materia seca los macronutrientes que se encuentran en cantidades significativas superiores al 0,1 % y los micronutrientes o también llamados oligoelementos que están presentes en proporciones mucho más pequeñas no superando el 0,1 % de materia seca (Véliz & Seni, 2022).

#### **2.3.3.2. Parámetros operacionales**

En los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones definidas para su correcto desarrollo de trabajo dentro del biodigestor (Kirk & Gould, 2020).

### **Agitación**

Es importante que el grado de agitación sea el correcto con el propósito de que la mezcla homogénea y la distribución de la temperatura sea uniforme entre todos los componentes que se encuentran dentro del biodigestor (Montes, 2021).

### **Temperatura**

Puede funcionar en el rango psicrófilo (temperatura ambiente), mesófilo (temperatura alrededor de 35 °C) o termófilo (temperatura alrededor de 55 °C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan a medida que aumenta el rango de temperatura, al igual que la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En la zona termófila se garantiza un mayor nivel de destrucción de patógenos (IADE, 2007).

### **Tiempo de retención**

Es el tiempo promedio que la materia orgánica que ingresa, consume y permanece dentro de un biodigestor, antes de salir después de una digestión. Este tiempo es necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica (Barik, 2019).

## **2.4. Residuos**

A nivel mundial, se desperdician aproximadamente el 45% de todas las frutas y verduras, el 35% de todos los pescados y mariscos, el 30% de los cereales, el 20% de los productos lácteos y el 20% de la carne (Morales & Arrieta, 2023). De tal manera que se pretende precautelar dándoles un valor agregado a estos desechos que producen una contaminación al medio ambiente.

Tradicionalmente, los residuos de las agroindustrias se han considerado un problema medioambiental y una carga económica para las empresas. Actualmente se sabe que esta materia prima tiene un enorme potencial para producir productos con gran valor agregado, debido a que son fuentes ricas en carbono y sus compuestos activos tienen diversas propiedades que son beneficiosas para diversos sectores (Aguiar et al., 2022).

#### **2.4.1. La Melaza**

La melaza es un subproducto de la caña de azúcar, es el resultado de la cristalización del jugo de caña, es un líquido viscoso y denso en forma de miel, de color oscuro, rico en carbohidratos, agua y compuestos nitrogenados se utiliza mayormente para la alimentación de animales y como suplemento alimenticio para el hombre. Aporta la energía necesaria para activar el metabolismo o microbiológico durante el proceso de fermentación (Martínez, 2023).

La melaza contiene un 3 % de proteínas, sacarosa 60 %, y 16 % de agua, 0.4 % de compuestos nitrogenados, todo este nutriente se puede utilizar como materia orgánica para regresarlo al suelo y poder lograr una agricultura más sustentable (Páez et al., 2023). Según Sánchez, (2024) menciona que la melaza aporta energía necesaria para activar el metabolismo microbiológico en el proceso de biometanización además de aportar componentes como minerales.

#### **2.4.2. Residuos de pescado**

Los residuos de pescado son una fuente rica en nutrientes que, al descomponerse, liberan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Bueno & García, 2022). Estos elementos esenciales son fundamentales para el crecimiento de las plantas. Además, estos residuos se pueden combinar con otras materias como la melaza o suero de leche de esta manera se puede potenciar su efectividad para obtener biofertilizante (Camaño et al., 2021).

Hoy en día son aprovechados por técnicas de procedimiento para la producción de ensilados, harina de pescado y fertilizantes. Las vísceras de pescado no solo son un componente rico para fertilizantes agrícolas, sino que son fuentes de proteínas de alto valor biológico que a su vez aportan minerales y vitaminas como hierro, magnesio, yodo, potasio y fósforo (Bueno & García, 2022)

#### **2.5. Biofertilizante**

Los biofertilizantes al ser un producto elaborado a base de restos vegetales, bacterias, hongos y microorganismos son usados en la fertilización del suelo y nutrición vegetal (Gonzalez & Sarmiento, 2019). Los biofertilizantes son una mezcla de microorganismo vivos, como bacterias, hongos o algas; que mejoran la

disponibilidad de nutrientes y promoción del crecimiento de plantas, esto representa un avance potencial en sostenibilidad de los cultivos y salud del suelo. Son abonos con mucha energía preparados a base de microorganismos de diferentes orígenes disueltos en agua enriquecida con leche, melaza, minerales y fermentados en condiciones anaeróbicas (Galindo et al., 2023).

### **2.5.1. Importancia de los Biofertilizante**

Los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos vivos o sus metabolitos, utilizados para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y promover el crecimiento de las plantas. Su importancia radica en su capacidad para incrementar la fertilidad del suelo de manera sostenible y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. El biofertilizante, al ser una mezcla de nutrientes específicos para el crecimiento, podría ser una gran ayuda para la agroindustria, lo que podría ser útil para mejorar la producción de cultivos por otro lado, protege o mantiene las condiciones ambientales (Beltrán & Bernal, 2022).

### **2.5.2. Tipos de Biofertilizante**

Existen diferentes clases de biofertilizante, como los microbianos (*rhizobium*, *micorrizas*), los basados en algas, y los orgánicos.

#### **Biofertilizante Microbianos**

Los biofertilizantes microbianos pueden mejorar la salud del suelo, promover la resistencia de las plantas a enfermedades y aumentar la eficiencia del uso de nutrientes, reduciendo así la dependencia de fertilizantes químicos. Este enfoque sostenible ha ganado interés en la agricultura como una alternativa más ecológica y respetuosa con el medio ambiente (Morera, 2023).

#### **Biofertilizante a base de Algas**

Los biofertilizantes a base de algas, también conocidos como bioestimulantes de algas, son productos que utilizan extractos de algas marinas para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas. Diversos microorganismos como bacterias, algas y hongos, están recibiendo mucha atención como alternativas respetuosas con el medio ambiente a los productos químicos sintéticos debido a su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, fijar nitrógeno atmosférico para la disponibilidad de

las plantas, producir hormonas de crecimiento vegetal y biocidas (Sunarpi et al., 2019).

### **Biofertilizantes orgánicos**

Los biofertilizantes orgánicos son productos que contienen microorganismos beneficiosos, nutrientes y compuestos orgánicos provenientes de fuentes naturales. Estos fertilizantes están diseñados para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas de manera orgánica y sostenible. Los biofertilizantes orgánicos pueden incluir una variedad de componentes, como bacterias beneficiosas, hongos micorrízicos, algas, compost y estiércol (Meca, 2022).

Bacterias nitrificantes (rizobios), que utilizan nitrógeno de la atmósfera, el cual constituye 78% del aire, y lo fijan en formas asimilables por las plantas y esporas de hongos micorrizógenos arbusculares, asociados con las plantas de cultivo para formar una simbiosis de mutuo beneficio, a partir de la cual los hongos (micobiontes) proporcionan a la planta (ficobionte) fosfatos, otros minerales y agua; mientras que el vegetal suministra azúcares a su huésped Sánchez, (2024).

#### **2.5.3. Beneficios al usar biofertilizante**

La agricultura moderna busca actualmente sustituir los fertilizantes químicos por biofertilizantes, ya que su aplicación genera varios beneficios como el fortalecimiento de las plantas ante factores ambientales adversos y la mejora del estado nutricional mediante el aumento de la biodisponibilidad de nutrientes. Además, los biofertilizantes ayudan a mejorar la calidad del suelo de cultivo, ya que están compuestos mayormente por residuos orgánicos y microorganismos. En este contexto, el lactosuero se considera un sustrato valioso en la producción de biofertilizantes, potenciando sus propiedades beneficiosas y estimulando el desarrollo de las plantas (Del Carpio et al., 2021).

#### **2.5.4. Biofertilizantes que hayan utilizado como base el lactosuero**

Los biofertilizantes son soluciones líquidas de alto poder, se originan naturalmente a partir de la fermentación de microorganismos benéficos y materiales orgánicos (suero de leche y estiércol), estos elementos son enriquecidos con minerales provenientes de fuentes naturales, lo que asegura un alto valor nutritivo para las

plantas, a fin de dar lugar a los biofertilizantes como tales (Torres & Romero, 2020).

Los biofertilizantes contienen microorganismos benéficos para la producción agrícola (bacterias ácido-lácticas, hongos y levaduras) que controlan biológicamente a otros organismos patógenos que afectan los cultivos; estos productos son una mezcla de sustancias orgánicas que mezcladas con agua libre de químicos contaminantes se convierten en un biofertilizante de fácil asimilación para el suelo y las plantas (Del Carpio et al., 2021).

#### **2.5.4.1. Los biofertilizantes y su acción en las plantas**

Los biofertilizantes son insumos que contienen microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, que aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Cuando se aplican, estos microorganismos se agrupan en los tejidos vegetales de diferentes especies, lo que resulta en una acción beneficiosa hacia la planta. Es importante destacar que esta acción ocurre en la planta misma y su aplicación en los cultivos agrícolas representa una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes químicos (Juárez et al., 2021).

Además de su acción directa en las plantas, los biofertilizantes también tienen una acción indirecta en el suelo y los cultivos. Primero, son aprovechados por el suelo y luego se transmiten hacia los cultivos. Dentro de los cultivos, los mecanismos de acción de los biofertilizantes trabajan en la solubilización de nutrientes como el fósforo, nitrógeno y potasio (Polo, 2022).

#### **2.5.5. Inoculantes microbianos y su función**

Los inoculantes microbianos son insumos que reaccionan con la materia orgánica del suelo, lo que resulta en una disponibilidad de poblaciones microbianas con alto contenido de nutrientes. Estas poblaciones microbianas permiten el incremento de sustancias beneficiosas para las plantas (González & Sarmiento, 2019).

##### ***Rhizobium***

Es una bacteria que generalmente se encuentra en el suelo y es capaz de colonizar las raíces de las leguminosas. A través de una simbiosis, *Rhizobium* puede fijar nitrógeno atmosférico, lo que beneficia el crecimiento de las plantas leguminosas.

### ***Azotobacter***

Es un género de bacterias que incluye varias especies. Una de ellas, *Azotobacter chroococcum*, es capaz de fijar nitrógeno en suelos herbáceos y en medios de cultivo agrícola. Estas bacterias toman el nitrógeno atmosférico y lo transforman en nitrógeno orgánico, lo cual es beneficioso para el crecimiento de las plantas (Pérez et al., 2020).

### ***Azospirillum***

Son bacterias que se consideran los principales habitantes del suelo, la rizosfera y los espacios intercelulares de la corteza de las raíces de las plantas gramíneas. Estas bacterias establecen una relación simbiótica asociativa con las plantas gramíneas, lo que contribuye a su crecimiento y desarrollo (Lida, 2023).

### **Captadores de fósforo**

Los hongos *micorrízicos* funcionan como captadores de fósforo. Estos hongos penetran en las raíces de las plantas o se unen a ellas para obtener los nutrientes necesarios y completar su ciclo de vida. Se alimentan de los exudados de las raíces que son ricos en azúcares. La presencia de los hongos *micorrízicos* en el suelo beneficia al sistema de raíces, ayudando a las plantas a absorber mejor el agua y los nutrientes, y también brinda protección contra patógenos (Beltrán & Bernal, 2022).

## **2.6. Biorreactor**

Los biorreactores son recipientes donde se originan reacciones bioquímicas que proporcionan un entorno adecuado para el crecimiento de microorganismos o células (Allman, 2024). De tal manera que en los biorreactores las materias primas se transforman en un producto específico tras una secuencia de reacciones metabólicas de microorganismos, las condiciones del biorreactor ayudan al proceso natural de microbios a mantener su hábitat proporcionando condiciones óptimas para su crecimiento (Bhuvaneshwari et al., 2023).

### **2.6.1. Biorreactor tipo Batch**

Es un biorreactor de un sistema operacional discontinuo (Gil & León, 2021), al ser un recipiente cerrado no continuo sin corrientes de entrada/salida se identifica por una cantidad fija de masa, en donde todo el medio de cultivo y microorganismo se

añade al inicio del proceso totalmente mezclado, llevando a cabo una reacción durante un tiempo determinado (Behera et al., 2022).

## 2.7. Diseño del reactor

### Volumen real

A fin de evitar inconvenientes durante este proceso, es necesario calcular el volumen real que se ha de utilizar en el proceso. Para determinar el volumen real de un biorreactor se aplica la siguiente ecuación.

$$V_r = \frac{m}{p} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$V_r$  = Volumen real del biorreactor (L)

$m$  : Masa del líquido (Kg)

$p$  : Densidad del líquido  $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

### Volumen de seguridad

En el biorreactor implica un cálculo de su volumen de seguridad, de acuerdo al requerimiento y al uso que se le dé, se aplica la siguiente ecuación para el cálculo de su volumen de seguridad.

$$V = f_s * V_r \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$V$ : Volumen de seguridad (L)

$f_s$  : Factor de seguridad (15%)

$V_r$  : Volumen real (L)

### Volumen total

$$V_t = V + V_r \quad \text{Ec. 3}$$

$V_t$  : Volumen Total (T)

$V$ : Volumen de seguridad

$V_r$  : Volumen real (L)

### **Altura del tanque**

Para poder calcular la altura se usa la siguiente fórmula del volumen de un cilindro

$$h = \frac{V_t}{\pi * r^2} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$V_t$  : Volumen del tanque ( $m^3$ )

$r$ : radio del cilindro (m)

$h$ : Altura del tanque (m)

### **Área del biorreactor**

$$A = 2\pi r (h + r) \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$A$ : área del tanque ( $m^2$ )

$r$ : radio del cilindro (m)

$h$ : Altura del tanque (m)

### **Longitud entre el brazo y el fondo de agitación**

En el diseño de un biorreactor con agitación es importante conocer la longitud existente entre el brazo y el fondo del tanque para tener un mezclado homogéneo, para ello se usó la siguiente ecuación.

$$Lf = \frac{1}{2} * \phi_t \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$Lf$ : longitud entre el brazo y el fondo del tanque (m)

$\phi_t$ : Diámetro del tanque (m)

### **Longitud del brazo de agitación**

Para un mezclado homogéneo es necesario determinar correctamente la longitud del brazo de agitación, su cálculo está dado por la siguiente ecuación.

$$Lb = h - Lf \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

*Lb*: longitud del brazo de agitación (m)

*h*: altura del tanque de agitación (m)

*Lf*: longitud entre el brazo y el fondo del tanque

## **2.8. Elaboración de los biofertilizantes**

Los biofertilizantes se producen en equipos herméticos que queden completamente cerrados y se dé una buena digestión. Se debe colocar una manguera acoplada a una válvula con el extremo dentro de una botella llena con agua, para evacuar los gases que se forman durante el proceso de digestión, y así detener la entrada de aire (Sánchez, Fuerte, & Ravelo, 2022).

### **Procedimiento**

La cantidad, peso y tamaño de los insumos que se requieren para realizar la preparación del biofertilizante.

Módulo de Insumos para preparar 50 litros de biofertilizante

- 40% de estiércol vacuno
- 40% litros de suero lácteo
- 10% litros de levadura granulada
- 10% litros de melaza

### **Ingreso de los ingredientes**

Se introducen todos los ingredientes en el biodigestor (menos los microorganismos) y se remueven hasta conseguir una mezcla homogénea. Los microorganismos se introducen dentro de una bolsa de malla (a modo de bolsa de té gigante) que se introduce en la mezcla (Sánchez et al. 2022).

### **Sellado del equipo**

El equipo se tapa herméticamente para que se inicie la digestión anaeróbica de la materia orgánica, asegurándose de que la manguera de evacuación de gases no está obturada y que el extremo quede dentro de una botella con agua para impedir la entrada de aire.

