



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OBTENCIÓN DE BIOL A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES
Y ANIMALES EN UN BIORREACTOR COMERCIAL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: THALÍA FERNANDA GALLEGOS CHILIQINGA

DIRECTORA: Dra. LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Thalía Fernanda Gallegos Chiliquinga**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Thalía Fernanda Gallegos Chiliquina, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de septiembre de 2021

Thalía Fernanda Gallegos Chiliquina
180491333-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **“OBTENCIÓN DE BIOL A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES Y ANIMALES EN UN BIORREACTOR COMERCIAL”**, realizado por la señorita: **THALÍA FERNANDA GALLEGOS CHILQUINGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Alcívar Medina Serrano PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-09-09
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego PhD. DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-09-09
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde M.Sc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-09-09

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi familia, en especial a mis tías Clara y Rosa, quienes han sido una parte fundamental en mi formación académica; también, se la dedico a mis hermanos y primos, quienes me han visto como un modelo a seguir, y han sido el motivo para continuar día tras día hasta culminar mi carrera universitaria.

Thalía

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia, por el apoyo tanto económico como moral que me han ofrecido durante mi formación académica; al grupo de investigación ENAMPROD, por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto de titulación; a la Dra. Janneth Jara, por la paciencia e interés demostrado durante este periodo; a cada uno de mis amigos, que de una u otra forma han sido quienes me han ayudado a culminar esta etapa.

Thalía

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Línea base del proyecto.....	3
1.3. Beneficiarios directos e indirectos.....	3
1.3.1. <i>Beneficiarios directos</i>	3
1.3.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.4. Localización del proyecto.....	4
1.4.1. <i>Macro localización</i>	4
1.4.2. <i>Micro localización</i>	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Marco Conceptual.....	7
2.2.1. <i>Biomasa</i>	7
2.2.1.1. <i>Tipos de Biomasa</i>	7
2.2.1.2. <i>Tratamientos y disposición de la biomasa</i>	8
2.2.2. <i>Digestión anaerobia</i>	10
2.2.2.1. <i>Fases de la digestión anaerobia</i>	10
2.2.3. <i>Biodigestor</i>	10

2.2.3.1.	<i>Características del biodigestor</i>	11
2.2.4.	Biofertilizantes	11
2.2.5.	Biol	12
2.2.5.1.	<i>Elaboración de biol</i>	12
2.2.5.2.	<i>Factores que intervienen en la elaboración</i>	13
2.2.5.3.	<i>Ingredientes utilizados para la elaboración</i>	15
2.2.5.4.	<i>Composición química del biol</i>	16
2.2.5.5.	<i>Clasificación y función de los nutrientes</i>	17
2.2.5.6.	<i>Funciones del biol</i>	18
2.2.5.7.	<i>Ventajas y desventajas del biol</i>	18
2.2.6.	Biosol	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	20
3.1.	Tipo de estudio	20
3.2.	Métodos y Técnicas	20
3.2.1.	<i>Métodos</i>	20
3.2.2.	<i>Técnicas</i>	21
3.3.	Acondicionamiento de la materia prima	30
3.4.	Cálculos requeridos para proceso de fermentación anaerobia	30
3.4.1.	<i>Cálculo de los ingredientes</i>	30
3.4.2.	<i>Cálculo de la relación C/N</i>	31
3.4.3.	<i>Cálculo para el rendimiento del biol</i>	31
3.5.	Proceso de la fermentación anaerobia	32
3.5.1.	<i>Parte experimental</i>	32
3.6.	Variables del proceso	33
3.6.1.	<i>Tiempo de retención</i>	33
3.6.2.	<i>Temperatura</i>	33
3.6.3.	<i>pH</i>	34
3.7.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	34

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1.	Resultados de la caracterización de la materia prima	36
4.1.1.	<i>Análisis físico-químicos</i>	36

4.1.2.	<i>Análisis de macronutrientes</i>	37
4.1.3.	<i>Relación C/N</i>	37
4.2.	Resultados del control del proceso digestivo	38
4.2.1.	<i>Análisis organoléptico</i>	38
4.2.2.	<i>Variación de la temperatura</i>	39
4.2.3.	<i>Evolución del pH</i>	40
4.2.4.	<i>Comportamiento de la Conductividad eléctrica</i>	40
4.2.5.	<i>Análisis de DBO₅ y DQO</i>	41
4.2.6.	<i>Rendimiento del biol</i>	42
4.3.	Resultados de la caracterización del biol	42
4.3.1.	<i>Características microbiológicas</i>	42
4.3.2.	<i>Características nutritivas</i>	44
4.3.2.1.	<i>Nitrógeno total NT</i>	45
4.3.2.2.	<i>Fósforo (P₂O₅)</i>	46
4.3.2.3.	<i>Potasio (K₂O)</i>	47
4.3.3.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	48
4.3.4.	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	48
4.3.5.	<i>Análisis estadístico</i>	50
4.4.	Estudio de rentabilidad económica	51
	CONCLUSIONES	54
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tratamientos de conversión energética de la biomasa.	9
Tabla 2-2:	Composición química del biol.....	17
Tabla 1-3:	Secado de muestras.....	21
Tabla 2-3:	Determinación de materia orgánica.....	22
Tabla 3-3:	Determinación de la humedad de los residuos orgánicos.....	22
Tabla 4-3:	Medición de pH.....	23
Tabla 5-3:	Medición de conductividad eléctrica.....	24
Tabla 6-3:	Digestión ácida de las muestras secas.....	24
Tabla 7-3:	Análisis de macronutrientes N (Nitrógeno).....	25
Tabla 8-3:	Análisis de macronutrientes P (Fósforo).....	26
Tabla 9-3:	Análisis de macronutrientes K (Potasio).....	26
Tabla 10-3:	Toma de muestras para análisis.....	27
Tabla 11-3:	Medición de pH del biol.....	28
Tabla 12-3:	Medición de CE del biol.....	28
Tabla 13-3:	Análisis de Nitrógeno Total (N).....	28
Tabla 14-3:	Análisis de P ₂ O ₅	29
Tabla 15-3:	Análisis de K ₂ O.....	29
Tabla 16-3:	Cálculo de los ingredientes (kg).....	31
Tabla 17-3:	Características y descripción de los equipos.....	34
Tabla 1-4:	Resultados de los análisis físico-químicos de la materia prima.....	36
Tabla 2-4:	Resultados del análisis de macronutrientes de la materia prima.....	37
Tabla 3-4:	Cálculo de la relación C/N.....	38
Tabla 4-4:	Análisis organoléptico.....	38
Tabla 5-4:	Análisis microbiológico del biol.....	43
Tabla 6-4:	Macronutrientes N, P y K del biol.....	44
Tabla 7-4:	Medias del pH.....	48
Tabla 8-4:	Medias de la conductividad eléctrica.....	49
Tabla 9-4:	Caracterización fisicoquímica del biol.....	49
Tabla 10-4:	Diferencia de medias según la sección para los cinco parámetros evaluados.....	50
Tabla 11-4:	Detalle de costos de la materia prima e insumos.....	51
Tabla 12-4:	Detalle de los costos indirectos de fabricación.....	52
Tabla 13-3:	Costo de producción del biol.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Macro localización.	4
Figura 2-1.	Micro localización.	5
Figura 1-2.	Reacción reversible fotosíntesis - respiración celular.	7
Figura 2-2.	Tipos de biomasa con fines energéticos.	8
Figura 3-2.	Representación gráfica de un biodigestor.	11
Figura 4-2.	Diagrama de flujo para la producción de biol, biogás y biosol.	13

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4.	Variación de la temperatura.....	39
Gráfico 2-4.	Evolución del pH.....	40
Gráfico 3-4.	Comportamiento de la CE.....	41
Gráfico 4-4.	Variabilidad de DBO ₅ y DQO durante la fermentación.....	41
Gráfico 5-4.	Comparación de macronutrientes en cada sección analizada del biol.....	44
Gráfico 6-4.	Distribución del contenido de nitrógeno total.....	45
Gráfico 7-4.	Distribución del contenido de fósforo.....	46
Gráfico 8-4.	Distribución del contenido de potasio.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DEL BIOL.
- ANEXO B:** EQUIPO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DEL BIOL (BIODIGESTOR).
- ANEXO C:** CONTROL DE PARÁMETROS DURANTE EL PROCESO FERMENTATIVO.
- ANEXO D:** DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO.
- ANEXO E:** DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO.
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POTASIO.
- ANEXO G:** VALORES DEL pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL BIOL.
- ANEXO H:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOL.
- ANEXO I:** RESULTADOS ANÁLISIS ANOVA.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue obtener biol a partir de la digestión anaeróbica de una mezcla de residuos vegetales y animales, para lo cual, se empleó un biorreactor comercial de 600L de capacidad. Se inició con la recolección y caracterización de la materia prima para determinar la formulación del producto con base en su contenido de nutrientes y la relación C/N. Luego, se preparó la mezcla con estiércol de cuy, estiércol de ratas, gallinaza, agua, microorganismos de montaña, azúcar morena, leche cruda, ceniza y cáscaras de huevo. Se selló herméticamente el recipiente, sometiendo la mezcla a una descomposición anaerobia durante 120 días. A lo largo del proceso se evaluaron los parámetros: temperatura, conductividad eléctrica (CE), pH, DBO5 y DQO, además de tres propiedades organolépticas: color, olor y aspecto. Para analizar el biol, se tomaron muestras de tres secciones del biodigestor (superior, medio y fondo), a las cuales se les realizó análisis físicos, químicos y microbiológicos con cinco repeticiones cada una. El biol obtenido contiene una buena cantidad de nitrógeno (4,11%), fósforo (1,22%) y potasio (8,50%); cierto porcentaje de coliformes fecales y totales, alrededor de $8,8 \times 10^4$ UFC/ml; carácter moderadamente ácido por su pH de 6,64 y alta concentración de sales solubles definidas por la CE igual a 25,11 dS/m. Por último, se determinó que el costo de producción de un litro de este biol fue de 0,27ctvs. En conclusión, el biol obtenido con un rendimiento de 77,67% con base en la formulación propuesta, presentó excelentes propiedades nutricionales para ser utilizado como fertilizante foliar, ya que cumple con los estándares de calidad para fertilizantes orgánicos según Agrocalidad-Ecuador; no obstante, cuenta con cierta carga patógena que debe ser controlada. Se recomienda implementar un sistema de regulación de temperatura para mantener la fermentación en la zona mesofílica, la cual optimiza la producción del biol.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <ABONOS ORGÁNICOS>, <BIOL>, <DIGESTIÓN ANAERÓBICA>, <RESIDUOS ORGÁNICOS>, <BIORREACTOR COMERCIAL>, <NUTRIENTES ASIMILABLES>, <FERTILIZANTE FOLIAR>.