### **Acoplamiento del recipiente**

El recipiente que contiene la mezcla se pone a reposar en la sombra a temperatura ambiente, protegido del sol y la lluvia.

### **Tiempo de espera de la digestión**

Hay que esperar un tiempo mínimo de 20 a 30 días de digestión anaeróbica, verificar su calidad por su olor (ácido agradable) y color (marrón ámbar). Antes de usarlo no debe presentar olor a putrefacción ni ser de color azul violeta, su olor debe ser de fermentación y su color debe ser más o menos marrón(Reynoso et al., 2022).

### **Almacenamiento**

El biofertilizante se puede envasar en recipientes preferentemente oscuros, para que la luz no les afecte, y que no sean metálicos. También se puede dejar el producto en los mismos recipientes en los que se preparó. El tiempo que se pueden guardar los biofertilizantes puede oscilar entre seis meses y un año de mezcla.

## CAPÍTULO III

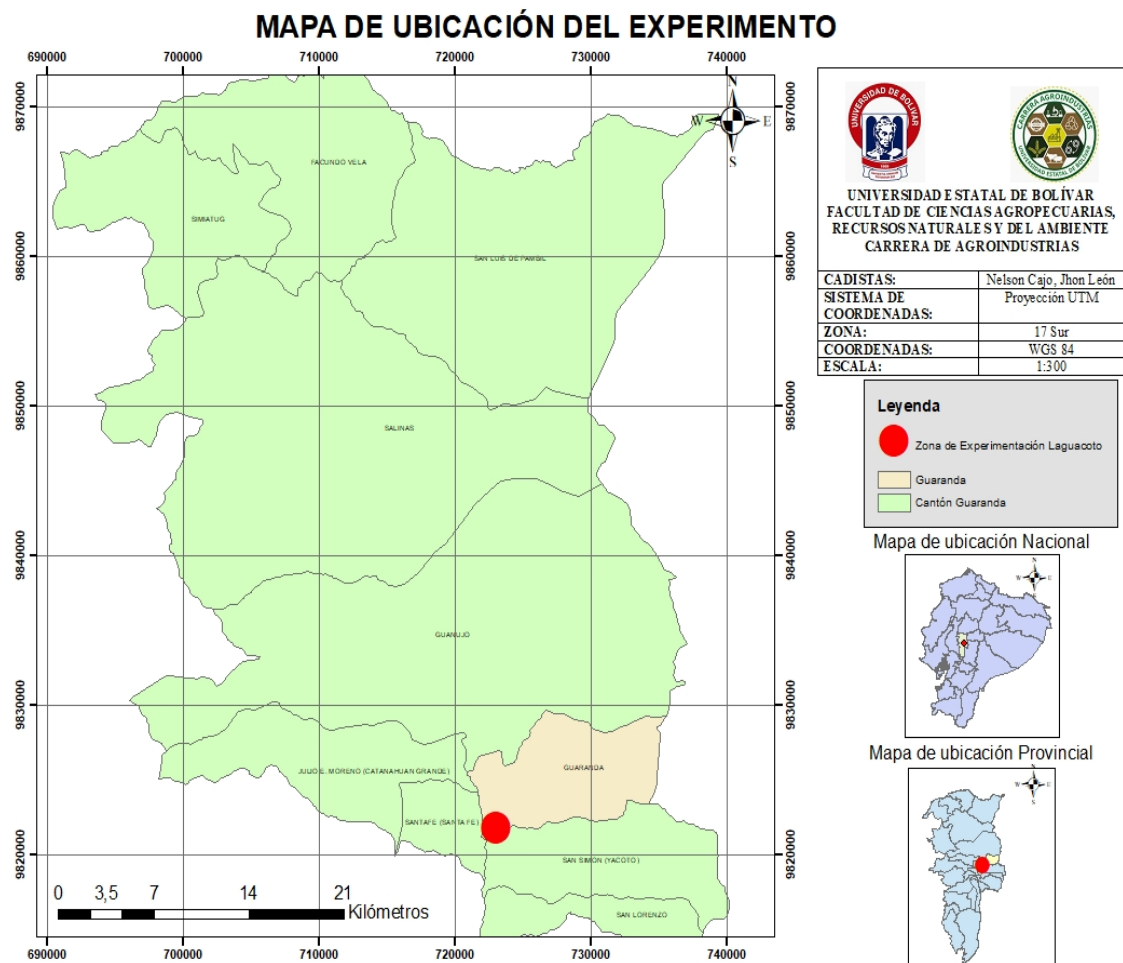
### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación de la investigación

El presente trabajo de investigación tipo técnico se efectuó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, situada en el Campus de Laguacoto II km 1 ½ km vía Guaranda - San Simón. Se ubica en la provincia Bolívar, cantón Guaranda con coordenadas al este 722773, norte 9821524.1, en la Zona 17M sur del Ecuador, como se ha georreferenciado en la siguiente figura 3.

**Figura 3**

*Zona de experimentación*



*Nota:* Elaborado por Cajo & León, (2025).

### 3.1.1. Situación geográfica y edafoclimática

**Tabla 6**

*Parámetros climáticos del territorio*

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Altitud promedio	2.604 msnm
Latitud	01° 36' 52" sur
Longitud	78° 59' 54" oeste
Temperatura máxima	21 °C
Temperatura mínima	7 °C
Temperatura media	14,4 °C
Precipitación media anual	980 mm
Humedad relativa	70%
Heliofanía promedio	900 horas/luz/año
Velocidad de viento	6 m/s

*Nota.* Tomado de la Estación Meteorológica Laguacoto II. UEB 2022.

### 3.1.2. Zona de vida

La zona de vida en la que se llevará a cabo la investigación corresponde al bosque húmedo montano bajo (BHMB), según la clasificación del botánico y climatólogo Leslie Holdridge.

## 3.2. Metodología

### 3.2.1. Material experimental

- Lactosuero
- Residuos

### 3.2.2. Material de laboratorio y de campo

**Tabla 7**

*Materiales de laboratorio y de campo*

<b>Materiales de laboratorio</b>	<b>Materiales y Equipos de Campo</b>
Vasos de precipitación	pH metro
Papel filtro	Termo hidrómetro
Piseta	Termómetro
Pinzas	Piseta
Probeta	Teflón, flexómetro
Pipeta con pera	Tubos, codos y manguera de agua PVC
Crisoles y tapas	Pistola de silicona, tijera
Espátulas	Rosca universal
Matraz Erlenmeyer	Valdés, taladro, serrucho

*Nota:* Equipos utilizados en el experimento.

### 3.2.3. Materiales de Bioseguridad

- Visor
- Guantes
- Cofia
- Alcohol
- Gel antibacterial

### 3.2.4. Materiales de oficina

- Laptop
- Impresora
- Papel bond
- Esferográfico
- Libreta de apuntes
- Lápiz
- Calculadora

### 3.2.5. Equipos

En la siguiente tabla se indica los equipos, las marca y las funciones que desempeñaron en esta investigación ya sea en el análisis de materia prima.

**Tabla 8**

*Equipos utilizados en el experimento*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Función</b>
Potenciómetro	Hach HQ 2124,2	Medición de pH
Balanza analítica	DHAUS	Peso de muestras
Mufla	F47915 Thermo scientific	Incineración de muestras
Incubadora	Nplus/sfplus - memmert	esterilizar y secar
Cámara extractora de gases		Captar vapores inflamables y corrosivos
Espectrofotómetro de absorción atómica	pg Instruments	Determina la concentración y el tipo de elementos inorgánicos en muestras líquidas
Espectrofotómetro de absorción atómica de UV visible	Thermo fisher	

*Nota:* Todos estos equipos están en el laboratorio de la UEB.

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Factores de estudio

Los factores que se consideran para el aprovechamiento del lactosuero mediante la biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos son los siguientes como se detalla en la presente tabla.

**Tabla 9**

*Factores de estudio*

<b>Factor</b>	<b>Código</b>	<b>Nivel</b>
Microorganismos	A	a1: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
		a2: <i>Lactobacillus</i>
Agitación	B	b1: Con agitación
		b2: Sin agitación
		c1: Melaza
Residuos	C	c2: Residuos de pescado
		c3: Melaza + R de pescado

*Nota:* Elaborado por Cajo & León, (2025).

La presente tabla muestra un diseño experimental en el que se investiga el efecto de los factores (A, B y C) en el desarrollo de un biofertilizante orgánico a base del lactosuero.

El factor A describe a los microorganismos que van a intervenir en la biometanización

El factor B nos ayuda a mezclar los componentes, facilitando la descomposición microbiana del sustrato, así como también la homogeneización de nutrientes para obtener un producto final de calidad.

El factor C nos da a conocer los residuos, los mismos que tienen la función de ser una fuente de energía para que los microorganismos puedan desarrollarse en la etapa de digestión anaerobia.

### **3.3.2. Tratamientos**

Los tratamientos constituyen la combinación de cada uno de los niveles, con un diseño en arreglo factorial A x B x C (2x2x3) que intervienen en el estudio.

**Tabla 10***Tratamientos del experimento*

Tratamientos	Código	Niveles		
		A	B	C
1	$a_1b_1c_1$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Con agitación	Melaza
2	$a_1b_1c_2$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Con agitación	Residuos de pescado
3	$a_1b_1c_3$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Con agitación	Melaza + R de pescado
4	$a_1b_2c_1$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sin agitación	Melaza
5	$a_1b_2c_2$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sin agitación	Residuos de pescado
6	$a_1b_2c_3$	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sin agitación	Melaza + R de pescado
7	$a_2b_1c_1$	<i>Lactobacillus</i>	Con agitación	Melaza
8	$a_2b_1c_2$	<i>Lactobacillus</i>	Con agitación	Residuos de pescado
9	$a_2b_1c_3$	<i>Lactobacillus</i>	Con agitación	Melaza + R de pescado
10	$a_2b_2c_1$	<i>Lactobacillus</i>	Sin agitación	Melaza
11	$a_2b_2c_2$	<i>Lactobacillus</i>	Sin agitación	Residuos de pescado
12	$a_2b_2c_3$	<i>Lactobacillus</i>	Sin agitación	Melaza + R de pescado

*Nota:* Elaborado por Cajo & León, (2025).

### 3.3.3. Características del experimento

Se detallan las características del experimento.

**Tabla 11**

*Características del experimento*

<b>Atributos del Diseño Factorial</b>	
Número de factores experimentales	3
Número de niveles factor A	2
Número de niveles factor B	2
Número de niveles factor C	3
Número de réplicas	3
Unidades experimentales	36
Tamaño de muestra	6 L
Respuestas experimentales	1

*Nota:* Elaborado por Cajo & León, (2025).

### 3.3.4. Composición por porcentaje para la elaboración del biofertilizante

La composición de cada tratamiento, se determinó de acuerdo con el Factor B y el Factor C, cuyos porcentajes variaron, mientras que el factor A microorganismos permaneció constante.

**Tabla 12.***Nivel de composición por % en cada tratamiento*

Tratamientos	Lactosuero %	Melaza %	Residuos de pescado %	Saccharomyces cerevisiae	Lactobacillus	Total
T1 a1b1c1	84,95	15		0,05		100
T2 a1b1c2	99,95		18	0,05		100
T3 a1b1c3	66,95	15	18	0,05		100
T4 a1b2c1	84,95	15		0,05		100
T5 a1b2c2	81,95		18	0,05		100
T6 a1b2c3	66,95	15	18	0,05		100
T7 a2b1c1	84,95	15			0,05	100
T8 a2b1c2	81,95		18		0,05	100
T9 a2b1c3	66,95	15	18		0,05	100
T10 a2b2c1	84,95	15			0,05	100
T11 a2b2c2	81,95		18		0,05	100
T12 a2b2c3	66,95	15	18		0,05	100

*Nota:* Elaborado por Cajo & León, (2025).**3.3.5. Diseño estadístico**

Se aplica en el presente estudio el diseño experimental en arreglo factorial es decir un A x B x C el cual está compuesto de tres factores A, B y C un 2x2x3, el cual se ajusta al siguiente modelo matemático.

**3.3.6. Modelo matemática del diseño**

Se aplicará un diseño en arreglo factorial  $AxBxC$  (2x2x4)

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$\mu$  : Media general.

$\alpha_i$ : Efecto debido al i-eximo nivel del factor A.

$\beta_j$ : Efecto del j-eximo nivel del factor B.

$\gamma_k$ : Efecto del k-eximo nivel del factor C.

$(\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk}$ : Efecto de interacción doble en los niveles ij, ik, jk.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ : Efecto de interacción triple en la combinación ijk.

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error aleatorio en la combinación ijk.

### 3.3.7. Modelo de análisis de Varianza

**Tabla 13.**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño en arreglo factorial AxBxC*

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_o$	Valor-p
Efecto A	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0^B)$
Efecto C	$SC_C$	$c - 1$	$CM_C$	$CM_C/CM_E$	$P(F > F_0^C)$
Efecto AB	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F > F_0^{AB})$
Efecto AC	$SC_{AC}$	$(a - 1)(c - 1)$	$CM_{AC}$	$CM_{AC}/CM_E$	$P(F > F_0^{AC})$
Efecto BC	$SC_{BC}$	$(b - 1)(c - 1)$	$CM_{BC}$	$CM_{BC}/CM_E$	$P(F > F_0^{BC})$
Efecto ABC	$SC_{ABC}$	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	$CM_{ABC}$	$CM_{ABC}/CM_E$	$P(F > F_0^{ABC})$
Error	$SC_E$	$abc(n - 1)$	$CM_E$		
Total	$SC_T$	$abcn - 1$			

*Nota:* Tomado de análisis y diseño de experimentos, por Gutiérrez & Salazar (2012).

### 3.3.8. Pruebas de rangos múltiples

Para determinar el mejor tratamiento se aplicó el método LSD (Diferencia mínima significativa)

$$LSD = |\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > t_{\left(\frac{\alpha}{2}, N-k\right)} \sqrt{CM_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$k$ : Número de tratamientos.

$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|$ : Valor absoluto entre las medias muestrales.

$t_{\left(\frac{\alpha}{2}, N-k\right)}$ : Distribución T de Student con  $N - k$  grados de libertad que corresponden al error.

$CM_E$ : Cuadrado medio del error que se obtiene de la tabla ANOVA.

$n_j$ : Número de observaciones para los tratamientos  $i$  y  $j$ , respectivamente

### 3.4. Metodología experimental

El proceso de análisis desarrollado en el laboratorio se llevó a cabo siguiendo las normativas AOAC 2003.08, AOAC 925.10, AOAC 923.03 e INEN 013 para el análisis proximal, como se indica en la siguiente tabla 14, mientras que para el análisis elemental se aplicó la normativa UNE – EN ISO 16948.

#### 3.4.1. Análisis mediante análisis proximal para materia prima

**Tabla 14.**

*Análisis proximal*

Parámetro	Método	Equipo	Marca	Modelo
Grasa	AOAC 2003.06	Determinador de grasa	Raypa	SX-6
Humedad	AOAC 925.10	Estufa	memmert	
Ceniza	AOAC 923.03	Mufla	Hobersal Hach HQ	MF22-124
pH	Potenciómetro	pH-metro	2124,2	
Acidez	INEN 013	...	...	...

### **3.4.2. Análisis elemental en materias primas**

El análisis elemental CHNSO, también conocido como microanálisis, se refiere a la determinación de los elementos Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Azufre (S) y Oxígeno (O) en una muestra. Este análisis se basa en la combustión de la muestra (materia prima) en condiciones óptimas, a temperaturas de entre 950 y 1.300 °C, para convertir los elementos de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y oxígeno (O) presentes en la muestra. La técnica permite la cuantificación de los elementos en sustancias sólidas y líquidas, volátiles y viscosas. En el laboratorio, se emplea la técnica de microanálisis elemental siguiendo la norma UNE-EN ISO 16948.

### **3.4.3. Desarrollo del biofertilizante**

#### **3.4.3.1. Manejo de la materia prima**

##### **Muestreo**

Se tomaron muestras representativas de lactosuero, melaza, y residuos de pescado para evaluar la composición química y microbiológica en el laboratorio de la Universidad Estatal de Bolívar.

##### **Inspección**

Es importante verificar las características y de calidad como llega la materia prima, que incluye aspectos de control como de pH, temperatura y presencia de impurezas.

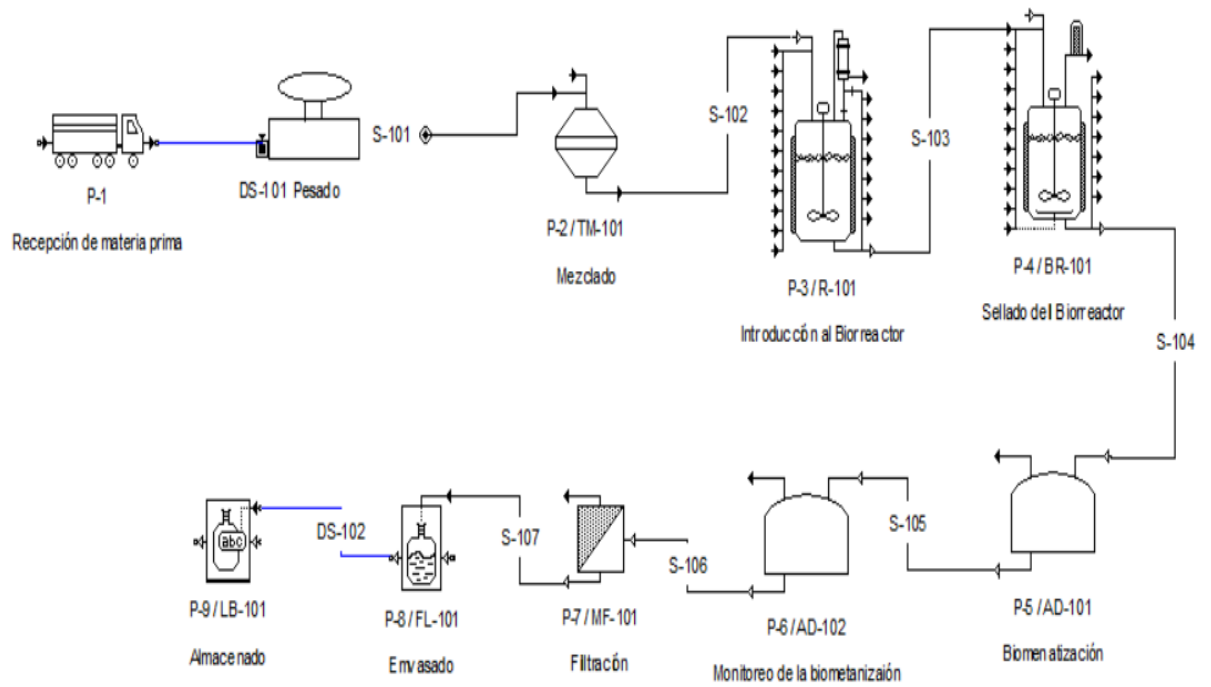
##### **Análisis**

Se realiza el análisis a nivel de laboratorio para evaluar la composición del lactosuero, melaza y residuos de pescado, mediante análisis proximal y elemental. El análisis elemental nos permitirá conocer la relación C/N entre 20:1 a 30:1, siendo el carbono que se usa como fuente de energía y el nitrógeno en su propia estructura celular.

### 3.4.3.2. Diagrama de procesos de la elaboración del biofertilizante

**Figura 4**

*Diagrama de procesos*



### 3.4.3.3. Descripción del diagrama de proceso

En este proceso intervienen las siguientes etapas:

- Recepción de la materia prima
- Pesado
- Mezclado
- Introducción al biodigestor
- Sellado
- Biometanización
- Monitoreo de biometanización

- h) Filtración
- i) Envasado y Almacenamiento

A continuación, se describe cada una de las etapas para la obtención del biofertilizante.

### **Recepción de la materia prima**

El área donde se realizó el experimento estuvo comprendida de un total de treinta y seis metros cuadrados (utilizando un metro por cada biodigestor), recepiendo un total de 187.4 litros de lactosuero, 36 litros de melaza, 25.8 kg de residuos de pescado para distribuirlos en 36 unidades experimentales de 6 litros cada unidad experimental.

### **Pesado**

Se pesó la cantidad de materia prima e insumos de acuerdo al porcentaje establecido en cada tratamiento, adicional se añadió ceniza para esterilizar el medio de tal manera puedan trabajar los microorganismos que se añadieron a un 0.05%. Se efectuó con la ayuda en una balanza digital de 0,01 g de precisión, balanza análoga de 1g de precisión para unidades de masa, en cambio para unidades de volumen se utilizó un vaso de precipitación de 100 ml y probeta de 1 litro.

### **Introducción al biodigestor**

Es la transferencia de todos los insumos y materia prima de forma ordenada al biodigestor discontinuo.

En los 36 biodigestores se procedió añadir suero de leche, melaza, residuos de pescado, ceniza y los microorganismos de acuerdo a cada porcentaje que le corresponde a cada tratamiento, todo esto se realizó en el orden descrito.

### **Mezclado**

Se procedió a mezclar los componentes que estaban en el biodigestor discontinuo, con el fin de lograr una mejor homogeneización entre insumos y materia prima.

### **Sellado**

Se ubicó la tapa en el biodigestor para tener un buen sellado, utilizando cinta adhesiva y silicona para evitar infiltraciones de aire al interior del biodigestor.

### **Biometanización**

Aquí se permitió que los microorganismos realicen la digestión, convirtiéndose los nutrientes del lactosuero, melaza y residuos de pescado en compuestos bioactivos.

### **Monitoreo de la biometanización**

Es el control continuo que se realiza tomando como parámetros de monitoreo, como la temperatura y pH.

### **Filtración**

El proceso se llevó a cabo utilizando un tamiz o filtro para separar los residuos sólidos del líquido del biofertilizante.

### **Envasado y almacenamiento**

Para esta etapa final se envaso ya el producto final para dar paso a su almacenamiento del biofertilizante en condiciones adecuadas para preservar su calidez.

#### **3.4.3.4. Variables en el proceso**

##### **pH**

Este un factor de gran importancia que debe ser controlado en el proceso de digestión anaerobia, ya que un pH óptimo favorece que las enzimas y microorganismos, lo que contribuye al control de la contaminación bacteriana, el crecimiento de levaduras, la velocidad de fermentación y la formación de alcoholes. Durante la fermentación la levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, lo que provoca que pierda su carácter anfótero y lo transforma en ácidos, lo que origina una disminución del pH del medio.

##### **Temperatura**

Este es uno de los parámetros más importantes a controlar en un proceso de fermentación de cualquier tipo, por ello es necesario crear las condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos fermentadores, en este caso se realizará una fermentación láctea a fin de obtener un biofertilizante.

## Humedad

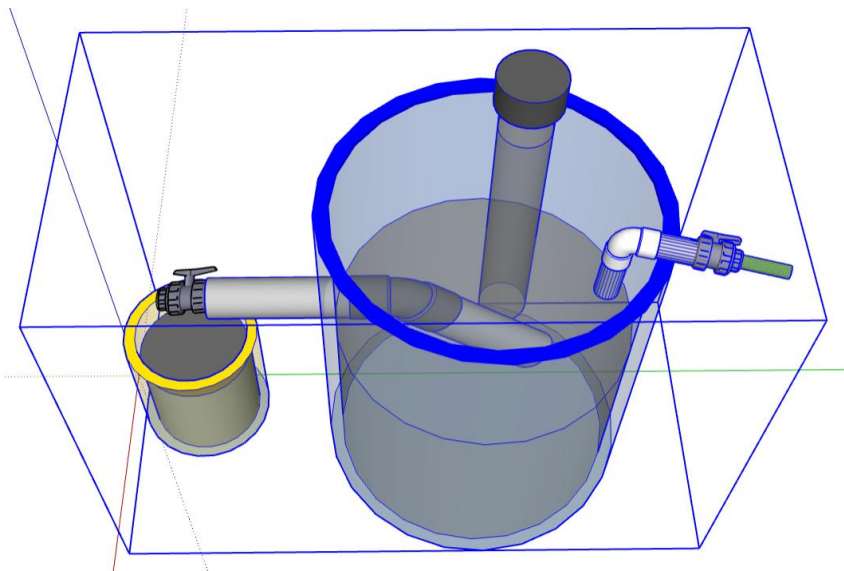
Este uno de los parámetros poco consideramos, pero no por ello carece de importancia, al contrario, este factor cumple un papel muy útil en el proceso de fermentación debido a que la humedad óptima necesaria varía en un rango de 50 a 60% y, pero si la humedad tiende a bajar del 40% como consecuencia también se reduce la velocidad de fermentación.

### 3.4.4. Diseño y desarrollo técnico del biorreactor

#### 3.4.4.1. Diseño

#### Figura 5

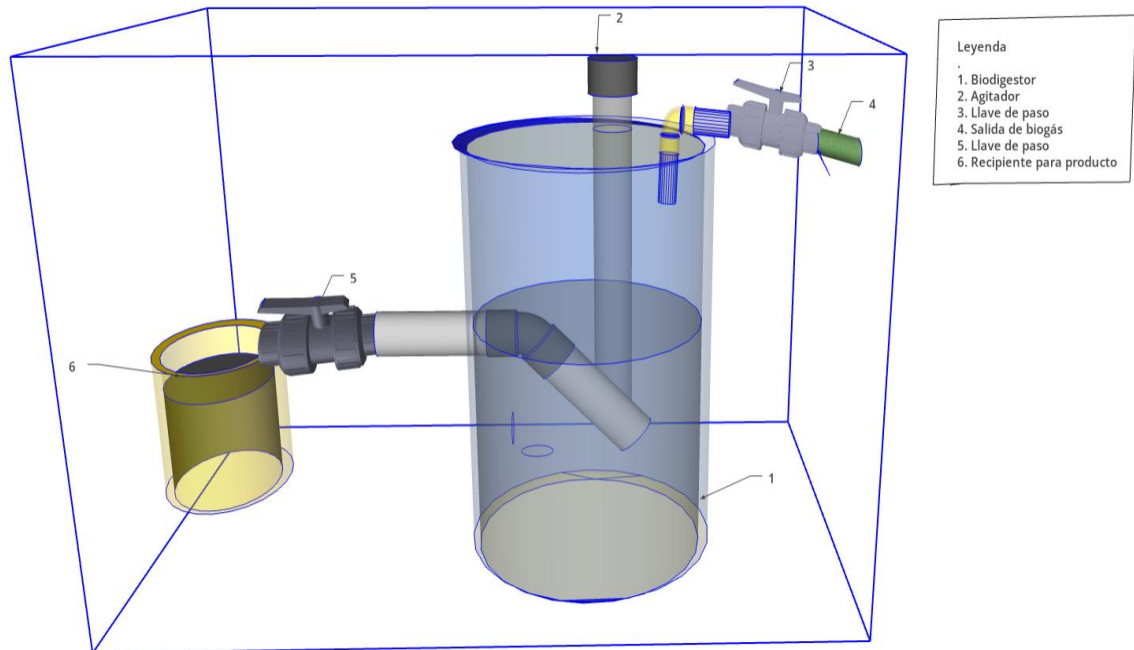
*Parte superior del biorreactor*



La presente figura 5 indica un diagrama esquemático de un sistema de biodigestor anaeróbico, su diseño está representado en una vista tridimensional que permite observar cada uno de sus elementos.

**Figura 6**

*Parte frontal del biodigestor*



En el sistema de la figura 6 está compuesto por los siguientes elementos principales como son los siguientes.

- Tanque principal de materia orgánica (Biodigestor): Recipiente cilíndrico de gran capacidad donde se procesa la materia orgánica.
- Agitador: Dispositivo mecánico ubicado en la parte superior del biodigestor que homogeniza el material en proceso.
- Sistema de válvulas de paso: Incluye dos llaves de paso, una en la salida de biogás y otra en la conexión con el tanque de biofertilizante.
- Recipiente secundario: Sirve para la recolección del subproducto líquido (biofertilizante) del proceso.

#### 3.4.4.2. Cálculos dimensionales del biorreactor

##### Volumen real

$$V_r = \frac{m}{p}$$

Ec. 1

$$V_r = \frac{m}{p} = \frac{6}{1022,01} = 0,0058708 \text{ m}^3 = 5,8708 \text{ L}$$

### Volumen de seguridad

$$V = f_s * V_r \quad \text{Ec. 2}$$

$$V = f_s * V_r = (0,15) * (5,8708) = 0,88 L$$

### Volumen total

$$V_t = V + V_r \quad \text{Ec. 3}$$

$$V_t = V + V_r = (0,88 + 5,8708) = 6,75 L$$

### Altura del tanque

$$h = \frac{V_t}{\pi * r^2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$h = \frac{0,00675}{\pi * (0,1)^2} = 0,21 m$$

### Área del biorreactor

$$A = 2\pi r (h + r) \quad \text{Ec. 5}$$

$$A = 2\pi * 0,1 (0,21 + 0,1)$$

$$A = 0,20 m^2$$

### 3.4.5. Análisis químico al biofertilizante

Se empleó la normativa INEN NTE 211: 98, primera revisión, para identificar los macronutrientes y micronutrientes presentes en el biofertilizante. Mediante esta normativa, se determinó el mejor tratamiento que proporciona el mayor porcentaje de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el biofertilizante.

### Evaluación a variables respuesta

**Tabla 15**

*Variables respuesta*

Parámetros	Método	Unidad de medida
Nitrógeno total	AN-EMAPAG-50	%
Fósforo	AN-EMAPAG-58	mg/kg
Potasio	AN-EMAPAG-64	mg/kg

### **3.5. Análisis estadístico**

Se realizó una estadística descriptiva diferencial mediante análisis de varianza (Anova), gráfico de interacciones y gráfico de medias con la ayuda del software Statgraphics modelamiento matemáticos STATISTICA y Microsoft Excel.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Caracterización de la materia prima

##### 4.1.1. Análisis proximal

Para el análisis proximal, se evaluaron los parámetros mediante métodos de análisis de la Asociación Científica dedicada a la Excelencia Analítica (AOAC) y Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), y se obtuvieron resultados que contribuyen al presente estudio.

**Tabla 16**

*Análisis proximal*

Parámetro	Unidad	Valor encontrado		
		Lactosuero	Melaza	Residuos de pescado
Grasa		0,29	0,39	4,83
Humedad	%	93,07	24,5	71,11
Ceniza		0,28	8,01	4,12
pH	.....	6,57	5,17	6,81
Acidez	% ácido láctico	0,27		

Nota: Análisis realizado en el laboratorio de investigación de la UEB.