1630-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this project was to obtain biol from the anaerobic digestion of a mixture of plant and animal waste, for which a commercial 600L capacity bioreactor was used. It began with the collection and characterization of the raw material to determine the formulation of the product based on its nutrient content and the C / N ratio. Then, the mixture was prepared with guinea pig manure, rat manure, chicken manure, water, mountain microorganisms, brown sugar, raw milk, ash and eggshells. The container was hermetically sealed, subjecting the mixture to anaerobic decomposition for 120 days. Throughout the process, the parameters were evaluated: temperature, electrical conductivity (EC), pH, BOD5 and COD, in addition to three organoleptic properties: color, odor and appearance. To analyze the biol, samples were taken from three sections of the biodigester (upper, middle and bottom), which were subjected to physical, chemical and microbiological analyzes with five replications each. The biol obtained contains a good amount of nitrogen (4.11%), phosphorus (1.22%) and potassium (8.50%), certain percentage of fecal and total coliforms, around 8.8×10^4 CFU / ml, moderately acid character due to its pH of 6.64 and high concentration of soluble salts defined by the EC equal to 25.11 dS / m. Finally, it was determined that the production cost of one liter of this biol was 0.27ctvs. In conclusion, the biol obtained with a yield of 77.67% based on the proposed formulation, presented excellent nutritional properties to be used as foliar fertilizer, since it meets the quality standards for organic fertilizers according to Agrocalidad-Ecuador; however, it has a certain pathogenic load that must be controlled. It is recommended to implement a temperature regulation system to maintain the fermentation in the mesophilic zone, which optimizes the biol production.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <ORGANIC FERTILIZERS>, <BIOL>, <ANAEROBIC DIGESTIO>, <ORGANIC WASTES>, <COMMERCIAL BIORREACTOR>, <ASSIMILABLE NUTRIENTS>, <FOLIAR FERTILIZER>.

INTRODUCCIÓN

El uso desmedido de fertilizantes químicos en los cultivos ha ocasionado daños ambientales y de salud humana irreversibles. Sumados al hecho de que su costo de adquisición es elevado, surge la idea de buscar alternativas de obtención de abonos a partir de fuentes orgánicas (León et al., 2019, p.2). Tal es el caso del biol, un abono líquido, que resulta de un proceso de digestión anaeróbica de biomasa residual, con una mezcla considerable de nutrientes asimilables para las plantas.

El biol se emplea para mejorar la producción y calidad de los cultivos (Zhañay, 2016, p.26). Entre sus ingredientes principales están el estiércol y los residuos vegetales. Estos materiales por lo general se utilizan como abonos directamente en su estado natural, sin embargo, al someterlos a un proceso de digestión aeróbica o anaeróbica, con un consorcio bacteriano, generan un aumento en la concentración de nutrientes asimilables del producto final y la reducción o eliminación de organismos patógenos.

Existen un sin número de estudios relacionados a la preparación de los bioles, con diferentes materias primas y en variadas proporciones, en función de su disponibilidad y de la composición del biol a obtenerse.

El presente trabajo plantea la obtención de biol a partir de una mezcla de estiércoles de ratas, cuyes, gallinas y residuos de poda de las plantaciones de mora, cuyas características fisicoquímicas, químicas y microbiológicas le permitan emplearse con abono de suelos y de follaje.

Para llevar a cabo la investigación, el trabajo se estructuró en 4 etapas. En la primera, denominada “Diagnostico del Problema”, se identifica y justifica la razón de elaborar biol con las materias primas seleccionadas. En la segunda, “Fundamentos Teóricos” se puntualizan conceptos relacionados al tema de estudio y se analizan antecedentes históricos sobre este tema. La tercera, corresponde al capítulo denominado “Marco Metodológico” que explica los métodos y técnicas que se aplicaron para obtener el producto deseado. Finalmente, en la cuarta “Análisis de Resultados y Discusión” se precisa los resultados alcanzados antes, durante y al final del proceso, así como también se emiten comentarios respecto a estudios previos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Hoy en día, la agricultura y la ganadería se constituyen como las actividades de mayor valor económico en la sociedad y son imprescindibles para mantener viva la zona rural. Dichas actividades, generan residuos orgánicos e inorgánicos de gran impacto ambiental, si no reciben un tratamiento o disposición adecuados. Estos residuos, por lo general son depositados libremente en la naturaleza, contaminando suelos, agua y aire, con la consiguiente afectación al ecosistema y la salud humana.

Los contaminantes de mayor preocupación son los patógenos presentes en las heces animales, que incluyen orina y estiércol, éstos desprenden gases de efecto invernadero a la atmósfera y sobrecargan los suelos y cuerpos hídricos con micro y macro nutrientes (Pinos et al., 2012, p.3). Se dice que el ganado representa aproximadamente el 40% de las emisiones contaminantes globales y a medida que la demanda aumente, para el 2030 habrá alcanzado el 60% (FAO, 2015, párr.14).

La combustión de biomasa vegetal es otra fuente importante de contaminación, especialmente del aire, incluye producción de gases como CO₂, NO y partículas de humo. Se estima que se quema deliberadamente alrededor del 90% de los residuos vegetales con la finalidad de desaparecerlos, favorecer el crecimiento de nuevos cultivos y destruir hábitats de insectos dañinos (FAO, 2015, párr.15). Sin embargo, no se toma en cuenta que las llamas deshidratan y modifican los nutrientes del suelo, y las cenizas resultantes elevan drásticamente los niveles de potasio, fósforo, calcio y magnesio (Ramírez, 2016, párr.4).

En Ecuador, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2019, párr.4), sólo el cultivo de mora, en la región Sierra Centro, ocupa alrededor de 912,62 hectáreas. De donde 107,5 hectáreas corresponden a la provincia de Chimborazo y generan anualmente cerca de 177,38 toneladas de residuos, producto de las podas y cosechas semestrales (El Tiempo, 2017, párr.13). La mora, al ser un monocultivo, con un ciclo de producción de 6 u 8 meses durante un periodo de 10 o más años, provoca desgastes en el suelo por erosión y genera constantemente residuos de la poda de sus hojas que se realiza tres veces durante cada ciclo (Casaca, 2016, párr.5).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEN) y el Censo Agropecuario, en Ecuador, se produjo en el año 2016 4,9 millones de cuyes en las provincias de Azuay, Chimborazo Tungurahua y Cotopaxi (Moreta, 2017, párr.2). La crianza de estos animales genera residuos como el estiércol, cuya composición orgánica resulta útil en la producción de abonos.

En este sentido, el presente estudio busca emplear estos residuos de origen vegetal y animal, específicamente hojas de mora y estiércol de cuy, para producir biol por medio de fermentación

anaeróbica, promoviendo de esta manera la gestión adecuada de este tipo de desechos y contribuyendo positivamente al desarrollo agrícola sostenible.

1.2. Línea base del proyecto

Chimborazo es una de las provincias con mayor actividad agrícola y ganadera del país (MAG, 2019, párr.2). Según la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP (2016, p.11), en esta provincia existe alrededor de 142 productores de mora. Este producto demanda la presencia de macro y micronutrientes en el suelo para su desarrollo; razón por la cual, los agricultores emplean fertilizantes inorgánicos con la finalidad de satisfacer esta necesidad, sin percatarse que esta actividad a lo largo del tiempo ha contaminado considerablemente los suelos.

Como resultado de ello, se produce una variación considerable de pH del suelo, deterioro de su estructura y microfauna, dependiendo del fertilizante empleado; con la consecuente reducción de la cantidad de proteínas, vitaminas y minerales de estos productos (Casaca, 2016, párr.31).

El presente proyecto busca brindar a la comunidad, un fertilizante de tipo orgánico que permita reemplazar los fertilizantes tradicionales, sin dejar de cumplir su función; y que, además, esté elaborado a partir de residuos vegetales de los mismos cultivos, en mezcla con el estiércol de cuy, ratas de bioterio, gallinaza y microorganismos de montaña. De esta manera, se minimiza la contaminación de suelos y vertientes de agua, al mismo tiempo que se generan alimentos sanos y de calidad.

Por lo tanto, dichos abonos orgánicos representan importancia económica, social y ambiental, ya que, reducen los costos de producción de los diferentes cultivos (se deja de costear fertilizantes inorgánicos), aseguran la calidad de los productos (se cultivan productos de manera orgánica) y mitigan la contaminación de los recursos naturales en general (Murillo et al., 2015, p.12).

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos de este proyecto son los agricultores de la provincia de Chimborazo y los grupos de investigación ENAMPROD y GIADE de la ESPOCH. Estos últimos, pretenden tomar como base los resultados de esta investigación para diseñar un sistema de producción de mayor capacidad y así producir biofertilizantes de manera agroindustrial.

1.3.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos corresponden a toda la población en general, ya que, podrán consumir productos orgánicos de calidad. De la misma manera, representa un beneficio para cualquier agricultor que pueda implementar esta técnica en sus cultivos y para futuras investigaciones relacionadas a este campo.

1.4. Localización del proyecto

1.4.1. Macro localización

El presente proyecto se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur km ½, altitud 2822 m.s.n.m., en Riobamba, provincia de Chimborazo.



Figura 1-1. Macro localización.

Fuente: Google Maps (2021).