El lactosuero es destacado por su alto contenido de humedad 93,07% y bajo en ceniza 0,28%, ideal para fertilización líquida. La melaza, muestra una composición de humedad de 24,5 % además al ser rica en minerales, con un valor de 8,01 % siendo útil para el suelo con nutrientes, datos similares reportados por (Mata, 2023) con un valor de 11, 33% en cenizas. Los residuos de pescado, con alta grasa 4,83 % y humedad 71,11 %, son recomendados para aumentar la materia orgánica y fertilidad del suelo. Para la elaboración del biofertilizante es necesario realizar una mezcla para maximizar los beneficios para las plantas.

#### 4.1.2. Análisis elemental

Tabla 17

*Análisis elemental*

Parámetro	Unidad	Valor encontrado		
		Lactosuero	Melaza	Residuos de pescado
Carbono		2,87	29,85	10,62
Nitrógeno	%	0,20	0,74	2,17
Hidrógeno		11,56	9,96	9,13
Azufre		0,09	0,43	0,09

*Nota:* Análisis realizado en el laboratorio de investigación de la UEB.

El contenido de carbono presente en lactosuero es de 2, 87 % y una cantidad de nitrógeno de 0,20 %, por otra parte, la melaza el contenido de carbono es 29,85 % y de nitrógeno 0,74 % en cambio para los residuos de pescado carbono tiene 10,62 y de nitrógeno 2,17 siendo que estos datos permitirán al estudio optimizar la relación de C/N para una buena digestión anaerobia. La melaza se utilizó como principal fuente de carbono, los residuos de pescado al aportar con nitrógeno y fósforo por su alto contenido proteico el lactosuero contribuye con el medio líquido aportando microorganismos benéficos.

#### 4.1.3. Análisis microbiológico

La presente tabla 18 da a conocer el análisis microbiológico, realizado a las tres materias primas dando como resultado en el lactosuero la presencia de *E. Coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus Aeureus* en cambio para la melaza se tiene la ausencia de microorganismos para residuos no existe la presencia de *E. Coli* sin embargo *salmonella* y *Staphylococcus aeureus* su presencia es incontable. Con base en los resultados de los análisis microbiológicos, es importante tomar medidas en la elaboración del biofertilizante orgánico, utilizando métodos como el tratamiento térmico o esterilización del medio, ya sea ceniza o cal, para tener materias primas sin la presencia de estas bacterias.

**Tabla 18***Análisis microbiológico*

Parámetro	Unidad	Valor encontrado		
		Lactosuero	Melaza	Residuos de Pescado
<i>E. Coli</i>	UFC	3	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	UFC	18	Ausencia	Incontable
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC	6	Ausencia	Incontable

*Nota:* Análisis realizado en el laboratorio de investigación de la UEB.

#### 4.2. Resultados en el análisis de biofertilizante en la cantidad alcanzada en Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

La tabla 19 presenta los valores obtenidos en los diferentes tratamientos etiquetados como el T1 al T36, cada fila representa un tratamiento con las concentraciones de N, P, K.

**Tabla 19***Valores obtenidos en la cantidad de N, P y K*

Tratamientos	Macronutrientes		
	N	P	K
<b>T1</b>	0,52	0,83	0,02
<b>T2</b>	0,53	0,20	0,02
<b>T3</b>	0,45	0,17	0,02
<b>T4</b>	0,36	0,57	0,01
<b>T5</b>	0,41	0,15	0,69
<b>T6</b>	0,47	0,44	0,01
<b>T7</b>	0,29	0,41	0,01
<b>T8</b>	0,33	0,08	0,01
<b>T9</b>	0,43	0,68	0,02

<b>T10</b>	0,67	0,31	0,01
<b>T11</b>	0,37	0,22	0,01
<b>T12</b>	0,67	0,62	0,02
<b>T13</b>	0,42	0,35	1,08
<b>T14</b>	0,13	0,21	0,01
<b>T15</b>	0,29	0,44	0,01
<b>T16</b>	0,27	0,15	0,52
<b>T17</b>	0,12	0,16	0,01
<b>T18</b>	0,31	0,44	0,02
<b>T19</b>	0,24	0,08	0,01
<b>T20</b>	0,39	0,20	0,02
<b>T21</b>	0,42	0,52	0,02
<b>T22</b>	0,30	0,55	0,03
<b>T23</b>	0,41	0,85	0,02
<b>T24</b>	0,30	0,09	0,02
<b>T25</b>	0,64	0,70	0,49
<b>T26</b>	0,61	0,77	0,5
<b>T27</b>	0,65	0,73	0,48
<b>T28</b>	0,62	0,71	0,49
<b>T29</b>	0,5	0,68	0,43
<b>T30</b>	0,63	0,72	0,5
<b>T31</b>	0,64	0,74	0,52
<b>T32</b>	0,51	0,70	0,45
<b>T33</b>	0,63	0,72	0,49
<b>T34</b>	0,67	0,70	0,46
<b>T35</b>	0,69	0,71	0,45
<b>T36</b>	0,7	0,73	0,51

---

*Nota:* Son los resultados obtenidos en todos los tratamientos para determinar N, P, K en el biofertilizante orgánico.

#### 4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) de nitrógeno en biofertilizante

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza para la variable de respuesta Nitrógeno*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:m/os	0,0045	1	0,0045	0,1900	0,6682
B: Agitación	0,0092	1	0,0092	0,3900	0,5396
C: Residuos	0,8993	2	0,4497	19,0400	<b>0,0000**</b>
<b>Interacciones</b>					
AB	0,0627	1	0,0627	2,6500	0,1181
AC	0,0703	2	0,0351	1,4900	0,2488
BC	0,0223	2	0,0112	0,4700	0,6299
Residuos	0,4959	21	0,0236		
Total (corregido)	1,6427	30			

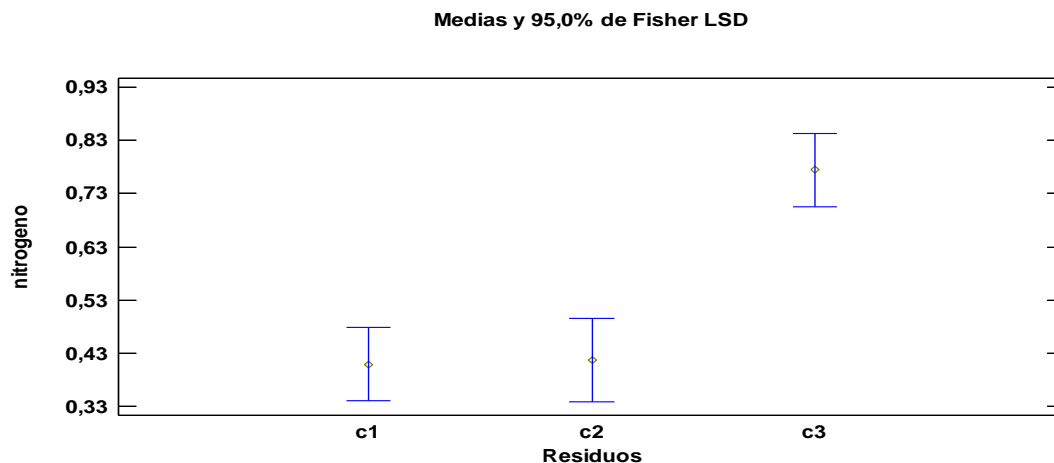
*Nota: \*\*:* Diferencia altamente significativa.

La tabla 20 descompone la variabilidad de los diferentes factores de estudio, del error y el total. El análisis de varianza del Nitrógeno obtenido, los valores -P prueban la significancia de cada uno de los factores e interacciones. Puesto que 1 valor-P es menor que 0,05, este factor tiene efecto altamente significativo sobre el nitrógeno con un 95.0% de nivel de confianza. Al demostrar que al menos un factor de estudio tiene diferencia significativa, se realizó pruebas de múltiples rangos por el método de diferencia mínima significativa (LSD) para establecer el nivel de incidencia del factor C.

La figura 7 y la tabla 20 indica al 95 % de confianza, determina la relación entre el tipo de residuo y el contenido de nitrógeno, lo que determina las medias de cada nivel y su variación en función de los microorganismos. Los resultados indican que el nivel C1 (Melaza) y C2 (Residuos de pescado) presentan medias estadísticamente similares. El nivel C3 (Melaza + Residuos de pescado) muestran medias estadísticamente diferentes a C1 y C2. El nivel C3 presenta los valores más altos en el contenido de nitrógeno con un valor de 0,77 %.

**Figura 7**

*Medias del factor Residuos en el porcentaje de Nitrógeno*



**Tabla 21**

*Pruebas de Múltiple Rangos para nitrógeno por Residuos*

Residuos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
c1	11	0,409253	0,0468707	X
c2	9	0,417202	0,0533538	X
c3	11	0,774438	0,0468707	X

De acuerdo a la investigación de Lastra, (2020) reporta un valor de 0,62 %, valor similar a lo reportado en esta investigación que fue del 0,76 % para nitrógeno, estos valores al ser parejo debido a los componentes para la obtención del producto. Por otro lado, (Quispe, 2022) obtuvo 1,49 % en su estudio de aprovechamiento de afluente de suero y estiércol de vacuno en la producción de abonos líquidos. Esto se puede deber a que utilizaron un 90 % de suero y 10 % de estiércol de ganado (vacuno), aspecto que difiere a lo reportado en esta investigación.

#### 4.2.2. Análisis de varianza de Fósforo en biofertilizante

**Tabla 22**

*Análisis de Varianza para la variable de respuesta Fósforo*

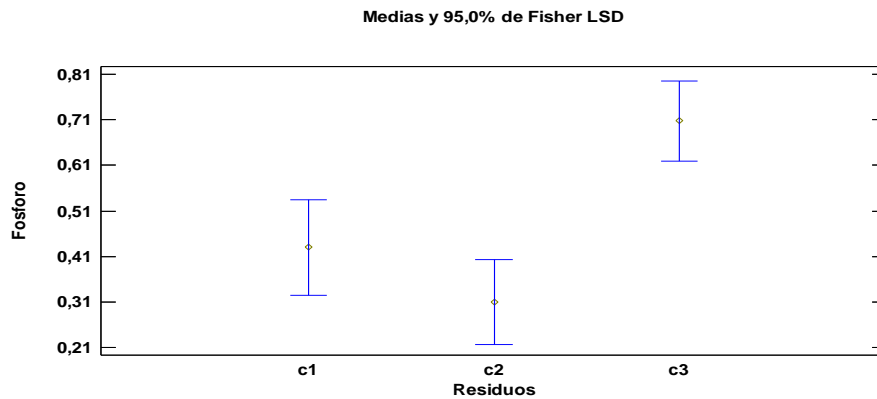
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:m/os	0,1651	1	0,1651	3,7400	0,0657
B: Agitación	0,0008	1	0,0008	0,0200	0,8956
C: Residuos	0,9454	2	0,4727	10,7000	<b>0,0005 **</b>
Interacciones					
AB	0,0531	1	0,0531	1,2000	0,2841
AC	0,0509	2	0,0254	0,5800	0,5703
BC	0,1412	2	0,0706	1,6000	0,2240
Residuos	1,0164	23	0,0442		
Total (corregido)	2,4586	32			

*Nota: \*\*:* Diferencia altamente significativa.

La tabla 22 descompone la variabilidad de los diferentes factores de estudio, del error y el total. El análisis de varianza de fósforo obtenido, los valores -P prueban la significancia de cada uno de los factores e interacciones. Puesto que 1 valor-P es menor que 0,05, este factor tiene efecto altamente significativo sobre el fósforo con un 95.0% de nivel de confianza. Al demostrar que al menos un factor de estudio tiene diferencia altamente significativa, se realizó pruebas de múltiples rangos por el método de diferencia mínima significativa (LSD) para establecer el nivel de incidencia del factor C con el 95.0% de confianza.

**Figura 8**

*Medias del factor C en el porcentaje de Fósforo.*



**Tabla 23**

*Pruebas de Múltiple Rangos para Fósforo por residuos*

Residuos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
c2	11	0,309819	0,0641058	X
c1	10	0,429457	0,0712055	X
c3	12	0,7075	0,0606843	X

La figura 8 y la tabla 23 indica la relación entre el tipo de residuo y el contenido de fósforo. Se presentan las medias de cada nivel de residuo, y la variación en función de los microorganismos. La media del nivel c2 (Residuos de pescado) es estadísticamente igual a la media del nivel c1 (Melaza), y estadísticamente diferente a la media del nivel C3 (Melaza + Residuos de pescado). La media del nivel 1 es estadísticamente igual a la media del nivel C2 y estadísticamente diferente a la media del nivel C3. La media del nivel C3 es estadísticamente diferente a las medias del nivel C1 y C2. La media del nivel C3, presenta mayores valores en el contenido de fósforo con relación a las otras medias de los otros niveles.

La variable fósforo presenta un valor de 0,70 %. Según. (Ramírez et al., 2016) en su estudio de obtención de un abono líquido producido mediante una fermentación

homoláctica reporta un valor semejante de 0,66% de fósforo (P). Por otra parte (J. López et al., 2023) en su investigación de obtención de bio abono a partir de microorganismos de montaña con melaza, reportan un valor 0,53% de fósforo (P) a los 75 días de su elaboración al distinguirse a esta investigación que se reporta un valor de 0,70 % de fósforo (P) a sus 30 días de elaboración. Esta diferencia puede deberse a los insumos utilizados, tipo de digestor y el proceso anaeróbico.

#### 4.2.3. Análisis de varianza (ANOVA) de Potasio en biofertilizante

**Tabla 24**

*Análisis de Varianza para la variable de respuesta Potasio*

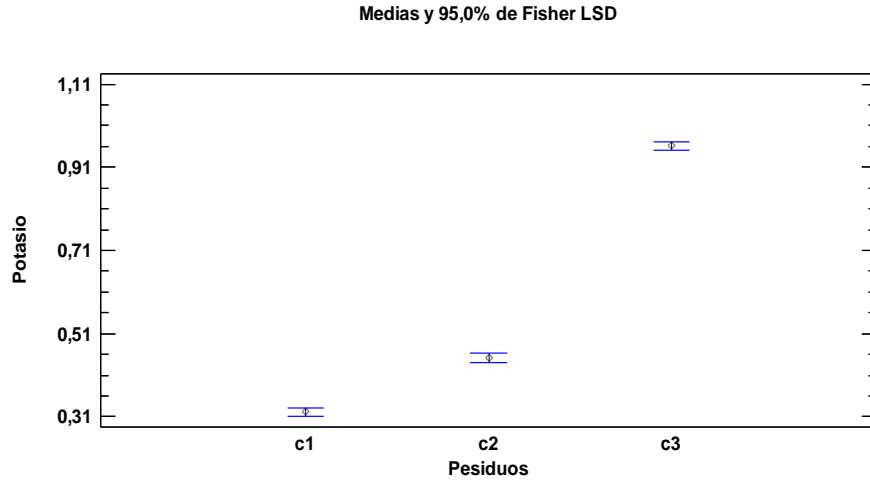
Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:m/os	0,0004	1	0,0004	0,61	0,4412
B: Agitación	0,0064	1	0,0064	9,79	0,0043
C: Residuos	2,7464	2	1,3732	2100,19	0,0000 **
Interacciones					
AB	0,0009	1	0,0009	1,38	0,2513
AC	0,0152	2	0,0076	11,62	0,0002 **
BC	0,0002	2	0,0001	0,15	0,8589
Residuos	0,0170	26	0,0007		
Total (corregido)	2,7865	35			

*Nota: \*\*:* Diferencia altamente significativa.

La tabla 24 descompone la variabilidad de los diferentes factores de estudio, del error y el total. El análisis de varianza del potasio obtenido, los valores -P prueban la significancia de cada uno de los factores e interacciones. Puesto que 4 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen efecto altamente significativo sobre el Potasio con un 95.0% de nivel de confianza. Al demostrar que los factores de estudio tienen diferencia altamente significativa, se realizó pruebas de múltiples rangos por el método de diferencia mínima significativa (LSD) para establecer el nivel de incidencia del factor A, factor C con el 95.0% de confianza.

**Figura 9**

*Gráfico de medias del Potasio*



**Tabla 25**

*Pruebas de Múltiple Rangos para Potasio por Residuos*

C	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	12	0,321667	0,00440959	X
2	12	0,451667	0,00440959	X
3	12	0,961667	0,00440959	X

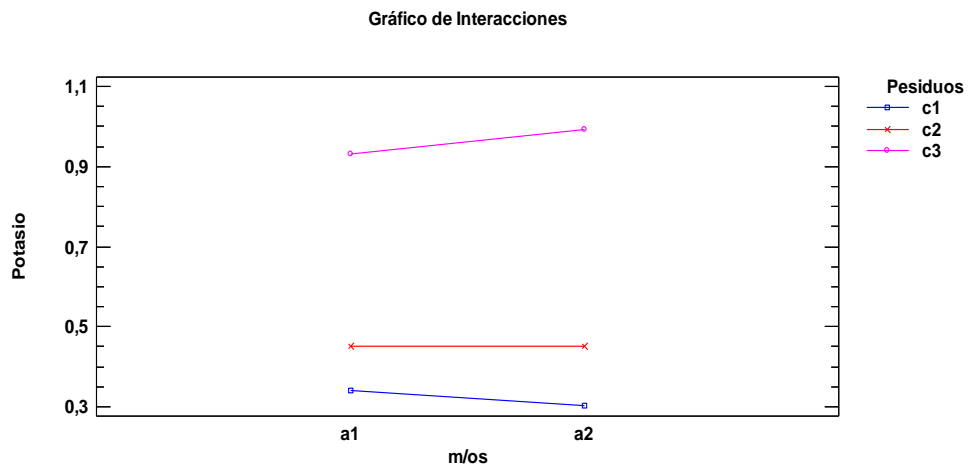
La figura 9 y la tabla 25 muestran la relación entre el tipo de residuo y el contenido de Potasio, presentando las medias de cada nivel y su variación según los microorganismos. Los resultados demuestran que el nivel C1 (Melaza) presenta medias estadísticamente diferentes a C2 (Residuos de Pescado) y C3 (Melaza + Residuos de pescado). El nivel C2 muestra medias estadísticamente diferentes a C1 y C3. El nivel C3 presenta los mayores valores de contenido de Potasio en comparación con los otros niveles con un valor de 0,961667.

El resultado obtenido para potasio (K) es de 0.96 %, valor similar a lo reportado por (Currilla & Flores, 2022) en su estudio de efecto del lactosuero en la producción de bio abono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor batch, presentado un valor de 0.93 %. Según Aldana & Maquén, (2023) en su estudio

reporta un valor de 1,25 % esto se debe a la mezcla de materias primas (50 % de residuos de pescado, 31. 25 % de melaza y 18. 75 % de cachaza).

**Figura 10**

*Gráfico de interacciones*



En la figura 10 se aprecia la interacción entre los factores A y C en el contenido de potasio. En el nivel bajo del residuo C1 con el microorganismo, A1 aumenta el porcentaje de potasio, al trabajar con el microorganismo A2 disminuye el porcentaje de potasio. El residuo C2 al trabajar con el A1 tiene un valor alto de potasio, al trabajar con el microorganismo, A2 mantiene su porcentaje de potasio. El residuo C3 al trabajar con el microorganismo A1 tiene un valor de potasio alto, y al trabajar con el microorganismo A2 aumenta un poco más el porcentaje de potasio.

### 4.3. Evaluación del mejor tratamiento a través del análisis de microorganismos benéficos (MOBs) y micronutrientes.

Se determinó que el tratamiento 12 presentó un alto porcentaje (%) en nitrógeno, fósforo y potasio. Por lo tanto, se realizó el análisis de microorganismos benéficos y micronutrientes.

#### 4.3.1. Evaluación de micronutrientes

**Tabla 26**

*Micronutrientes*

Parámetro	Unidad	Método de ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado
Hierro Total (Fe)	%	AN-EMAPAG-AF	0,005	18
Manganeso (Mn)	mg/kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	9
Zinc (Zn)	mg/kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	2

La siguiente tabla 26, indica los análisis de micronutrientes del biofertilizante realizado al mejor tratamiento (12) donde se midieron elementos como hierro total (Fe), con 18 % considerando que este mineral ayuda para el desarrollo de las plantas. Por lo tanto, cabe señalar que el resultado presentado se encuentra dentro de la normativa NTE INEN 211: 98 con excepción de zinc (Zn) 2 mg/kg y manganeso (Mn) 9 mg/kg al no estar dentro del rango de micronutrientes.

El análisis realizado en la presente investigación se obtuvo una concentración de 18% de hierro valor semejante a lo que reporta de Barrera (2017) en su estudio de obtención de un fertilizante biodegradable a partir del lactosuero, con un valor de 23 % en hierro.

Cabe indicar que para manganeso se obtiene una concentración de 9 mg/kg y 2 mg/kg de zinc, estos resultados al ser mayores se diferencian a los reportados por (Gil et al., 2023), quienes obtuvieron valores de 0,30 mg/L de manganeso y 0,140 mg/L de zinc en su biofertilizante elaborado a partir de estiércol de bovinos. Esta

diferencia en las concentraciones de estos minerales puede atribuirse a diversos factores relacionados con la composición y las condiciones de preparación del fertilizante orgánico.

#### 4.3.2. Evaluación de microorganismos benéficos

**Tabla 27**

*Microorganismos benéficos*

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (k-z)
<i>Azotobacter spp</i>	UFC/m 1	AN- EMAPAG -56	.....	30,54	10 ±
<i>Azospirillum spp</i>	UFC/m 1	AN- EMAPAG -62	.....	10 <sup>7</sup>	16 ±

Como se indica en la tabla 26 es el resultado de análisis de microorganismos benéficos que se encuentran en el biofertilizante orgánico donde se evalúa dos tipos de bacterias benéficas *Azotobacter* y *Azospirillum* que son microorganismos conocidos por su capacidad de fijación de nitrógeno y promueven el crecimiento en las plantas.

#### 4.4. Balance de materia para la elaboración del biofertilizante orgánico

En la tabla 28 se detalla los datos del proceso que se ha utilizado en la elaboración del biofertilizante orgánico como en la figura 11 se evidencia el diagrama de proceso para el balance de materia

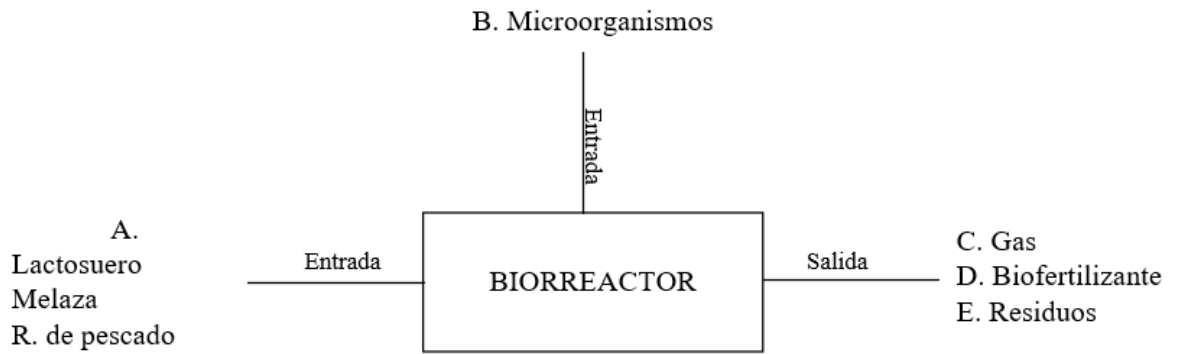
**Tabla 28**

*Datos del proceso*

N°	Descripción	Valor	Unidad
1	Lactosuero	4,02	L
2	Melaza	0,9	L
3	Residuos de pescado	1,08	kg
4	<i>Lactobacillus</i>	0,001	g
5	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	0,001	g

**Figura 11**

*Diagrama del proceso de balance de materia*



**Balance de materia Total**

$$A + B = C + D + E$$

Ec.1

### **Balance de materia (Sólidos)**

$$E = A + D \quad \text{Ec.2}$$

$$E = 4,020 * 0,04 + 900 * 0,4 + 1080 * 0,15 + 2,4$$

$$E = 685,2 = 0,6852 L$$

### **Balance de materia (Sólidos volátiles)**

$$A = C \quad \text{Ec.3}$$

$$C = 4020 * 0,052 + 900 * 0,702 + 1080 * 0,24$$

$$C = 1368,942 = 1,36 L$$

### **Reemplazo de ecuación E y C**

$$D = A + B - C - E \quad \text{Ec.4}$$

$$D = 6000 + 2,4 - 1368,942 - 685,2$$

$$D = 3948,258 = 3,94 L$$

### **Comprobación**

$$A + B = C + D + E \quad \text{Ec.5}$$

$$6000 + 2,4 = 1368,942 + 3948,258 + 685,2$$

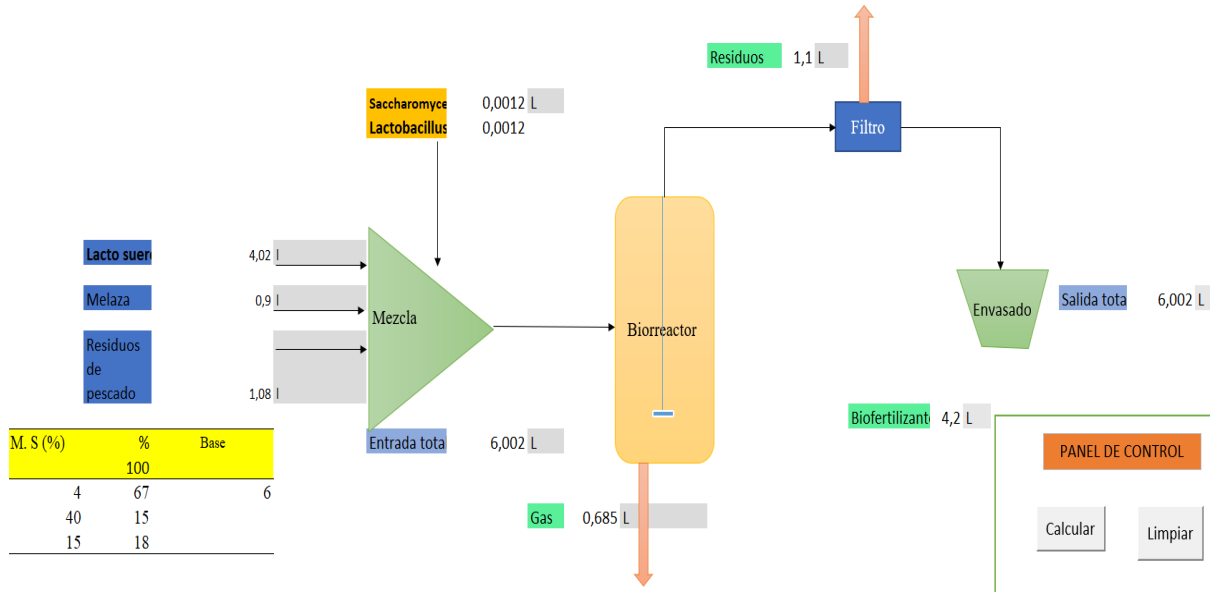
$$6002,4 = 6,0024 L$$

#### **4.4.1. Modelamiento del balance de materia en la elaboración del biofertilizante orgánico**

Se desarrolló un modelamiento en Microsoft Excel para simular el proceso de elaboración del biofertilizante orgánico, con el fin de analizar su rendimiento en función de distintas cantidades. El esquema del proceso de obtención del biofertilizante se presenta en la figura 12.

**Figura 12**

*Esquema del modelamiento para obtener biofertilizante*



**Tabla 29**

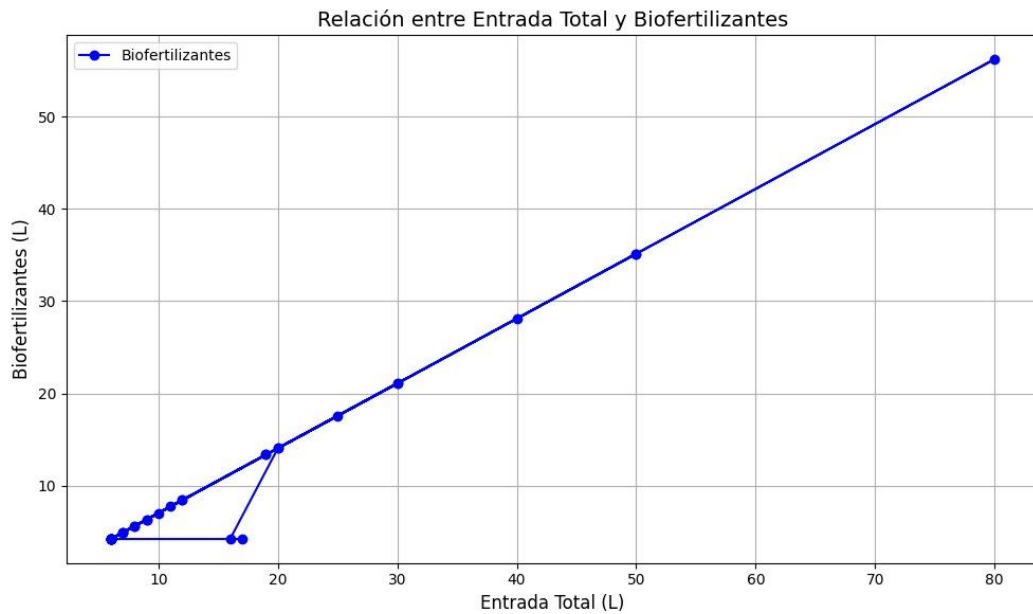
*Cálculos del modelamiento*

Base	Lactosuero	Melaza	Residuos de pescado	Lactobacillus	Entrada total	Gas	Residuo	Biofertilizante	Salida Total
6	4,02	0,9	1,08	0,0012	6,002	0,685	1,100	4,217	6,002
7	4,69	1,05	1,26	0,0012	7,002	0,799	1,283	4,920	7,002
10	6,7	1,5	1,8	0,0012	10,002	0,685	1,100	7,029	10,002
6	4,02	0,9	1,08	0,0012	6,002	0,685	1,100	4,217	6,002
40	26,8	6	7,2	0,0012	40,002	4,554	7,334	28,114	40,002
80	53,6	12	14,4	0,0012	80,002	9,106	14,667	56,229	80,002
50	33,5	7,5	9	0,0012	50,002	5,692	9,167	35,143	50,002
25	16,75	3,75	4,5	0,0012	25,002	2,847	4,584	17,572	25,002
20	13,4	3	3,6	0,0012	20,002	2,278	3,667	14,057	20,002
30	20,1	4,5	5,4	0,0012	30,002	3,416	5,500	21,086	30,002
9	6,03	4,5	1,62	0,0012	9,002	1,027	1,650	6,326	9,002

La tabla 29 nos muestra los resultados de una simulación relacionada con procesos de la digestión anaerobia, mientras que en la figura 13 X representa la entrada total de los insumos al biodigestor, Y es el rendimiento obtenido en biofertilizante.