1.4.2. Micro localización

Se llevó a cabo específicamente en el Centro de Acopio de residuos sólidos de la ESPOCH, situado a 150 m de la Facultad de Recursos Naturales.



Figura 2-1. Micro localización.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Obtener biol a partir de residuos vegetales, principalmente hojas de mora, en mezcla con estiércol de cuy y el empleo de microorganismos de montaña e insumos tradicionales.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los principales residuos empleados mediante análisis fisicoquímicos y químicos para determinar la concentración de materia orgánica útil para la digestión anaeróbica.
- Realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos del biol obtenido mediante técnicas de laboratorio estandarizadas para cuantificar y cualificar las principales características del producto.
- Analizar la rentabilidad económica del proceso de obtención de biol mediante el cálculo del costo de producción y venta para considerar su comercialización en el mercado.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

Existen un sinnúmero de investigaciones referentes al tema de producción y obtención de biofertilizantes a partir de distintos tipos de residuos orgánicos, no solo a nivel local y nacional, sino también, a nivel internacional. En la mayoría de estas investigaciones se han obtenido abonos orgánicos estables, sustentables, económicos y con un valor agregado que incluye: la reducción del uso de productos químicos y el aprovechamiento de la biomasa residual (Cruz, 2018, p.6).

La viabilidad de estos proyectos ha permitido conformar asociaciones y programas de desarrollo agrícola sostenible, tal es el caso del Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES) que, en la actualidad brinda orientación técnica e incita a los agricultores a viabilizar la producción y el uso de bioabonos como el biol, compost y humus (Cruz, 2018, p.6).

De acuerdo con Barreros (2017, p.48), el abono de cuy presenta una relación C/N de 15:1, deduciendo que posee materia orgánica rica en nitrógeno para ser absorbido por los vegetales y que además contiene otros nutrientes como el fósforo, calcio, magnesio, zinc, cobre y manganeso. No obstante, su uso sin previo tratamiento, representa un riesgo de contaminación por patógenos, asociada a enfermedades gastrointestinales, por la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Cryptosporidium*, cuando se consumen los productos frescos.

Gómez y Amusquivar (2017, p.4), mencionan que el biol a base de excremento de cuy presenta una excelente composición de nutrientes C, N y P; y un buen índice de germinación que va desde 80% hasta 150%, concluyendo que el biofertilizante no presenta fitotoxicidad y puede ser aplicado como abono líquido foliar para activar el crecimiento y floración de los frutales.

Se considera además que el uso de microorganismos de montaña, reducen el tiempo requerido para preparar abonos orgánicos y que a su vez aportan a la producción de alimentos de buena calidad libres de agroquímicos. De la misma manera, incluir en la fórmula residuos vegetales de los cultivos de mora, específicamente sus hojas, aportan con una considerable cantidad de nutrientes, como magnesio, potasio, fósforo y calcio; que sirven de alimentos para los microorganismos de las excretas (Ichariba, 2019, párr.8).

Sin duda alguna en la actualidad, la producción de bioles para nutrir los suelos y plantas, se torna una actividad sencilla y necesaria, ya que estos productos proveen los nutrientes necesarios para el correcto desarrollo y crecimiento de los cultivos, lo que recae a su vez en una excelente productividad, cuidando el ambiente y la salud humana.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Biomasa

La biomasa es una fuente de energía renovable, constituida por materia orgánica procedente de un proceso biológico, espontáneo o inducido, de origen animal y/o vegetal (La Cal, 2020, pp.13-14). Dicha materia orgánica deriva principalmente del sector agrícola, forestal y ganadero, puesto que, en ellos se producen una gran cantidad de residuos (rastros) vegetales y desechos de animales. Además, también proviene de la agroindustria, como subproducto desechable (aserrín, bagazo, cascarillas de café) y de los residuos sólidos urbanos en forma de: basura orgánica, aguas negras, entre otros (Mazza, 2017, p.17).

El contenido energético de la biomasa procede del sol, a partir del proceso fotosintético las plantas absorben energía solar, agua del suelo y CO_2 de la atmósfera, para producir y almacenar dentro de ellas energía química en forma de materia orgánica (glucosa) con una consecuente liberación de oxígeno (Mazza, 2017, p.18). Los animales consumen esta energía al alimentarse de las plantas constituyéndose a la vez como otro recurso energético.

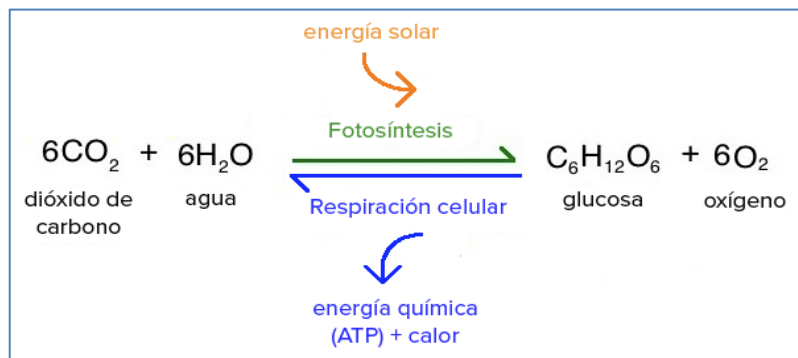


Figura 1-2. Reacción reversible fotosíntesis - respiración celular.

Fuente: Khan, 2021.

La Cal (2020, p.14) menciona que, si la biomasa es incorporada a un proceso de aprovechamiento energético, como la combustión, se combina la energía almacenada en sus enlaces químicos, con los carbonos de su estructura y el oxígeno del aire para producir CO_2 y agua (respiración celular), lo cual justifica la renovabilidad, porque el CO_2 formado queda disponible para producir nueva biomasa.

2.2.1.1. Tipos de Biomasa

Existen diversos criterios de clasificación de la biomasa, pero desde el punto de vista energético se divide en dos grandes grupos: húmeda y seca (Arroyo, 2016, p.3).

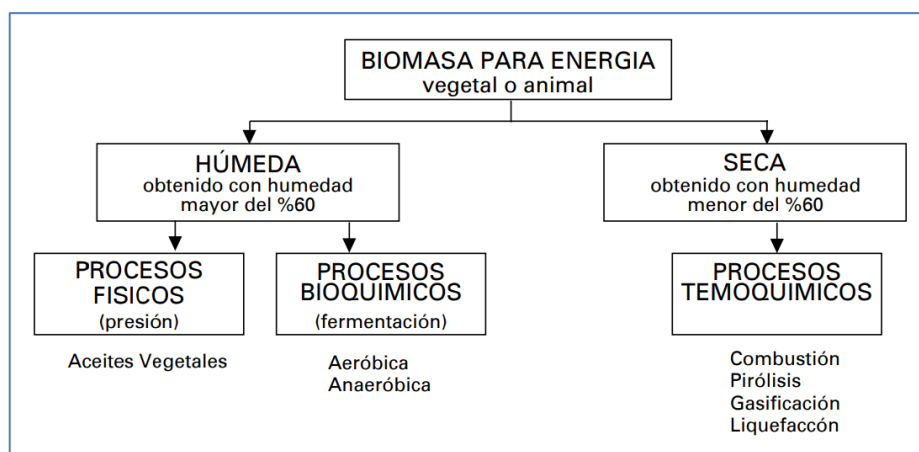


Figura 2-2. Tipos de biomasa con fines energéticos.

Fuente: Arroyo, 2016, p.3.

Biomasa Húmeda (BH): Cuando el contenido de humedad es mayor al 60%, como por ejemplo en aguas residuales urbanas o industriales de tipo orgánico, residuos sólidos urbanos (exclusivamente orgánicos), residuos ganaderos, algas y licores residuales (Manrique, 2017, p.13). Resulta adecuado emplear para su tratamiento procesos bioquímicos o físicos, generando combustibles líquidos y gaseosos (Mazza, 2017, p.20).

Biomasa Seca (BS): Cuando el porcentaje de humedad es menor al 60%, como los residuos agrícolas (cultivos herbáceos y frutales), residuos forestales (de industrias madereras o tratamientos silvícolas), residuos agroalimentarios industriales o de transformación de la madera, cultivos energéticos (anuales o perennes) (Manrique, 2017, p.13). Según Mazza (2017, p.20) conviene aplicar procesos termoquímicos o fisicoquímicos para su aprovechamiento energético, con una producción de energía térmica y productos secundarios como combustibles sólidos, líquidos y/o gaseosos.

2.2.1.2. Tratamientos y disposición de la biomasa

El tratamiento de conversión de la biomasa, se escoge en función al producto que se desea obtener y al tipo de biomasa disponible (Manrique, 2017, p.20). La Tabla 1-2 detalla los tratamientos aplicables a la biomasa seca y húmeda con sus respectivos productos.

Tabla 1-2: Tratamientos de conversión energética de la biomasa.

PROCESOS	TRATAMIENTOS	PRODUCTOS	DESCRIPCIÓN
Termoquímicos (BS sometida a la acción del calor)	Combustión Directa	Energía térmica (gases) Cenizas Vapor Metales	Consiste en quemar la biomasa con mucho aire (20-40%) a una temperatura entre 600-1300°C. El calor obtenido se utiliza en la industria, para producir electricidad y cocinar alimentos.
	Pirólisis (lenta o rápida)	Carbón vegetal Gas pobre (lenta) Gas rico (rápida) Líquidos piroleñosos	Implica descomponer la biomasa por acción del calor (~500°C) y en ausencia de oxígeno. Los productos se utilizan como combustibles líquidos, sólidos o gaseosos.
	Gasificación (con aire u oxígeno)	Gas pobre o gasógeno (aire) Gas medio o gas de síntesis (oxígeno)	Combustión incompleta de la biomasa por escasez de oxígeno (10-50%) a una temperatura 700-1500°C. Se producen gases como: CO, H ₂ y CH ₄ , este último se utiliza como combustible gaseoso.
	Licuefacción (en estado I&D)	Combustibles líquidos	Carbonización que se efectúa en un ambiente reductor a elevadas presiones y temperaturas. Se genera metanol y gasolina.
Bioquímicos (BH sometida a la acción de microorganismos)	Fermentación Alcohólica	Alcohol	Conversión de los hidratos de carbono presentes en la biomasa en etanol de uso industrial, ocurre en un ambiente aerobio.
	Digestión Anaerobia	Metano (biogás) Lodos (compost)	Fermentación en ausencia de oxígeno de la biomasa, con la obtención de biogás y abono.

Fuente: Manrique, 2017, pp.20-22.; Endesa, 2021, párr.9-15.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

La biomasa residual que no recibe un tratamiento de conversión, se dispone en la naturaleza de distintas maneras como se explica a continuación:

- Se incinera a cielo abierto.
- Es triturada y utilizada como abono orgánico para retener la humedad en los suelos.
- Sirve como alimento del ganado vacuno, porcino, caballar y avicultoras.
- Se usa en la industria maderera para crear aglomerados.
- Termina en botaderos de basura u otros ambientes, representando un factor contaminante (Arroyo, 2016, p.4).

2.2.2. *Digestión anaerobia*

Es un proceso biológico natural que corresponde al ciclo anaeróbico del carbono, mediante una acción coordinada y combinada de varios grupos de microorganismos en ausencia de oxígeno, los mismos que utilizan la materia orgánica para nutrirse y multiplicarse (Mazza, 2017, p.21).

Dicho proceso produce materia prima degradada y biogás constituido principalmente por metano (CH₄-gas combustible), dióxido de carbono (CO₂-gas inerte), y trazas de sulfuro de hidrógeno (H₂S), oxígeno (O₂), hidrógeno (H₂), vapor de agua, aire y compuestos orgánicos volátiles (COV's) (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.40).

2.2.2.1. *Fases de la digestión anaerobia*

Hidrólisis: Primera etapa de degradación anaeróbica de las partículas y moléculas complejas (carbohidratos, proteínas, celulosa y lípidos) a moléculas solubles, efectuada por enzimas extracelulares producidas por los organismos hidrolíticos (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.40). La hidrólisis es un proceso de conversión de polímeros a sus respectivos monómeros con liberación de hidrógeno y dióxido de carbono (Taipicaña, 2015, p.27).

Fermentativa o acidogénica: Etapa donde se elimina cualquier traza de oxígeno y se fermentan las moléculas orgánicas solubles, produciendo compuestos simples como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga. Dichos compuestos están listos para ser metabolizados por las bacterias en las siguientes etapas (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.40).

Fase acetogénica: Mediante la acción de bacterias acetogénicas que han extraído todo el alimento de la biomasa, se transforman los ácidos grasos y alcoholes en ácido acético, H₂ y CO₂ (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.41).

Fase metanogénica: Las bacterias metanogénicas por último producen metano a partir de los productos resultantes de las etapas anteriores, como son el ácido acético, H₂ y CO₂ (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.41).

2.2.3. *Biodigestor*

El biodigestor es un contenedor o tanque cerrado, impermeable y hermético, dentro del cual se deposita materia orgánica que incluye biomasa animal y vegetal, en medio de una dilución de agua y ciertos ingredientes, para producir biogás y fertilizantes orgánicos mediante un proceso de fermentación anaeróbica (Luje, 2018, p.8).



Figura 3-2. Representación gráfica de un biodigestor.

Fuente: Lujé, 2018, p.8.

El biodigestor debe contar con un sistema de captura de gases para evitar la entrada de aire atmosférico y el escape del gas metano producido en su interior (Taipicaña, 2015, p.23).

2.2.3.1. Características del biodigestor

El biodigestor Rotoplas a base de polietileno tiene una capacidad de 600L, con una altura de 1,6m y un diámetro de 0,86m. Cuenta con una vida útil de más de 35 años, gran resistencia al impacto y corrosión. Es hermético e higiénico, y no permite emitir olores, fugas y agrietamientos (Rotoplas, 2020, párr.3).

La entrada y salida de efluentes en gran proporción se da directamente por la tapa, pero para el muestreo rutinario, por unos pequeños conductos ubicados en los laterales del biodigestor. Por su parte la salida del biogás se da a través de una conexión plástica ubicada en la parte posterior del contenedor hacia una botella plástica que contiene agua en su interior.

2.2.4. Biofertilizantes

Según la Norma Técnica de Fertilizantes y Productos Afines INEN 209 (2016, p.2), los biofertilizantes son fertilizantes orgánicos naturales, que aportan al suelo y a las plantas los nutrientes necesarios para estimular su correcto crecimiento y desarrollo en medio de un entorno microbiológico natural. Están compuestos por biomasa residual, hongos micorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal, cuyos procesos fisiológicos permiten aumentar la

disponibilidad de nutrientes en el ambiente en el que se colocan, como por ejemplo el suelo, partes específicas de la planta y el agua de riego (Luje, 2018, p.3).

2.2.5. Biol

El biol es un tipo de biofertilizante elaborado a partir de la fermentación o descomposición anaeróbica (sin oxígeno) de una mezcla de estiércol, residuos vegetales y, bacterias y hongos benéficos (Luje, 2018, p.3). Se denomina abono líquido foliar y es considerado una fuente natural de fitorreguladores que, al ser aplicado en las semillas y el follaje de los cultivos, permite aumentar la cantidad de raíces y estimula una mayor realización de fotosíntesis, provocando una mejor producción y calidad de la cosecha (Zhañay, 2016, p.26).

2.2.5.1. Elaboración de biol

La elaboración de biol es una técnica empleada con la finalidad de incrementar la cantidad y calidad de las cosechas, es un proceso sumamente sencillo y económico, pues se utilizan como materia prima insumos de la zona, en su mayoría residuos, y el tiempo de producción es de 1 a 4 meses (Gutiérrez et al., 2019, p.444).

El proceso consiste en provocar la biodigestión de la biomasa residual, dentro de un recipiente libre de oxígeno, para obtener: una fase gaseosa (biogás), una fase sólida (biosol) y una fase líquida (biol) como se observa en la Figura 3-2 (León et al., 2019, p.6); la primera con opción de ser tratada y utilizada como combustible; y las dos últimas como biofertilizantes.

De acuerdo con Taipicaña (2015, p.21) aproximadamente el 10% corresponde a la fase gaseosa, el 80% a la fase líquida y el otro 10% a la fase sólida; cuyos valores pueden variar dependiendo de las características de los residuos empleados, así como también, del método de separación del fango que sale del biodigestor. Este fango es sedimentado o decantado obteniéndose la fase líquida “biol” y la fase sólida “biosol” (Mazza, 2017, p.51).

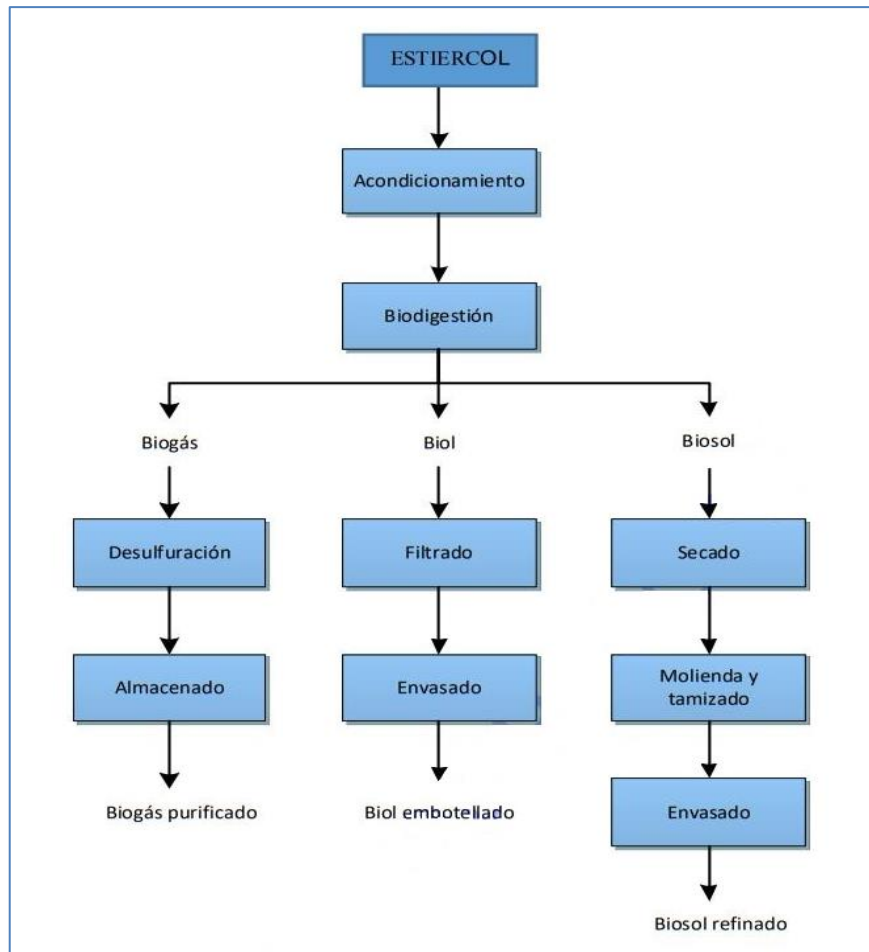


Figura 4-2. Diagrama de flujo para la producción de biogás, biol y biosol.

Fuente: León et al., 2019, p.6.

2.2.5.2. Factores que intervienen en la elaboración

a) Temperatura

La temperatura es un factor influyente para promover la actividad de los microorganismos, que inicia con la mezcla de los ingredientes y transcurridas alrededor de 14 horas se deben presentar temperaturas mayores a los 50°C (Díaz, 2017, p.43).