**Figura 13**

*Relación de producción de biofertilizante en función de la entrada de materia prima*



#### **4.5. Elaboración del producto a base del mejor tratamiento**

La figura 14 muestra la etiqueta del producto, biofertilizante foliar líquido 100 % orgánico para nutrir los cultivos de manera natural fortaleciendo los cultivos aprovechando la capacidad de adsorción en las plantas. La figura 15 indica el envase que debe ser un recipiente de material apropiado, considerando el producto que se va a envasar para no alterar sus características físicas y químicas.

**Figura 14**

*Etiqueta del producto*



**Figura 15**

*Producto*



#### **4.6. Comprobación de hipótesis**

Una vez realizada la investigación se encontró que es viable el aprovechamiento del lactosuero mediante la biometanización para la elaboración de biofertilizantes orgánicos, el proceso de biometanización es técnicamente factible y estable. El biofertilizante orgánico cumple con los estándares de calidad para biofertilizantes según la norma INEN 0211.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.1. Conclusiones

- Se realizó la caracterización de las materias primas mediante análisis elemental, proximal y microbiológico dándonos como resultado favorable a ser susceptible con un potencial al convertirse en un bio abono, por ello estas materias primas se utilizaron para dar inicio al proceso de biometanización a nivel de campo.
- Se evaluó los diferentes tratamientos para identificar el que contenga la mayor concentración N, P, K. El nivel C3 del T12 que combina melaza y residuos de pescado, presenta los valores más altos: 0,77% de nitrógeno, 0,70% de fósforo y 0,965 % de potasio. Todos los resultados son acordes a la normativa INEN NTE 2593, lo que demuestra que este abono orgánico cumple funciones en el crecimiento y desarrollo de la planta. Además, estos tratamientos no solo favorecen el crecimiento vegetal, sino que también reduce los impactos ambientales asociados con el uso excesivo de fertilizantes sintéticos, lo que resalta la importancia del uso de biofertilizantes en la agricultura sostenible.
- El análisis de micronutrientes del biofertilizante realizado al mejor tratamiento (12) muestra los siguientes resultados: hierro total (Fe), con 18% considerando que este mineral ayuda para el desarrollo de las plantas y manganeso con una concentración de 9 mg/kg, y 2 mg/kg de zinc. Además, los microorganismos *Azotobacter* y *Azospirillum* son conocidos por su capacidad de fijación de nitrógeno y promueven el crecimiento y la nutrición vegetal.
- El producto final se desarrolló tomando como base el tratamiento 12, el cual demostró ser el más efectivo por su composición nutricional, así mismo al contener micronutrientes esenciales como Zinc, Manganeso y Hierro. Su formulación se complementa con la presencia de microorganismos benéficos, específicamente las bacterias *Azotobacter spp.* y *Azospirillum spp.*, conocidas por su capacidad para mejorar la nutrición vegetal.

### **5.1.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar análisis a las materias primas para obtener una relación de C/N asegurando la obtención del biofertilizante.
- Realizar nuevos ensayos ajustando proporciones de tipos de microorganismos en nuevas formulaciones a partir de los mejores resultados obtenidos en esta investigación.
- Tener en consideración un lugar que pueda mantener la temperatura para que los microorganismos puedan desarrollarse correctamente en el proceso de digestión anaeróbica.
- Se recomienda el mejoramiento de equipos para realizar los análisis dentro de la universidad.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIAR, S., ENRÍQUEZ, M., & UVIDIA, H.** (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, 1(27), 5–11. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.26621/RA.V1I27.803>
- ALDANA, S., & MAQUÉN, J.** (2023). Aldana\_Carbonel\_Sandra\_Soledad y Maquén\_Perleche\_José\_Antonio (2). 43.
- ALLMAN, T.** (2024). ¿Qué es un biorreactor y cómo funciona? Lobov Científica. [En línea]. Disponible en: <https://www.lobov.com.ar/que-es-un-biorreactor-y-como-funciona--news--5-1205>
- APONTE, Á., PRIETO, G., CASTELLANOS, Y., MUVDI, C., & YURIEVICH, I.** (2023). Aplicaciones del lactosuero y sus derivados proteínicos | Ciencia en Desarrollo. *Ciencia En Desarrollo*, 14. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_en\\_desarrollo/article/view/15002/13681](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/15002/13681)
- ARIAS, G., & MOREANO, N.** (2023). Aprovechamiento del lactosuero en la industria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 19(1). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.24054/LIMENTECH.V19I1.1409>
- ARIZA, D., RINCÓN, M., PAZ, C., & GUTIÉRREZ, D.** (2019). Evaluación de producción de biogás y reducción de carga orgánica de vinazas mediante digestión anaerobia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 118–130. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.79555>
- ÁVILA, D.** (2024, June 17). Definición y composición del lactosuero - TSI Group - Tecnosoluciones Integrales. [En línea]. Disponible en: <https://tecnosolucionescr.net/blog/880-definicion-y-composicion-del-lactosuero>
- BARIK, D.** (2019). Energy Extraction From Toxic Waste Originating From Food Processing Industries. *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*, 17–42. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00003-1>
- BARRERA, V.** (2017). Diseño de un proceso a escala industrial para la obtención de un fertilizante biodegradable a partir del lactosuero.

- BEHERA, S. S., SARANRAJ, P., & RAY, R. C.** (2022). Microbial bioethanol fermentation technologies—Recent trends and future prospects. *Biofuels and Biorefining*, 1, 75–108. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824116-5.00011-8>
- BELTRÁN, M., & BERNAL, A.** (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- BHUVANESWARI, S., ILLAKIYA BHARATHI, K., RAJAKUMARI, K., & KUMAR, V.** (2023). Recent advances in bioremediation by metagenomics-based approach for pharmaceutical derived pollutants. *Metagenomics to Bioremediation: Applications, Cutting Edge Tools, and Future Outlook*, 55–80. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96113-4.00012-3>
- BUENO, V., & GARCÍA, Y.** (2022). Aprovechamiento de los Residuos de Pescado para la Elaboración de Fertilizantes. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91428/Bueno\\_VVY-Garcia\\_AYG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91428/Bueno_VVY-Garcia_AYG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- CAIZA, A.** (2020). Obtención de un biofertilizante probando diferentes formulaciones como mejorador de suelo y follaje en una florícola.
- CAMAÑO, J., LONDOÑO, L., & ZAPATA, J.** (2021). Análisis técnico-económico del sistema integrado por la producción de peces y la alimentación de aves con dietas elaboradas a partir de ensilado piscícolas. *Información Tecnológica*, ISSN-e 0718-0764, ISSN 0716-8756, Vol. 32, N°. 5 (octubre), 2021, Págs. 167-180, 32(5), 167–180. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000500167>
- CAYCEDO, L., CORRALES, L., & TRUJILLO, D.** (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49–94. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.5293>
- CHAMORRO, S.** (2022). Enhanced Reader. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23136/1/UPS%20-%20TTS892.pdf>

- CURRILLA, E., & FLORES, D.** (2022). Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor Batch. 23–23. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11106/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Curilla\\_Diego\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11106/1/IV_FIN_107_TE_Curilla_Diego_2022.pdf)
- CURRILLA, E., & FLORES, M.** (2022b). Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental facultad de ingeniería. 68. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11106/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Curilla\\_Diego\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11106/1/IV_FIN_107_TE_Curilla_Diego_2022.pdf)
- DAHIYA, A.** (2020). Bioenergía y digestión anaeróbica. In *Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy*. Elsevier. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.00036-1>
- Del Carpio, M., Ancco, M., Castro, A., Ancco, R., & Jimenez, H.** (2021). Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(1), 26–36. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18271/RIA.2021.229>
- FERNÁNDEZ, R.** (2023). Valorización de residuos y vertidos de matadero mediante codigestion anaerobia en fases de temperatura (TPAD). 9–12. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.13039/501100011033/FEDER>
- GALÁN, P.** (2020). Obtención de proteína unicelular a partir de la fermentación del suero ácido de quesería”. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6996/2/6.trabajo%20de%20titulacion%20paola%20galan.pdf>
- GALINDO, P., LANDEROS, F., ESQUIVEL, E., & CERVANTES, J.** (2023). Enhanced Reader. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol25/pdf/vol-25-4.pdf>
- GIL, L., & LEÓN, C.** (2021). Vista de diseño y construcción de un biorreactor batch tipo tanque agitado y aireado para la producción de proteína unicelular | *rebiol.* [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.02>

- GIL, L., LEIVA, F., LEZAMA, M., BARDALES, C., & LEÓN, C. (2023).** Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336–345. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V7I20.219>
- GÓMEZ, I. (2022).** Parámetros de control en los tratamientos anaeróbios de aguas residuales – *Flowen.com.pe*. [En línea]. Disponible en: <https://flowen.com.pe/parametros-de-control-en-los-tratamientos-anaerobios-de-aguas-residuales/>
- GONZALES, J., & IPANAQUE, M. (2022).** Revisión Sistemática de la Eficiencia del Tratamiento Biológico de Residuos Agrícolas por Digestión Anaerobia y Nitrificación. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/97864/Gonzales\\_GJS-Ipanaque\\_SM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/97864/Gonzales_GJS-Ipanaque_SM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- GONZÁLEZ, E., & SARMIENTO, G. (2019).** Biofertilizantes: Definición, función y tipos - *PortalFruticola.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/17/biofertilizantes-definicion-funcion-y-tipos/>
- GONZÁLEZ, R., TARÓN, A., & PÉREZ, J. (2022).** Modelo de crecimiento microbiano para predecir el comportamiento de *Salmonella* spp. en queso costeño colombiano. *Información Tecnológica*, 33(1), 225–234. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100225>
- GRANZOTTO, F., HOLZ, E., DÍAZ, F., HOFFMANN, R., & DÍAS, D. (2023).** Actualización de los procesos de digestión anaeróbica de residuos orgánicos. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/2876/15741>
- HERNÁNDEZ, J., SOTO, S., QUINTERO, A., & PILONI, J. (2020).** Usos y propiedades del Lactosuero. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 6. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/5926/7125>
- IADE. (2007).** *Biomasa Digestores anaerobios*.

- Juárez, P., Torres Fernando, Yánes, R., Terrazas, M., & Morales, H. (2021).** Vista de Preparación de bioles orgánicos. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 127–130. [En línea]. Disponible en: <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/369/533>
- KIRK, D. M., & GOULD, M. C. (2020).** Bioenergy and anaerobic digestion. *Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy*, 335–360. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815497-7.00017-8>
- LASTRA, L. (2020).** “Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes (em) para la obtención de abono líquido a partir de la mezcla de excretas y lactosuero de ganado vacuno, Ucayali, Perú. 49. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/https://apirepositorio.unu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bf1aca23-8b2f-445e-a5fa-91ae61c881c9/content>
- LIDA. (2023).** Biofertilizantes: Tipos, Funciones y Beneficios. [En línea]. Disponible en: <https://www.lidaplantresearch.com/biofertilizantes/biofertilizantes-tipos-funciones/>
- LÓPEZ, J. (2021).** Cuatro características del lactosuero que la industria y los consumidores deben tener en cuenta. [En línea]. Disponible en: <https://www.naturallgroup.com/post/lactosuerocharacter%C3%ADsticas>
- LÓPEZ, J., ESTÉVEZ, K., MEJÍA, E., ROMERO, E., & DÍAZ, F. (2023).** Caracterización Química de Biofertilizantes Inoculados con Microorganismos de Montaña, en el Departamento De Copán, Honduras. *Bionatura*, 8(2), 1–9. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.39>
- MARTÍNEZ, A. (2023).** La melaza en la agricultura: un aliado para mejorar tus cultivos. [En línea]. Disponible en: <https://agroecologysl.com/la-melaza-en-la-agricultura-un-aliado-para-mejorar-tus-cultivos/>
- MATA, C. (2023).** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Carrera Ingeniería Química diseño del proceso industrial para la obtención de un fertilizante líquido orgánico. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/20290/1/96T00899.pdf>

- MECA, D.** (2022). Bioestimulantes y biofertilizantes. [En línea]. Disponible en: <https://www.plataformatierra.es/innovacion/bioestimulantes-biofertilizantes-agricultura-sostenible>
- MONTES, M.** (2021). Ensayos batch de lodos y residuos agroalimentarios para la optimización de la tecnología de separación de fases de microorganismos del proceso anaerobio. [En línea]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/25262/MariaMontesTFG.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- MORA, J., & PORTILLA, D.** (2022). Vista de Lactosuero: materia prima para la elaboración de productos con valor agregado. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3017/3275>
- MORALES, C., RIVADENEIRA, B., & GARCÍA, S.** (2018). Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *Revista ESPAMCIENCIA*, 9(1), 23–31. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7020070&info=resumen&idioma=ENG>
- MORALES, D., & ARRIETA, Á.** (2023). Utilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales Use of agroindustrial waste in the manufacture of materials. 243–245. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21892/9786287515413.10>
- MORERA, J.** (2023). “La biofertilización promueve la fertilidad del suelo y aumenta la calidad y cantidad de las cosechas de manera sostenible” - Coial. [En línea]. Disponible en: <https://www.coial.org/la-biofertilizacion-promueve-la-fertilidad-del-suelo-y-aumenta-la-calidad-y-cantidad-de-las-cosechas-de-manera-sostenible/>
- MÜLLER, R.** (2020). ¡Cuánta riqueza detrás de la leche! 158–159. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cfe.edu.uy/bitstream/handle/123456789/1438/Muller%2c%20R.%2c%20Cuanta.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- OÑA, E.** (2022). evaluación de las propiedades físico químicas y microbiológicas de galletas dulces enriquecidas con lactosuero”. 16. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2197d922-7716-4a9e-80b9-b613ecc87b97/content>

- OVIEDO, K.** (2021). Aprovechamiento nutricional del lactosuero. [En línea]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/OVIEDO%20ESPIN%20KHARLA%20MARISSA.pdf>
- PÁEZ, H., DUARTE, D., & SANTA CRUZ, C.** (2023). Vista de fertilizantes elaborados a base de melaza y microorganismos y su rendimiento en el cultivo de Repollo (*Brassica oleracea* var. *Capitata*). 7(2). [En línea]. Disponible en: <https://revistascientificas.unves.edu.py/index.php/rcunves/article/view/63/68>
- PARRA, D.** (2022). Evaluación del proceso de digestión anaerobia del sargazo pelágico y su escalamiento en dos etapas utilizando transferencia directa de electrones entre especies (diet). *conacyt*. [En línea]. Disponible en: [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/2126/1/PCER\\_M\\_Tesis\\_2022\\_David\\_Leonardo\\_Parra\\_Ortiz.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/2126/1/PCER_M_Tesis_2022_David_Leonardo_Parra_Ortiz.pdf)
- PÉREZ, C., GARCÍA, O., ARCADIO, E., ROMÁN, Y., & LÓPEZ, H.** (2020). Optimización del medio de cultivo y las condiciones de fermentación para la producción de un biofertilizante a base de *Azotobacter chroococcum*. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S207486472020000300189&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S207486472020000300189&script=sci_arttext)
- POLO, R.** (2022). “Biofertilizantes” una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 10 años. *HIGH TECH-ENGINEERING JOURNAL*, 2(1), 90–97. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.46363/HIGH-TECH.V2I1.4>
- POVEDA, G.** (2021). Evisión sistemática de metodologías de extracción, cuantificación y parámetros operativos en la digestión anaerobia para la obtención de ácidos grasos en la fase acidogénica a partir de residuos orgánicos y/o lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. 4–5. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3555/1/Revision\\_sistematica](https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3555/1/Revision_sistematica)

\_metodologias\_extraccion\_cuantificacion\_parametros\_operativos\_%20digestion\_anaerobia\_obtencion\_acidos\_grasos.pdf

**QUISPE, N.** (2022). Aprovechamiento del efluente residual de suero de queso y estiércol de bovino en la producción de biogás y abonos líquidos orgánicos de una planta en puno-cabana. 58.