Taipicaña (2015, p.24), menciona que la temperatura óptima para que las bacterias metanogénicas digieran eficientemente la materia orgánica varía entre 35 y 55°C; y que además en este rango de temperatura se logra eliminar patógenos, parásitos y malas hierbas.

b) Tiempo de retención

Está directamente relacionado con la temperatura y corresponde al tiempo en que la materia orgánica es digerida por los microorganismos. Largos tiempos de retención generan altos

rendimientos de biol y biosol, mientras que, cortos tiempos de retención favorecen la producción de biogás y producen biofertilizantes de baja calidad por haber sido parcialmente digeridos (Vergara, 2017, p.22).

c) Nivel de pH

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente y Agua (2020, p.40), el potencial de hidrógeno debe mantenerse neutro o ligeramente alcalino (máximo 7,5) ya que los valores extremos inhiben la actividad microbiológica.

d) Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es el factor determinante de la cantidad de sales solubles en el biol, requeridas para optimizar los procesos metabólicos de los microorganismos, por lo que permite analizar la necesidad de adicionar compuestos salinos a la mezcla como la ceniza o las sales rocosas (Masaguer & Benito en Cruz, 2018, p.46).

e) Humedad

La humedad óptima para lograr la máxima eficacia del proceso de fermentación del abono varía entre el 50 y 60% del peso, valores inferiores al 40% provocan una lenta descomposición anaeróbica y valores superiores al 60% dificultan la oxigenación de la fermentación por presentar poros saturados de agua (Díaz, 2017, p.43).

f) Relación carbono nitrógeno

La relación ideal C/N es (30:1), porque cuando es muy estrecha (10:1) existen pérdidas de nitrógeno asimilable reduciendo la calidad del producto digerido. Si, por otra parte, la relación es muy amplia (40:1) el crecimiento se ve afectado por la falta de nitrógeno alargando el proceso fermentativo (Vergara, 2017, p.26).

g) Tamaño de las partículas de los ingredientes

Las partículas muy pequeñas ocasionan compactación, lo que favorece el desarrollo de un proceso anaeróbico con la consecuente obtención de un abono orgánico de mala calidad. Por lo tanto, cuando existe un exceso de estas partículas se aconseja agregar relleno de carbón vegetal o paja (Díaz, 2017, p.44).

2.2.5.3. *Ingredientes utilizados para la elaboración*

a) Estiércol

Su función consiste en incluir al proceso de fermentación los ingredientes vivos (microorganismos), principalmente inóculos de levaduras, bacterias, hongos y protozoos, encargados de digerir, metabolizar y suplementar a las plantas y al suelo las sustancias nutritivas producidas en el tanque de fermentación (Guerrero, 2017, p.12).

El estiércol constituye la principal fuente de nutrimentos: nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, calcio, manganeso, cobre, hierro, zinc y boro; cuya proporción depende del animal de origen, de su tipo de alimentación y del destino final que se le atribuya (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.23).

Barreros (2017, p.12) señala que el estiércol de cuy en particular, es uno de los mejores junto con el del caballo, ya que, posee un gran contenido de nutrientes (0,7% N, 0,05% P y 0,31% K), no emite malos olores, no atrae moscas y es fácil de recolectar.

b) Residuos vegetales

De acuerdo con sus características, aportan con elementos nutricionales, medicinales y tóxicos a la mezcla metanogénica, lo que además de contribuir como alimento de los microorganismos, una vez obtenido el biol permiten la eliminación y control de plagas al ser aplicado en los cultivos. Incluye hojas, tallos, cutículas, fibras, cáscaras, rastrojos, bagazos, restos de podas, frutas, entre otras (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.23).

Ichariba (2019, párr.8) menciona que los residuos de la poda de las plantaciones de mora, específicamente las hojas, son ricas en vitaminas y minerales como el potasio, magnesio, fósforo y 22 veces más calcio que la leche; constituyéndose como una excelente fuente de nutrientes.

c) Melaza, miel de caña o de panela

Es la principal fuente de energía requerida por los microorganismos para activar su metabolismo y de esta forma potencializar la fermentación. La melaza contiene nutrimentos como el potasio, calcio, magnesio y boro (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.24).

d) Leche o suero de leche

Su función es reavivar el biopreparado de la misma manera que lo hace la melaza, aporta proteínas, vitaminas, lípidos y aminoácidos para formar nuevos compuestos orgánicos durante el proceso de fermentación (Guerrero, 2017, p.12).

e) Agua

Tiene la función de homogenizar los ingredientes dentro del biodigestor, creando las condiciones ideales para el adecuado desarrollo y reproducción microbiológica. Se recomienda utilizar agua natural libre de cloro, ya que puede matar los microorganismos (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.24).

La mayoría de microorganismos presentes en la fermentación, se desenvuelven de mejor manera en un ambiente líquido, transformando con facilidad las vitaminas, enzimas y péptidos en hormonas promotoras de crecimiento (Taipicaña, 2015, p.23).

f) Levadura

Guerrero (2017, p.13) manifiesta que la levadura es un hongo unicelular de variedad ascomiceto, utilizada con la finalidad de estimular y acelerar el proceso fermentativo durante los primeros días.

g) Sales minerales

Se agregan al biofermentado con la finalidad de completar la calidad nutritiva del mismo y así corregir las carencias de algunas tierras (Díaz, 2017, p.41). Las principales sales que se utilizan para este fin son: sulfato de hierro II (FeSO_4), sulfato de zinc (ZnSO_4), sulfato de magnesio (MgSO_4) y ácido bórico (H_3BO_3) (Zhañay, 2016, p.28). Pueden ser sustituidas por ceniza de leña o harina de rocas.

2.2.5.4. Composición química del biol

El biol presenta una equilibrada proporción de macro y micronutrientes que influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En la Tabla 2-2 se resumen las composiciones químicas de bioles obtenidos por diferentes autores.

Tabla 2-2: Composición química del biol.

Componente	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 3	Fuente 4	Fuente 5
pH	3,59	7,3	7,18	6,75	8
Conductividad (dSm ⁻¹)	-	28,3	18,77	15,29	2,74
Materia seca (%)	23	-	-	-	3,57
Nitrógeno total (%)	0,32	0,23	0,02	0,34	0,31
Fósforo (%)	1,12	0,02	0,004	0,0002	0,1284
Potasio (%)	0,39	0,44	0,62	0,16	0,3072
Calcio (%)	0,57	0,15	0,12	0,35	1,6035
Magnesio (%)	0,13	0,09	0,06	0,01	0,2174
Sodio (%)	-	0,14	-	0,08	-
Azufre (%)	-	0,02	0,07	-	-
Zinc (%)	0,21	0,0008	0,0004	0,0003	-
Hierro (%)	0,21	0,0046	0,004	0,0005	0,0121
Cobre (%)	0,72	0,0004	0,00008	0,0003	-
Manganeso (%)	-	0,0009	-	0,0004	-
Boro (%)	-	0,0008	-	0,0002	-
Cloro (%)	0,13	-	-	-	-

Fuente 1: Biol de estiércol vacuno y residuos del camal B2 (Díaz Plasencia, 2017, p.65).; **Fuente 2:** Biol de estiércol vacuno (Díaz Montoya, 2017, pp.37-58).; **Fuente 3:** Biol de rumen y orina de ganado bovino T3 (Taipicaña, 2015, pp.57-62).; **Fuente 4:** Biol de desechos del camal (Sangre y Rumen) T4 (Luje, 2018, pp.20-28).; **Fuente 5:** Biol de desechos de mercado y camal T2 (Cruz, 2018, p.51).

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

2.2.5.5. Clasificación y función de los nutrientes

Macronutrientes primarios o esenciales

Elementos químicos requeridos por las plantas en altas proporciones (NTE INEN 209:2016).

- **Nitrógeno (N):** Aumenta el crecimiento y desarrollo de los tejidos vegetales.
- **Fósforo (F):** Permite el desarrollo de raíces, la floración y el cuajado de los frutos.
- **Potasio (K):** Brinda rigidez a los tejidos que sostienen las plantas e interviene en el proceso de fructificación (Díaz, 2017, pp.53-54).

Macronutrientes secundarios

Elementos químicos requeridos por las plantas en proporciones menores a los macronutrientes primarios (NTE INEN 209:2016).

- **Calcio (Ca):** Elemento estructural de membranas y paredes celulares.

- **Magnesio (Mg):** Forma parte de las vitaminas, enzimas y clorofila de las plantas para favorecer la fotosíntesis.
- **Azufre (S):** Elemento esencial de los aminoácidos, proteínas y vitaminas (Díaz, 2017, pp.53-54).

Micronutrientes

Elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas, se presentan en menor proporción que los macronutrientes (NTE INEN 209:2016).

- **Hierro (Fe):** Componente de las enzimas que contribuye a la fotosíntesis.
- **Manganeso (Mn):** Interviene en la síntesis de clorofila.
- **Zinc (Zn):** Permite la formación de hormonas auxinas y carbohidratos.
- **Boro (B):** Favorece la floración, la formación de frutos y la división celular.
- **Cloro (Cl):** Beneficia el crecimiento radicular y aéreo de las plantas.
- **Molibdeno (Mo):** Interviene en la síntesis de proteínas y en la fijación de nitrógeno (Díaz, 2017, pp.53-54).

2.2.5.6. Funciones del biol

El biol cumple con las siguientes funciones básicas:

- Complementar la nutrición de las plantas para aumentar el rendimiento de producción y la calidad de los cultivos.
- Revitalizar las plantas que sufren estrés, por enfermedades, plagas o interrupción de sus procesos naturales de desarrollo.
- Asegurar la calidad de los productos en cuanto a presentación, durabilidad, manipulación, conservación y peso.
- Ofrecer a la sociedad alimentos libres de residuos químicos (Álvarez, 2010, p.11).

2.2.5.7. Ventajas y desventajas del biol

Ventajas

- ✓ Se puede elaborar con insumos de la localidad.
- ✓ No requiere de una receta fija, los insumos pueden variar de acuerdo a su disponibilidad.
- ✓ Estimula la actividad de los microorganismos benéficos del suelo.
- ✓ Es de fácil preparación y preservación.
- ✓ Promueve las actividades fisiológicas de las plantas para su óptimo desarrollo.

- ✓ Mejora el vigor de las plantas para contrarrestar el ataque de plagas, problemas climáticos y enfermedades.
- ✓ Permite el desarrollo adecuado de raíces, hojas, flores y frutos.
- ✓ Es de rápida absorción por la presencia de fitohormonas de crecimiento, aminoácidos y vitaminas.
- ✓ Es económico (Álvarez, 2010, p.13).

Desventajas

- ✓ El tiempo de preparación es largo, alrededor de 2 a 3 meses, por lo que se debe planificar con anticipación su producción.
- ✓ En extensiones grandes requiere de una mochila para su aplicación (Álvarez, 2010, p.15).

2.2.6. Biosol

El biosol es un biofertilizante semisólido con una humedad comprendida entre 10% y 25%, resulta del filtrado del fango saliente de la fermentación anaeróbica (Espíndola, 2018, p.18). Contiene macro y micro nutrientes, vitaminas, ácidos húmicos, aminoácidos y fitohormonas que promueven el desarrollo de las plantas, mejoran el rendimiento e impulsan las defensas contra enfermedades e insectos (BioSae, 2018, párr.4).

La composición química del biosol por lo general incluye alrededor de una 60% de materia orgánica, pH ligeramente salino y porcentajes relativos de N, P, K, Ca, Mg, Na, S y B, que puede ser aplicado directamente en el suelo como el compost, entre 2 a 4 Ton/Ha (Espíndola, 2018, p.19).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El presente proyecto técnico, se desarrolló en base a cuatro tipos de estudio: exploratorio, experimental, descriptivo y explicativo; con la finalidad de obtener biol a partir de residuos vegetales y animales.

Inicialmente, el estudio es exploratorio porque se recopilan datos y contenidos técnicos de manera bibliográfica sobre el tema en cuestión. Es experimental porque se aplican métodos y técnicas específicas para caracterizar la materia prima, producir el biol y analizarlo. Es descriptivo porque se detallan las características observables y generales del producto obtenido. Finalmente, es explicativo porque se determina y revela la influencia de ciertas variables (T, pH y conductividad eléctrica) en la obtención del biol.

3.2. Métodos y Técnicas

3.2.1. *Métodos*

a) Método inductivo

Mediante este método se parte de lo particular hacia lo general, es decir se estudia la posibilidad de obtener un biofertilizante a partir de la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, aprovechando de forma adecuada estos residuos y de esta manera contribuir con la disminución de la contaminación ambiental que genera su descomposición descontrolada.

b) Método deductivo

Para la obtención de bioles a partir de la fermentación de residuos orgánicos, es necesario utilizar un biorreactor y adecuarlo a las condiciones solicitadas, y siguiendo correctamente la técnica establecida, además de controlar las variables que intervienen en el proceso como temperatura, pH y conductividad.

c) Método experimental

La aplicación de este método consiste en el uso de equipos e instrumentos tecnológicos previamente seleccionados para la obtención del biol; se caracteriza la materia prima a utilizarse con la finalidad de establecer una relación C/N adecuada. También se realizan pruebas físico-químicas, químicas y microbiológicas para garantizar la calidad de los productos finales (biol y biosol).

3.2.2. Técnicas

a) Técnicas de análisis de materia prima

Las pruebas y ensayos descritos a continuación se realizaron en los laboratorios de Química Analítica, Química Orgánica y el Laboratorio de Investigación.

i. Preparación de las muestras

Tabla 1-3: Secado de muestras.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestras frescas de residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza)	Balanza Analítica Bandejas de aluminio Estufa de secado
Procedimiento	
a) Pesar 100 g de muestra y colocar en las bandejas de aluminio. b) Colocar las muestras anteriormente pesadas en la estufa de secado. c) Programar la estufa a 105 °C por 24 horas. d) Pasar las muestras a un desecador hasta que enfríen. e) Colocar las muestras en frascos herméticos, etiquetarlos y dejar en el desecador.	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

ii. Determinación de materia orgánica

Tabla 2-3: Determinación de materia orgánica.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestras secas de los residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza).	Balanza analítica. Crisoles. Reverbero. Estufa de secado. Mufla.
Procedimiento	
a) Tatar los crisoles en la estufa a 105 °C por 2 horas. b) Enfriar en el desecador durante 30 minutos. c) Enumerar los crisoles y etiquetarlos. d) Pesar los crisoles vacíos. e) Añadir 3 g de la muestra y anotar el peso. f) Calcinar la muestra en un reverbero. g) Colocar la muestra calcinada en la mufla a 430 °C durante 24 horas. h) Transcurrido las 24 horas, enfriar la muestra en el desecador. i) Pesar el crisol con la muestra calcinada. Repetir el procedimiento con cada muestra.	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

iii. Determinación de la humedad de los residuos orgánicos

Determinar el contenido de humedad de la materia prima permite corroborar que se encuentre en buen estado y no haya sufrido degradación aeróbica al aire libre, con porcentajes de agua superiores al 60%, que implicaría una reducción de nutrientes.

La Tabla 3-3 detalla el procedimiento para determinar el contenido de humedad en las muestras.

Tabla 3-3: Determinación de la humedad de los residuos orgánicos.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestra fresca de residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza).	Balanza de humedad.
Procedimiento	
a) Conectar la balanza a una fuente de corriente.	

- b) Esperar alrededor de un minuto para que se tare y precaliente automáticamente.
 - c) Colocar en el plato de análisis 5 g de la muestra fresca de residuos orgánicos.
 - d) Cerrar la balanza y dejar secar la muestra a la temperatura y tiempo establecidos como estándar (105 °C por 3 h).
 - e) Tomar nota del porcentaje de humedad resultante.
 - f) Retirar la muestra del plato y apagar el equipo.
- Repetir el procedimiento con cada muestra.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

iv. Medición de pH

Es importante determinar el pH para analizar su variación en la materia prima fresca y en el abono orgánico luego de la fermentación, valores muy alcalinos, que por lo general presentan los estiércoles no son recomendables, por eso no se deben aplicar directamente en los cultivos. La Tabla 4-3 muestra el procedimiento de la medición del pH.

Tabla 4-3: Medición de pH.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestras secas de residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza). Agua destilada.	Balanza Analítica. pH metro Fisher Scientific. Vaso de precipitación.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> a) Conectar la balanza analítica a una fuente de poder. b) Pesar 4 g de la muestra y colocar en un vaso de precipitación. c) Adicional 40 ml de agua destilada. d) Agitar vigorosamente la solución durante 10 minutos. e) Dejar que sedimente y medir directamente sobre el líquido sobrenadante. f) Anotar el valor expresado en el equipo. <p>Repetir el procedimiento con cada muestra.</p> <p>La medición se debe hacer inmediatamente después de la preparación de las muestras.</p>	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

v. Medición de conductividad eléctrica

Medir la conductividad eléctrica en la materia prima permite determinar la disponibilidad de sales solubles en las mismas, en caso de tener deficiencias se debe añadir ingredientes extras como la

ceniza, las rocas minerales y/o las sales sólidas directamente. En la Tabla 5-3 se explica el procedimiento de medición de esta variable.

Tabla 5-3: Medición de conductividad eléctrica.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestras secas de residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza). Agua destilada.	Balanza analítica Conductímetro. Vaso de precipitación.
Procedimiento	
a) Conectar el conductímetro a una fuente de poder. b) Pesar 4 g de la muestra y colocar en un vaso de precipitación. c) Adicional 40 ml de agua destilada. d) Agitar vigorosamente la solución durante 10 minutos. e) Centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm. f) Filtrar la solución y medir la conductividad. Repetir el procedimiento con cada muestra. La medición se debe hacer inmediatamente después de la preparación de las muestras.	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

vi. Digestión ácida de las muestras secas

Es imprescindible preparar las muestras mediante digestión ácida para transferir por completo los analitos (elementos a analizar) en solución y que puedan ser analizados en el espectrofotómetro en forma líquida, sin implicar pérdida o contaminación de la sustancia de interés. La Tabla 6-3 detalla este procedimiento.

Tabla 6-3: Digestión ácida de las muestras secas.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestras secas de residuos orgánicos (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza) Agua destilada Ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄)	Vaso de precipitación Cabina de extracción de gases Reverbero Pinzas Embudo Erlenmeyer pH metro Fisher Scientific
Procedimiento	

<p>a) Pesar 0,5 g de la muestra y colocarlos en el embudo Erlenmeyer</p> <p>b) Añadir 20 ml de agua destilada y homogenizar</p> <p>c) Añadir 2 ml de ácido sulfúrico concentrado</p> <p>d) Colocar el reverbero en la cabina de extracción de gases</p> <p>e) Ebullición la muestra durante 5 horas, agregando poco a poco agua destilada evitando que se seque la muestra</p> <p>f) Transcurrido el tiempo, filtrar la muestra en vaso de precipitación</p> <p>g) Pesar 5 g de Hidróxido de Sodio (NaOH) y diluir con 50 ml de agua destilada.</p> <p>h) Colocar poco a poco la dilución de la base en la muestra filtrada hasta alcanzar un pH cercano a 2</p> <p>i) Aforar hasta 80 ml con agua destilada</p> <p>Repetir el procedimiento con cada una de las muestras secas</p> <p>Esta solución será la solución transparente utilizada para análisis de macronutrientes</p>

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

vii. Análisis de macronutrientes N, P, K

El análisis de macronutrientes permite conocer la disponibilidad de los mismos en la materia prima y analizar como varían en el biol después de la fermentación anaeróbica, ya que éstos determinan la actividad metabólica de los microorganismos.

La Tabla 7-3 detalla el ensayo empleado para determinar el porcentaje de nitrógeno total presente en cada una de las muestras previamente digestadas.