[En línea]. Disponible en: [moz-extension://78c88d92-6b3c-40ff-b709-960a3f75562f/enhanced](https://78c88d92-6b3c-40ff-b709-960a3f75562f/enhanced)

[reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Frepositorio.cientifica.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12805%2F3234%2FTL-Quispe%2520N-Ext.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy](https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2F3234%2FTL-Quispe%2520N-Ext.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy)

**RAMÍREZ, H., CADILLO, W., & MORALES, J.** (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2), 133–142. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/REA.V15I2.753>

**RAMÓN, J.** (2021). Dinámica de minerales y bacterias ácido lácticas en biofertilizantes líquidos desarrollados con recursos del trópico húmedo. [En línea]. Disponible en:

[https://pdfelementcloud.wondershare.com/share/review/hE\\_1-DpTVEsSEjrjWrVGy0zGNJcdiJmPAQRZ8mrDlduy7rDDf5Uda2Fiz0JrfXXzGWORJ\\_aRARbPD4G9uglGFTJEFyaUljh\\_4s3UJYrA5Ko](https://pdfelementcloud.wondershare.com/share/review/hE_1-DpTVEsSEjrjWrVGy0zGNJcdiJmPAQRZ8mrDlduy7rDDf5Uda2Fiz0JrfXXzGWORJ_aRARbPD4G9uglGFTJEFyaUljh_4s3UJYrA5Ko)

**REYNOSO, A., COSME, R. C., ADAMA ROJAS, E. R., & QUISPE HUINCHO, M. R.** (2022). Manual Técnico – Producción de biofertilizante líquido acelerado. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1673>

**SÁNCHEZ, A.** (2024). Efecto del biofertilizante de harina de huesos de pescado en la producción de alfalfa (medicago sativa l.), en la campiña de Cajamarca. 11. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/7458/TESIS%20%20ANA%20IRIS%20SANCHEZ%20VARGAS%20REPOSITORIO%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- SÁNCHEZ, I., FUERTE, L., RAVELO, R., & ÁVILA, O.** (2022). Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. *Ingeniería Agrícola*, 12(4), 51–52. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1635>
- SUNARPI, H., ANSYARIF, F., PUTRI, F. E., AZMIATI, S., NUFUS, N. H., SUPARMAN, WIDYASTUTI, S., & PRASEDYA, E. S.** (2019). Effect of Indonesian macroalgae based solid and liquid fertilizers on the growth and yield of rice (*Oryza sativa*). *Asian Journal of Plant Sciences*, 18(1), 15–20. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3923/AJPS.2019.15.20>
- TOMARAN, H.** (2022). Digestión anaeróbica. [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa\\_Biol%C3%B3gica/Combustibles\\_alternativos\\_a\\_partir\\_de\\_fuentes\\_de\\_biomasa\\_\(Toraman\)/12%3A\\_Procesos\\_Adicionales\\_para\\_Combustibles\\_a\\_partir\\_de\\_Biomasa/12.01%3A\\_Digesti%C3%B3n\\_anaer%C3%B3bica](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Biol%C3%B3gica/Combustibles_alternativos_a_partir_de_fuentes_de_biomasa_(Toraman)/12%3A_Procesos_Adicionales_para_Combustibles_a_partir_de_Biomasa/12.01%3A_Digesti%C3%B3n_anaer%C3%B3bica)
- TORRES, Q.** (2019). Evaluación de estrategias para el manejo de residuos de lactosuero en la localidad de miahuatlán, Veracruz. 45–46. [En línea]. Disponible en: <moz-extension://78c88d92-6b3c-40ff-b709-960a3f75562f/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.uv.mx%2Fmeae%2Ffiles%2F2020%2F07%2FTESIS-QUETZALLY-TORRES-MARTINEZ-MEAE.pdf>
- TORRES, Q., & ROMERO, K.** (2020). Alternativas tecnológicas para uso del lactosuero: valorización económica de residuos. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(55). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.24836/ES.V30I55.908>
- VARGAS, C.** (2018). Análisis de biodegradabilidad de gallinaza y lactosuero y su potencial de biometanización a escala de laboratorio. 23–25. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/19195/An%c3%a1lisis%20de%20biodegradabilidad%20de%20gallinaza%20y%20lactosuero%20y%20su%20potencial%20de%20bioetanicacion%20a%20escala%20de%20laboratori%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**VÉLIZ, C., & SENI, O.** (2022). Wondershare PDFelement Cloud. [En línea].  
Disponible en:  
<https://pdfelementcloud.wondershare.com/share/review/QQx0wYbIMIjx02GiGpwcRpkuiX4178rbOSaiLAOgdfkzZZ4LMRxyXHXkuBAkF05GGEm-fbpTW7sf8tF3isTtvZwaJHcUfYxcW9SsRnN1m8>

**ZAMBRANO, W., BELÉN, M., RIVADENEIRA, D., & ALBERTO, A.** (2021).  
Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: Antecedentes  
investigativos y usos tradicionales. *La Técnica*, ISSN 1390-6895, ISSN-e  
2477-8982, Vol. 11, N°. 2, 2021 (Ejemplar Dedicado a: Julio- Diciembre),  
Págs. 39-50, 11(2), 39–50. [En línea]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.33936/latécnica.v0i0.3490>

## ANEXOS

### Anexo 1.

*Determinación de ceniza presente en materias primas.*

Fundamento	Materiales	Técnica	Cálculo
<p>La determinación de ceniza sirve para indicar el residuo inorgánico que queda después de calcinar dicho alimento.</p> <p>Conocer el % de ceniza del lactosuero es para determinar la cantidad de sólidos y las características que en ella existe</p>	<p>Desecador</p> <p>Crisoles</p> <p>Pinzas</p> <p><b>Equipos</b></p> <p>Balanza analítica</p> <p>Mufla</p>	<p>Pesar la muestra entre 5 a 10 g en un crisol seco y tarado, colocar los crisoles en una mufla fría, encender durante 13 a 18 h aproximadamente a 550 ° C.</p> <p>Dejar enfriar la mufla, transferir los crisoles al desecador para su completo enfriamiento para pesarlos y determinar la masa con las cenizas</p> <p>Calcular el % de ceniza</p>	$\% c = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} * 100$ <p>Donde:</p> <p><b>C:</b> Porcentaje de cenizas</p> <p><b>m:</b> Masa de la cápsula vacía en g</p> <p><b>m<sub>1</sub>:</b> Masa de la cápsula con la muestra después de la incineración en g</p> <p><b>m<sub>2</sub>:</b> Masa de la cápsula con la muestra antes de la incineración en g</p>

**Fuente:** Norma AOAC 923.03: Leche, Determinación de ceniza.

**Elaborado por:** Cajo & León, (2025).

## Anexo 2.

### Determinación de grasa presente en materias primas

Fundamento	Materiales	Técnica	Cálculo
Este proceso permite determinar porcentaje de grasa presente en el lactosuero	Desecador Balón Pinzas Papel filtro	En el proceso de extracción con solvente, se pesaron 7 g de la muestra en una balanza analítica.	$\% G = \frac{m_2 - m_1}{m} * 100$
Constituye uno de los nutrientes que aportan energía al organismo de los mismos	Algodón Probeta	Se agregaron 210 ml de hexano a un balón de 250 ml y se colocaron cada una de las muestras en los cartuchos realizados a partir de papel filtro y una base de algodón	Donde: <b>G:</b> Contenido de grasa en % <b>m:</b> Masa de la muestra en g <b>m<sub>1</sub>:</b> Masa del balón con grasa en g <b>m<sub>2</sub>:</b> Masa del balón vacío g
	<b>Equipos</b> Balanza analítica Cámara de flujo laminar	Los cartuchos se introdujeron en el sifón del equipo soxhlet	
	<b>Reactivos</b> Hexano	Terminada la extracción, colocar el balón que contiene la grasa, durante 30 min, en la estufa calentada a $100 \pm 5$ ° C; enfriar hasta temperatura ambiente y pesar	

**Fuente:** Norma AOAC 2003.06: Lactosuero, Determinación de grasa láctea.

### Anexo 3.

#### *Determinación de humedad presente en las materias primas*

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales</b>	<b>Técnica</b>	<b>Cálculo</b>
Este proceso permite determinar porcentaje de humedad presente en el lactosuero	Desecador Pinzas Balanza analítica Estufa Espátula	Se procede a tarar las cajas metálicas en una estufa a 130 ± 3 ° C aproximadamente por 1 h Posteriormente las cajas fueron retiradas de la estufa y colocadas en un desecador cerca de 1 h Listas las cajas metálicas mediante una balanza analítica se pesan 2 g de la muestra y se ingresa nuevamente en la estufa manteniendo la misma temperatura durante 1h Pasado este tiempo, las muestras enfriar en un desecador por 1 h	$\% \text{ Humedad} = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} * 100$ <p>Donde:</p> <p><b>H:</b> Contenido de Humedad en %</p> <p><b>P<sub>1</sub>:</b> Peso de la caja vacía</p> <p><b>P<sub>2</sub>:</b> Peso de la caja + muestra humedad</p> <p><b>P<sub>3</sub>:</b> Peso de la caja + muestra seca</p>

**Fuente:** Norma AOAC 925.10: Lactosuero, Determinación de Humedad.

**Elaborado por:** Cajo & León, (2025).

#### Anexo 4.

##### Determinación de acidez titulable de materias primas

Fundamento	Materiales	Técnica	Cálculo
<p>El cálculo de la acidez titulable permite determinar la cantidad de ácido en una solución determinada.</p> <p>El interés de conocer la acidez del lactosuero es para determinar qué tipo de suero tenemos y cual se puede emplear.</p>	<p>Pipeta graduada de 10 <math>cm^3</math></p> <p>Pipeta volumétrica de 20 <math>cm^3</math></p> <p>Matraz Erlenmeyer de 125 <math>cm^3</math></p> <p>Bureta de 50 <math>cm^3</math> graduada en 0.1</p> <p><b>Reactivos</b></p> <p>Solución 0.1 N de NaOH</p> <p>Fenolftaleína</p> <p>Agua destilada</p>	<p>Tarar el matraz Erlenmeyer</p> <p>Pesar 20 g de la muestra recién preparada y transferir en el matraz Erlenmeyer</p> <p>Diluir el contenido del matraz con un volumen 2 veces mayor de agua destilada y agregar 2 <math>cm^3</math> de solución indicadora de fenolftaleína</p> <p>Agregar, lentamente y con agitación la solución de 0,1 N de hidróxido de sodio, hasta obtener un color rosado constante</p> <p>Este color rosado debe mantenerse durante 30 s</p> <p>Leer en la bureta el volumen de solución utilizada y realizar el respectivo cálculo</p>	$A = 0,09 \frac{V \cdot N}{m_1 - m} * 100$ <p>Donde:</p> <p><b>A:</b> Acidez titulable de la leche en % en masa de ácido láctico</p> <p><b>V:</b> Volumen de la solución de NaOH empleado en la titulación, en</p> <p><b>N:</b> Normalidad de la solución NaOH</p> <p><b>m:</b> Masa del matraz Erlenmeyer vacío, en g</p> <p><b>m<sub>1</sub>:</b> Masa del matraz Erlenmeyer con lactosuero, en g.</p>

Fuente: Norma INEN 013: Determinación de acidez titulable en materias primas.

## Anexo 5.

### *Determinación del pH en el las materias primas*

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales</b>	<b>Técnica</b>	<b>Cálculo</b>
Este método es aplicable a líquidos y soluciones salinas a fin de poder determinar por el cambio de potencial la acidez o basicidad de dicho componente.	Tubo de ensayo Solución 0.1 N de NaOH Agua destilada	Conectar y encender el equipo Determinar que el pH- metro se encuentre en perfectamente calibrado Colocar una pequeña muestra en un tubo de ensayo e introducir la aza de medición Esperar que se estabilice el valor Lavar el aza con agua destilada y colocar en su lugar	<b>pH:</b> Valor reportado por el equipo

**Fuente:** Norma, Determinación de pH.

**Elaborado por:** Cajo & León, (2025).

Anexo 6.

Análisis proximal en materia prima

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y FITOQUÍMICA</b> <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	Versión	1
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Año	2024
		Página	Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS N°162

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	Nelson Cajo – Fabián León				
<b>Muestra</b>	Lactosuero, melaza y residuos de pescado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV142 – INV143 – INV144				
<b>Estado de la muestras</b>	Fresco				
<b>Envase de recepción</b>	Recipiente de plástico				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Grasa, humedad, ceniza, acidez, pH				
<b>Fecha de recepción</b>	28 de mayo de 2024				
<b>Fecha de análisis</b>	28-30 de mayo de 2024				
<b>Fecha de informe</b>	30 de mayo de 2024				
<b>Técnico (s) asignado</b>	MPWF				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código laboratorio	Muestra	Parámetro	Unidad	Método	Resultado
INV142	Lactosuero	Grasa	%	AOAC 2003.06	0,29
		Humedad		AOAC 925.10	93,07
		Ceniza		AOAC 923.03	0,28
		pH	-----	Potenciómetro	6,57
		Acidez	% ácido láctico	INEN013	0,27
INV143	Melaza	Grasa	%	AOAC 2003.06	0,39
		Humedad		AOAC 925.10	24,50
		Ceniza		AOAC 923.03	8,01
		pH	-----	Potenciómetro	5,17
INV144	Residuos de pescado	Grasa	%	AOAC 2003.06	4,83
		Humedad		AOAC 925.10	71,11
		Ceniza		AOAC 923.03	4,32

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y FITOQUÍMICA</b> Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	<b>Versión</b>	1
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Año</b>	2024
		<b>Página</b>	Página 2 de 2

		pH	Potenciómetro	6,81
--	--	----	---------------	------

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por análisis.

  
  
**Ing. Favián Bayas, PhD.**  
**Director DIVIUEB**

Anexo 7.

Análisis microbiológico para materia prima

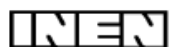
<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y FITOQUÍMICA</b> <small>Laguacolo II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	Versión	1
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Año	2024
		Página	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS N°170

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	Fabián León – Nelson Cajo				
<b>Muestra</b>	Lactosuero, melaza y residuos de pescado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV142-INV143-INV144				
<b>Estado de la muestras</b>	Fresco				
<b>Envase de recepción</b>	Recipientes de plástico				
<b>Análisis requerido(s)</b>	<i>E. Coli, Salmonella, Staphylococcus aureus</i>				
<b>Fecha de recepción</b>	03 de junio de 2024				
<b>Fecha de análisis</b>	03-04 de junio de 2024				
<b>Fecha de informe</b>	04 de junio de 2024				
<b>Técnico (s) asignado</b>	MPWF				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código laboratorio	Muestra	Parámetro	Unidad	Método	Resultado
INV142	Lactosuero	<i>E. Coli</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 991.14)	3
		<i>Salmonella</i>	Ufc	Petrifilm	18
		<i>Staphylococcus aureus</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 2003.08)	6
INV143	Melaza	<i>E. Coli</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 991.14)	Ausencia
		<i>Salmonella</i>	Ufc	Petrifilm	Ausencia
		<i>Staphylococcus aureus</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 2003.08)	Ausencia
INV144	Residuos de pescado	<i>E. Coli</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 991.14)	Ausencia
		<i>Salmonella</i>	Ufc	Petrifilm	Incontable
		<i>Staphylococcus aureus</i>	Ufc	Petrifilm (AOAC 2003.08)	Incontable
<small>Los resultados de los análisis corresponden a tres diluciones por tres réplicas</small>					
 Ing. Fabián Bayas, PhD. Director DIVIUEB					

**Anexo 8.**

*Normativa INEN 211 para abonos orgánicos*



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 211: 98**  
**Primera Revisión**

---

**FERTILIZANTES O ABONOS. TOLERANCIAS**

**Primera Edición**

FERTILIZERS. TOLERANCES

First Edition

---

DESCRIPTORES: Productos químicos para uso agrícola, fertilizantes, tolerancias  
AG 03.03-401  
CDU: 631.8  
CIU: 3512  
ICS: 65.080

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	<b>FERTILIZANTES O ABONOS TOLERANCIAS</b>	<b>NTE INEN 211:98 Primera revisión 1998-07</b>
--	---	---

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece las tolerancias mínimas y máximas permitidas en el grado garantizado de los fertilizantes o abonos, cuando se realice la inspección de fertilizantes.