Tabla 7-3: Análisis de macronutrientes Nitrógeno (N).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Solución transparente (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza).	Espectrofotómetro Thermo Scientific
Pastilla Nitrate Wide Range TestTab (3703A)	Tubo de ensayo cuadrado
	Pipeta
Procedimiento	
<p>a) Con ayuda de una pipeta llenar completamente el tubo de ensayo cuadrado.</p> <p>b) Añadir una pastilla de Nitrate Wide Range TestTab (3703A)</p> <p>c) Tapar el tubo de ensayo y colocarlo dentro de la bolsa protectora (0106-FP)</p> <p>d) Agitar durante 2 minutos hasta que la pastilla se disuelva</p> <p>e) Dejar reposar por 5 minutos</p> <p>f) Leer en el espectrofotómetro</p> <p>Repetir el procedimiento con cada muestra</p>	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

De igual manera, la Tabla 8-3 refleja el procedimiento para determinar el porcentaje de fósforo (%P₂O₅), mediante espectrofotometría en los materiales empleados en la digestión.

Tabla 8-3: Análisis de macronutrientes Fósforo (P).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Solución transparente (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza). Agua destilada. Pastilla PHOSPHORUS TESTAB (5422A).	Espectrofotómetro Thermo Scientific. Tubo de ensayo cuadrado. Pipeta.
Procedimiento	
a) Anadir 25 gotas de la solución transparente en el tubo de ensayo cuadrado b) Llenar el tubo de ensayo hasta el hombro del mismo c) Añadir una pastilla de PHOSPHORUS TESTAB (5422A) d) Tapar y mezclar hasta que la pastilla se disuelva e) Esperar 5 minutos hasta que aparezca color f) Leer en el espectrofotómetro Repetir el procedimiento con cada muestra.	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Por último, la Tabla 9-3 muestra el ensayo para determinar el contenido de potasio, expresado en porcentaje (%K₂O).

Tabla 9-3: Análisis de macronutrientes Potasio (K).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Solución transparente (hojas de mora, estiércol de cuy, estiércol de rata, gallinaza). Agua destilada Pastilla PHOSPHORUS TESTAB (5422A)	Espectrofotómetro Thermo Scientific Tubo de ensayo cuadrado Pipeta
Procedimiento	
a) Con ayuda de la pipeta añadir la solución transparente al tubo de ensayo hasta el hombro del mismo b) Añadir una pastilla de POTASSIUM TESTAB (5424A) c) Tapar y agitar hasta que la pastilla se disuelva d) Dejar reposar por 5 minutos e) Leer en el espectrofotómetro Repetir el procedimiento con cada muestra	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

viii. Determinación de DBO₅ y DQO

La *Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)*, que indica la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos, se determinó mediante el método gasométrico de biodigestión de materia orgánica en ambiente natural “Estándar Métodos del agua APHA No. 5210-B”. El cual consiste en llenar con muestra diluida y sembrada, hasta rebosar, un frasco hermético de 300ml con tapón de vidrio esmerilado e incubarlo a 201°C durante 5 días.

La *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*, que indica como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas, se determinó mediante el método colorimétrico de digestión de materia orgánica en medio ácido “Estándar Métodos de agua APHA No. 5220-B”. Este método consiste en someter a la muestra de 50ml, en una solución fuertemente ácida con exceso conocido de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). Luego de la digestión, el dicromato restante sin reducir se titula con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de K₂Cr₂O₇ consumida y la materia oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

b) Técnicas de análisis para el producto final

i. Muestreo del biol obtenido

El muestreo se realizó en tres secciones del biodigestor: superior, medio y fondo (biosol). Tomando cinco muestras representativas de cada una.

Tabla 10-3: Toma de muestras para análisis.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Biol	Balde de 10 L y tanque de 200 L Malla metálica
Procedimiento	
a) Introducir el balde de 10 litros en el biodigestor, tomar el biol evitando la agitación brusca y colocar en el tanque hasta alcanzar los tres cuartos de su capacidad	
b) Tomar 5 muestras representativas para posterior análisis	
c) Dejar reposar por 15 minutos	
d) Repetir el proceso con el volumen medio y final, obteniendo un total de 15 muestras	

Realizado por: Gallegos Thalfá, 2021.

ii. Medición de pH del biol

Tabla 11-3: Medición de pH del biol.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Biol.	pH metro Fisher Scientific
Agua destilada.	Vaso de precipitación
Procedimiento	
a) Colocar 40 ml de biol en el vaso de precipitación	
b) Medir directamente el pH con el electrodo respectivo	
c) Anotar el valor expresado en el equipo	
Repetir el procedimiento con cada muestra	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

iii. Medición de conductividad del biol

Tabla 12-3: Medición de CE del biol.

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Biol	Conductímetro
Agua destilada	Vaso de precipitación
Procedimiento	
a) Tomar la muestra donde se mide el pH	
b) Medir directamente la conductividad eléctrica con el electrodo respectivo	
c) Anotar el valor expresado en el equipo	
Repetir el procedimiento con cada muestra	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

iv. Análisis de macronutrientes del biol

El análisis de macronutrientes se efectúa una vez realizada la digestión ácida de las muestras, mediante los ensayos que se detallan a continuación.

Para el caso del nitrógeno se elabora la curva de calibración en base a la lectura de cinco concentraciones de biol siguiendo el procedimiento que se explica en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Análisis de Nitrógeno Total (N).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestra de biol digerida.	Espectrofotómetro UV-visible
Reactivo de Nessler. Agua destilada.	

Procedimiento
a) Filtrar la muestra digestada, neutralizar con NaOH y aforar a 100 ml con agua destilada. b) Tomar 1 ml del extracto y aforar en 20 ml de agua destilada. c) De la dilución anterior, tomar 3 ml y añadir 0,3 de reactivo de Nessler. d) Agitar y esperar 5 minutos para la lectura. Nota: El valor obtenido del espectrofotómetro corresponde a Nitrógeno orgánico, para reportar realizar la conversión correspondiente a Nitrógeno Total (NT)

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Para el caso del fósforo de igual manera se elaboró primero la curva de calibración para determinar las concentraciones en cada muestra según la ecuación de la recta definida.

Tabla 14-3: Análisis de fósforo (P_2O_5).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestra de biol digestada	Espectrofotómetro UV-visible
Soluciones patrones (reactivo de color)	
Agua destilada	
Procedimiento	
a) Filtrar la muestra digestada, neutralizar con NaOH y aforar a 100ml con agua destilada b) Tomar 0,2 ml del extracto de la muestra y aforar con 5 ml de agua destilada c) Adicionar 5 ml de reactivo de color d) Esperar 15 minutos y leer a 880 nm Nota: El valor obtenido del espectrofotómetro corresponde a fósforo (P), para reportar realizar la conversión correspondiente a P_2O_5 .	

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Para el caso del potasio también se basa en la obtención de la curva de la calibración para obtener la ecuación determinante de la concentración de las muestras.

Tabla 15-3: Análisis de Potasio (K_2O).

Sustancias y Reactivos	Materiales y Equipos
Muestra de biol digestada	Agua destilada
	Espectrofotómetro Absorción Atómica
Procedimiento	
a) Filtrar la muestra digestada, neutralizar con NaOH y aforar a 100ml con agua destilada b) Tomar 10 ml del extracto de la muestra y aforar con 100 ml de agua destilada	

c) Leer los estándares en el espectrofotómetro de absorción atómica

Nota: El valor obtenido del espectrofotómetro corresponde a potasio (K), para reportar realizar la conversión correspondiente a K_2O

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

v. **Análisis microbiológicos**

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio particular SAQMIC, se determinó la presencia de coliformes fecales, totales, mohos y levaduras, expresadas en Unidades Formadoras de Colonias por mililitro de biol (UFC/ml), cuyos resultados se reportan en el ANEXO H.

3.3. Acondicionamiento de la materia prima

La materia prima seleccionada corresponde a residuos recolectados en el sector Chambo en la provincia de Chimborazo, entre los que están hojas de mora producto de la podación de las parcelas, estiércol de cuyes, gallinaza y estiércol de ratas provenientes del bioterio de la Facultad de Ciencias. Estos dos últimos materiales se consideraron en la formulación debido a su riqueza de macro y micro nutrientes. Así, la gallinaza es un componente esencial en la fabricación de abonos orgánicos fermentados, ya que aporta buena concentración de nitrógeno al proceso fermentativo (Restrepo, 2001, p.27). El estiércol de ratas, se utilizó por ser un residuo constante en el bioterio de la facultad que contiene nutrientes aprovechables en la biodigestión y que además ya se ha considerado como materia prima de abonos orgánicos (Román, 2018, párr.6).

También, se consideró emplear microorganismos de montaña recolectados en una zona montañosa. Todos los materiales debieron pasar por una caracterización que incluía análisis de pH, conductividad eléctrica, humedad, materia orgánica, y macronutrientes N, P, K; para determinar su influencia en la preparación del biol.

3.4. Cálculos requeridos para proceso de fermentación anaerobia

3.4.1. Cálculo de los ingredientes

La determinación de los ingredientes y la proporción de cada uno de los ellos, se basó en una formulación planteada en el 2019, la cual presentó excelentes resultados como abono foliar en varios cultivos (INFORAGRÓNOMO, 2019, párr.10). Dicha formulación, se adaptó a la disposición de la biomasa recolectada y de acuerdo con su relación C/N. El cálculo se realizó en base a las cantidades fijadas para un biodigestor de 600 L.

Tabla 16-3: Cálculo de los ingredientes (kg).

Ingredientes	Cantidad citada	Unidad	Cálculo	Cantidad de muestra
Estiércol fresco de gallina	30	Kg	$\frac{600 L \times 30kg}{200 L} = 90$	90
Estiércol fresco de cuyes	10	Kg	$\frac{600 L \times 10kg}{200 L} = 30$	30
Estiércol fresco de ratas	10	Kg	$\frac{600 L \times 10kg}{200 L} = 30$	30
Hojas de mora	10	Kg	$\frac{600 L \times 10kg}{200 L} = 30$	30
Microorganismos de montaña	4	Kg	$\frac{600 L \times 4kg}{200 L} = 12$	12
Azúcar morena	4	Kg	$\frac{600 L \times 4kg}{200 L} = 12$	12
Leche cruda	3	L	$\frac{600 L \times 3L}{200 L} = 9$	9
Ceniza	1	Kg	$\frac{600 L \times 1kg}{200 L} = 3$	3
Cáscara de huevo	0,5	Kg	$\frac{600 L \times 0,5kg}{200 L} = 1,5$	1,5

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

3.4.2. Cálculo de la relación C/N

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3)) + Q_4(C_4 \times (100 - M_4))}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3)) + Q_4(N_4 \times (100 - M_4))}$$

Ecuación 1-3

Donde:

R = Relación C/N

Q_n = peso del material (kg)

C_n = Carbono (%)

N_n = Nitrógeno (%)

M_n = Humedad (%)

3.4.3. Cálculo para el rendimiento del biol

Se determinó mediante la relación de volúmenes, antes de iniciar el proceso de fermentación y el volumen final de biol obtenido.