### 2. DEFINICIONES

2.1 Tolerancia. Cantidad de unidades que se suman o se restan al grado garantizado de un fertilizante o abono.

2.2 Otras definiciones constan en la NTE INEN 209.

### 3. REQUISITOS

3.1 Los valores de tolerancia mínima y máxima para cada uno de los nutrientes no debe sobrepasar los valores absolutos indicados en La tabla 1.

**TABLA 1. Tolerancia. Garantía mínima y máxima**

NUTRIENTE GARANTIZADO %	TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA		
	NITROGENO TOTAL N (+/-)	FÓSFORO ASIMILABLE P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (+/-)	POTASIO SOLUBLE K <sub>2</sub> O (+/-)
4 ó menos	0,49	0,67	0,41
6	0,52	0,67	0,47
8	0,55	0,68	0,60
10	0,60	0,70	0,70
12	0,61	0,75	0,79
14	0,63	0,80	0,87
16	0,67	0,85	0,94
18	0,70	0,90	1,01
20	0,73	0,95	1,08
22	0,75	1,00	1,15
24	0,78	1,05	1,21
26	0,81	1,10	1,27
28	0,83	1,15	1,33
30	0,86	1,20	1,39
32 ó más	0,88	1,25	1,44

(\*) Para tolerancias mínimas y máximas, que no se indican en la tabla, calcular el valor apropiado por interpolación.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Productos químicos para uso agrícola, fertilizantes. Tolerancias

3.2 Cuando en el análisis de garantía mínima se incluyan macronutrientes, no deberán estar bajo las cantidades resultantes de lo que se indica en la tabla 2, para fertilizantes líquidos, y tabla 3 para fertilizantes sólidos.

**TABLA 2. Tolerancias. Garantía mínima y máxima de los macronutrientes secundarios y micronutrientes. Fertilizantes líquidos.**

NUTRIENTE	TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA		
	(+/-)		
CaO	0,28	+ 0,07	x G*
MgO	0,33	+ 0,083	x G
S	0,20	+ 0,050	x G
Mo	0,0001	+ 0,30	x G
Cl, Cu, Fe, Mn, Na, Zn	0,005	+ 0,10	x G
B	0,003	+ 0,15	x G

\* G = Es el grado garantizado en unidades de nutrientes.

**Tabla 3. Tolerancias. Garantía mínima y máxima de los macronutrientes secundarios y Micronutrientes. Fertilizantes sólidos.**

NUTRIENTE	TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA		
	(+/-)		
CaO	0,42	+ 0,105	x G*
MgO	0,50	+ 0,125	x G
S	0,30	+ 0,075	x G
B	0,005	+ 0,25	x G
Mo	0,000125	+ 0,375	x G
Cu, Mn, Fe, Na, Cl	0,015	+ 0,30	x G

\* G = Es el grado garantizado en unidades de nutriente.

(Continua)

## Anexo 9.

Resultado de análisis para determinar N, P y K.



INFORME DE ENSAYO No. 35 e					
Solicitado por:		Sres. Fabián León - Nelson Cajo			
Dirección:		Guaranda			
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:		6/11/2024 (10H00)	Fecha final de Análisis:		6 - 12/11/2024
Muestras:		Sres. Fabián León - Nelson Cajo		Fecha y Hora:	
Condiciones ambientales de análisis:		T más: 18 °C		T min: 12 °C	
Procedencia: Muestras de Biofertilizante obtenido de Lactosuero					
<b>Resultados</b>					
<b>M1 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,64	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,70	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,49	± 35
<b>M2 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,61	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,77	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,50	± 35
<b>M3 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,65	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,73	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,48	± 35
<b>M4 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,62	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,71	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,49	± 35
<b>M5 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,50	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,68	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,43	± 35
<b>M6 - LAB 01FA</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,63	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	‰	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,72	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	‰	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,50	± 35

Dirección: García Moreno y 7 de Mayo Teléfonos: 03 2550 537 / 550 539 / 550 540 / 550 541

M7 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,64	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,74	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,52	± 35

M8 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,51	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,70	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,45	± 35

M9 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,63	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,72	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,49	± 35

M10 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,67	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,70	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,46	± 35

M11 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,69	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,71	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,45	± 35

M12 - LAB 01FA					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Nitrógeno Total (N)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,49	0,70	± 16
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,67	0,73	± 12
Potasio (K <sub>2</sub> O)	g/l	AI-EMAPAG-AF	0,41	0,51	± 35

Fuente: Tabla 1. Tolerancia, Garantía mínima y máxima - Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98, Primera Revisión

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G



Ing. Quím. Raúl Allán  
TÉCNICO LABORATORIO

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunaco #, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	<b>FPG12-01</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
		<b>Año</b>	<b>2024</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 1 de 4</b>

**INFORME N° 003-2025**

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
<b>Solicitante</b>	León Peñafiel John Fabián, Cajo Araña Nelson Fredy					
<b>Muestra</b>	Biofertilizantes					
<b>Código asignado UEB</b>	INV- 214; INV- 215; INV- 216; INV- 217; INV- 218; INV- 219; INV- 220; INV- 221; INV- 222; INV- 223; INV- 224; INV- 225.					
<b>Estado de la muestra</b>	Líquido					
<b>Envase de recepción</b>	Envase de plástico					
<b>Análisis requerido(s)</b>	Nitrógeno, potasio (K <sub>2</sub> O), fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).					
<b>Fecha de recepción</b>	03/09/2024					
<b>Fecha de análisis</b>	05- 09-10-11-12-13/09/2024					
<b>Fecha de informe</b>	15/01/2025					
<b>Técnico (s) asignado</b>	MIPV					
RESULTADOS OBTENIDOS						
Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado	
INV- 214 R1	T1. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 15% de melaza, 82,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,510	
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,184	
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,018	
INV- 214 R2		T2. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,410
			Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,211
			Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,022
INV- 215 R1	T3. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de		Nitrógeno total	%	Combustión	0,530
			Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,199
			Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,032
INV- 215 R2		T3. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de	Nitrógeno total	%	Combustión	0,492
			Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,204
			Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,023
INV- 216 R1	T3. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de		Nitrógeno total	%	Combustión	0,450
			Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,100
			Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,033

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacero II, Km 1 1/2, vía a San Sebastián, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	<b>FPG12-01</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
		<b>Año</b>	<b>2024</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 2 de 4</b>

INV- 216 R2	melaza, 64,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,490
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,186
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,024
INV- 217 R1	T4. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 15% de melaza, 82,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,360
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,500
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,016
INV- 217 R2	T4. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 15% de melaza, 82,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,259
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,452
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,018
INV- 218 R1	T5. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,410
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,091
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,017
INV- 218 R2	T5. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,420
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,097
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,016
INV- 219 R1	T6. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 64,95% de suero, 15% melaza y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,470
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,265
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,024
INV- 219 R2	T6. Saccharomyces cerevisiae (levadura)0,05%, 18% residuos de pescado, 64,95% de suero, 15% melaza y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,396
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,267
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,018
INV- 220 R1	T7. Lactobacillus 0,05%, 15% residuos de melaza, 82,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,290
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,279
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,018
INV- 220 R2		Nitrógeno total	%	Combustión	0,240

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>Código</b>	<b>FPG12-01</b>
	<small>Liguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Año</b>	<b>2024</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 3 de 4</b>

		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,247
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,021
INV- 221 R1	T8. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,330
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,439
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,029
INV- 221 R2	T9 Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de melaza, 64,95% de suero y ceniza 2%. Con agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,390
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,435
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,031
INV- 222 R1	T10 Lactobacillus 0,05%, 15% residuos de melaza, 82,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,430
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,411
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,046
INV- 222 R2	T11. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,420
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,314
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,043
INV- 223 R1	T11. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,670
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,268
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,024
INV- 223 R2	T11. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,601
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,252
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,022
INV- 224 R1	T11. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,395
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,439
		Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Espectrofotometría UV-VIS	0,030
INV- 224 R2	T11. Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 79,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Nitrógeno total	%	Combustión	0,410
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,419

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunaco II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	<b>FG12-01</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
		<b>Año</b>	<b>2024</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 4 de 4</b>

INV- 225 R1	T12 Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de melaza, 64,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	Espectrofotometría UV-VIS	0,040	
		Nitrógeno total		Combustión	0,430	
		Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,477	
INV- 225 R2		T12 Lactobacillus 0,05%, 18% residuos de pescado, 15% de melaza, 64,95% de suero y ceniza 2%. Sin agitación	Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	Espectrofotometría UV-VIS	0,037
			Nitrógeno total		Combustión	0,440
			Potasio (K <sub>2</sub> O)		Absorción atómica	0,468
			Fosfato (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	Espectrofotometría UV-VIS	0,043

Las muestras son realizadas con dos réplicas.

  
  
**Ing. Favian Bayas Morejón; PhD.**  
**Director del IUEB**

## Anexo 10.

### Determinación de micronutrientes



#### INFORME DE ENSAYO No. 60 e

Solicitado por: Sres. Fabián León - Nelson Cajo  
Dirección: Guaranda

<b>Fecha y hora que ingresa al laboratorio:</b>	17/12/2024 (08H00)	<b>Fecha final de Análisis:</b>	17 - 19/12/2024
<b>Muestreo:</b>	Sres. Fabián León - Nelson Cajo	<b>Fecha y Hora:</b>	16/12/2024 (18H30)

Condiciones ambientales de análisis: **T máx:** 18 °C **T mín:** 13 °C

Procedencia: Muestras de Biofertilizante obtenido de Lactosuero

Coordenadas:

#### Resultados

##### M3 - LAB 02FA

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Hierro Total (Fe)	%	AN-EMAPAG-AF	0,005	18	± 20
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/Kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	9	± 16
Zinc (Zn)	mg/Kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	2	± 25

##### M12 - LAB 02FA

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	NTE INEN 211:98	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Hierro Total (Fe)	%	AN-EMAPAG-AF	0,005	19	± 20
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/Kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	7	± 16
Zinc (Zn)	mg/Kg	AN-EMAPAG-AF	0,005	1	± 25

Fuente: Tabla 1. Tolerancia Garantía mínima y máxima - Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 211:98. Primera Revisión

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G



RAUL WILFRIDO ALLAN  
NARANJO

Ing. Quím. Raúl Allán  
TECNICO LABORATORIO

## Anexo 11.

### Determinación de microorganismos benéficos



#### INFORME DE ENSAYO No. 008 ext

Solicitado por: Sres. Fabián León - Nelson Cajo  
 Dirección: Guaranda  
 Fecha: 20/1/2025

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	17/12/2024 (08H00)	Fecha final de Análisis:	17-31/12/2024
Muestreo:	Sres. Fabián León - Nelson Cajo	Fecha y Hora:	16/12/2024 (18H00)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18 °C T mín: 13 °C

Procedencia: Muestra de Biofertilizante -Muestra N°3

Coordenadas: Código Ext: LAB - 026

#### Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Azotobacter spp	UFC/mL	AN-EMAPAG-56	.....	26.4	± 10
Azospirillum spp	UFC/mL	AN-EMAPAG-62	.....	10 <sup>7</sup>	± 16

Procedencia: Muestra de Biofertilizante -Muestra N°12

Coordenadas: Código Ext: LAB - 027

#### Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Azotobacter spp	UFC/mL	AN-EMAPAG-56	.....	30.54	± 10
Azospirillum spp	UFC/mL	AN-EMAPAG-62	.....	10 <sup>7</sup>	± 16



Ing. Quím. Raúl Allan  
 TECNICO LABORATORIO

**Anexo 12.**

*Fase de campo*

**Registro fotográfico en fase de campo**



Construcción de los biodigestores



Pesado de ceniza para esterilizar el medio



Activación de microorganismos para la biodigestión



**Registro fotográfico en fase de Campo**



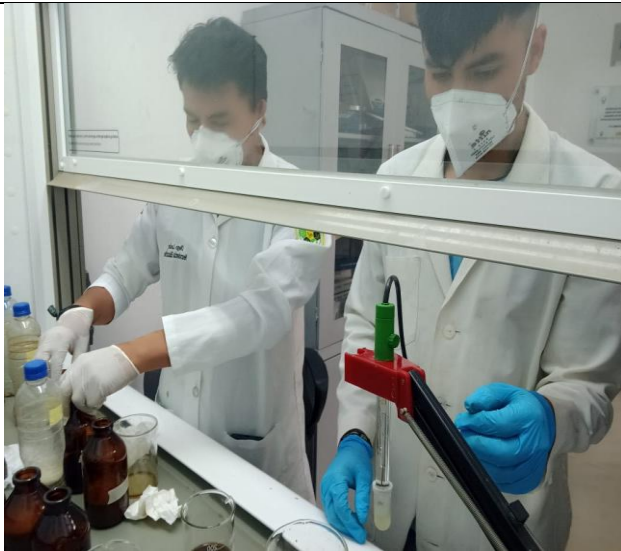
**Carga de material en los biodigestores**



**Experimento instalado**



**Medición de pH en biofertilizante**



**Producto final**



**Anexo 13.**

*Fase de laboratorio*

<b>Registro fotográfico en fase de Laboratorio</b>	
<b>Muestras para determinar NPK</b>	<b>Microorganismos benéficos</b>
	
<b>Presencia de fósforo en el biofertilizante</b>	<b>Medición de temperatura en biofertilizante</b>
	

## **Anexo 14**

### *Glosario*

**Lactosuero.** El suero de leche o lactosuero es la fracción líquida obtenida durante la coagulación de la leche en el proceso de fabricación del queso y de la mantequilla, después de la separación del coágulo o fase micelar.

**Melaza.** Miel final, miel de caña, miel negra o melaza blackstrap es el residuo de la cristalización final del azúcar, de los cuales no se puede obtener más azúcar por métodos físicos. Se emplea principalmente como suplemento energético para la alimentación de rumiantes por su alto contenido de azúcares y su bajo costo en algunas regiones.

**Biofertilizantes.** Son productos elaborados a base de restos vegetales y microorganismos, como bacterias y hongos, que resultan beneficiosos para el suelo. Estos ayudan a mejorar la calidad del suelo y mejoran el crecimiento de los cultivos.

**Espectrometría.** Es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo.

**Biometanización.** La digestión anaeróbica es una tecnología de energía renovable que utiliza microorganismos para degradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, lo que genera como resultado es la producción de biogás y efluente.