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_f}{V_i} \times 100$$

Ecuación 2-3

Donde:

$V_i = \text{volumen inicial (L)}$

$V_f = \text{volumen del biol obtenido (L)}$

3.5. Proceso de la fermentación anaerobia

El procedimiento se llevó a cabo en un tanque Rotoplas para aguas residuales con capacidad de 600L, el cual se colocó en el centro de acopio de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

3.5.1. Parte experimental

Sustancias y Reactivos:

- 90 Kg de estiércol fresco de gallina.
- 30 Kg de estiércol fresco de cuyes.
- 30 Kg de estiércol fresco de ratas.
- 30 Kg de plantas verdes picada (mora).
- 12 Kg de tierra de bosque virgen (microorganismos de montaña).
- 12 Kg de azúcar morena.
- 9 L de leche cruda.
- 3 Kg de ceniza.
- 1,5 Kg de cáscara de huevo.

Materiales y Equipos:

- Tanque Rotoplas de 600L
- Baldes plásticos
- 1 metro de manguera plástica de ½ pulgada
- Botella plástica de 6 L
- Tijeras podadoras
- Balanza romana
- Fundas plásticas

Procedimiento:

- Picar en trozos pequeños las hojas de mora y pesar la cantidad indicada.

- Pesar las cantidades calculadas de estiércol fresco de gallina, cuy y de rata, además de los aditivos complementarios como son los microorganismos de montaña, azúcar morena, leche cruda, ceniza y cáscara de huevos.
- En un balde diluir la azúcar morena con la leche cruda.
- En el tanque de 600L agregar los estiércoles y añadir agua hasta un tercio del tanque y mezclar hasta que se homogenice.
- Añadir los microorganismos de montaña y seguir agitando.
- Triturar las cáscaras de huevo y las hojas de mora picadas y añadir a la mezcla.
- Adicionar la dilución de leche cruda con azúcar.
- Incorporar agua de pozo hasta el volumen indicado.
- Sellar herméticamente y verificar la salida del biogás.
- Durante el proceso de fermentación anaeróbica controlar las variables de pH y conductividad eléctrica, así como las características organolépticas (olor, color y aspecto).

3.6. Variables del proceso

Las variables del proceso que se consideran para la obtención del biol mediante la fermentación anaeróbica son las siguientes:

- Tiempo de retención
- Temperatura
- pH
- Conductividad eléctrica

3.6.1. *Tiempo de retención*

El experimento se llevó a cabo en un período de 120 días, en los cuales cada 30 días se midió los valores de temperatura, pH y conductividad eléctrica.

3.6.2. *Temperatura*

La temperatura fue ambiente en el rango de 16 a 25°C, se controló para evidenciar el efecto de la fermentación en su comportamiento.

3.6.3. pH

Se recolectó 100 ml de la muestra y se agitó hasta quedar completamente homogenizada, con un pH metro de Fisher se midió directamente el pH de la solución.

3.6.4. Conductividad eléctrica

Con la solución homogenizada se introdujo los electrodos del conductímetro OAKTON Pc 2700 y se tomó el valor de la variable. Se realizó este proceso cada 30 días.

3.7. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 17-3: Características y descripción de los equipos.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Biodigestor Autolimpiable Rotoplas.	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad 600 litros• Altura de 1,60 m• Diámetro de 0,86 m	Es un sistema limpio y eficiente para el tratamiento de aguas residuales, realiza un proceso biológico que degrada los desechos hasta convertirlos materia útil
Balanza analítica	<ul style="list-style-type: none">• Marca: Explorer Análítica OHAUS EX224• Capacidad: 220g• Resolución: 0,0001g• Ambiente de trabajo 10°C – 30°C, 85% de humedad relativa, sin condensación	Instrumento de laboratorio diseñado para medir pequeñas masas
Estufa de secado	<ul style="list-style-type: none">• Marca: Binder ED 56• Rango de temperatura: desde 5° C por encima de la temperatura ambiente hasta 300° C• Convección natural• Rejillas cromadas	Es un equipo cuya función es secar y esterilizar instrumentos de laboratorio, así como deshidratar reactivos
Mufla	<ul style="list-style-type: none">• Marca: Thermo Scientific• Control de temperatura digital de ajuste único a 1100°C · El aislamiento de fibra de cerámica permite un calentamiento más rápido, con lo que se reduce el consumo de energía.• Temperatura: 100 a 1100°C	Es una cámara cerrada, su principal uso es el de calcinar sustancias, secado, función y procesos de control.
Espectrofotómetro	<ul style="list-style-type: none">• Marca: Thermo Scientific Evolution 201/2000	Es un equipo que mide la intensidad de la luz para determinar la concentración de un analito en una muestra.

	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de detector: dos fotodiodos de silicio • Desviación: < 0,0005A/h, 500 nm, 1,0 nm de ancho de banda espectral, calentamiento de 1 h 	
pH-metro	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Fisher Scientific XL 150 • Intervalo de pH: -2 a 20 • Resolución de pH: pH de 0.1, 0.01, 0.001 • Precisión del pH: pH ± 0.002 	Es un instrumento científico que mide a actividad del ion hidrógeno con la finalidad de determinar su grado de acidez o alcalinidad.
Conductímetro	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: OAKTON 2700 • Rango: 0,050 μS/cm hasta 500,0 mS/cm (5-rango autorango) • Resolución: 0,01, 0,1 μS/cm, 0,001, 0,01, 0,1 mS/cm. • Exactitud: ± 1% del valor de escala completa 	Dispositivo cuya función es medir la cantidad de corriente eléctrica o conductancia en una solución
Termorreactor para análisis de DQO	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: VELD SCIENTIFICA • Modelo: ECO 16 • Estructura: metálica con pintura epoxi. Temperatura programable desde ambiente hasta 160 °C, resolución de 1 °C. • Estabilidad de temperatura: +/- 0,5 °C. • Capacidad: – 14 puestos para tubos de 16mm Ø. – 2 puestos para tubos de 22mm Ø 	Los termorreactores ECO 16 han sido diseñados para análisis de DQO, fósforo total, cromo total y otros análisis de descomposición, minimizado el consumo de reactivos, espacio y tiempo
Aparato de DBO respirométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: HACH • Modelo: BODTRACK II • Reduce el tiempo total de pruebas • Capacidad: 6 botellas de 492 ml • Temperatura de servicio: 20 °C 	Equipo de medida manométrica de la DBO(n) para el laboratorio, debido a la constante agitación de las botellas las bacterias tienen mayor tiempo de contacto con el alimento gracias al oxígeno adicional que se genera

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la caracterización de la materia prima

4.1.1. Análisis físico-químicos

Tabla 1-4: Resultados de los análisis físico-químicos de la materia prima.

Parámetro	Estiércol de gallina	Estiércol de cuy	Estiércol de ratas	Hojas de mora
pH	7,84	9,97	8,03	7,06
Humedad (%)	50,55	38,69	41,20	47,07
Materia Orgánica (%)	73,13	70,45	86,67	92,26
Carbono* (%)	39,75	38,29	47,10	50,14
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	7,94	4,31	0,58	4,31

*Dato obtenido por cálculo a partir de la materia orgánica (Iglesias & Pérez, 1992, p.16).

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021

Como se puede evidenciar en la Tabla 1-4, el valor del pH de los 3 tipos de estiércol y del residuo vegetal, varía entre 7,06 y 9,97 en la escala alcalina. Estos resultados difieren de los encontrados por otros autores, donde el pH de la gallinaza fue de 6,5 (Carhuacho, 2012, p.70) y del estiércol de cuy de 5,17 (Córdova, 2014, p.38) en la escala ácida. La variación puede deberse a varios factores como: alimentación, recolección y tiempo de almacenamiento.

En cuanto al contenido de humedad, las muestras exhiben valores comprendidos entre 38-51%, lo cual, según Carhuacho (2012, p.71) está dentro del rango óptimo, ya que, valores superiores al 60% ocasionan pérdidas de nutrientes por la ocurrencia de una previa fermentación aerobia, de allí, que también es importante controlar el tiempo de almacenamiento de la materia prima al aire libre.

El porcentaje de materia orgánica permite calcular la cantidad de carbono presente en cada una de las muestras, cuyos resultados permitirán determinar más adelante la relación C/N. Finalmente, respecto a la conductividad eléctrica, solo la del estiércol de ratas presenta un valor bajo de 0,58 dSm⁻¹, que indica una baja salinidad.

4.1.2. Análisis de macronutrientes

El análisis de macronutrientes se efectuó con la finalidad de conocer la cantidad presente en cada una de las materias primas y determinar cómo el proceso de digestión afecta sus proporciones. En la siguiente tabla se encuentran los resultados de los análisis de Nitrógeno Total, Fósforo y Potasio:

Tabla 2-4: Resultados del análisis de macronutrientes de la materia prima.

Parámetro	Estiércol de gallina	Estiércol de cuy	Estiércol de ratas	Hojas de mora
Nitrógeno total (%)	1,6	1,6	2,24	1,1
Fósforo (% P ₂ O ₅)	1,43	1,07	3,57	1,83
Potasio (% K ₂ O)	10,63	7,24	0,82	2,89

Realizado por: Gallegos Thalfá, 2021.

El estiércol de gallina refleja una mayor cantidad de potasio en comparación con el análisis efectuado por Carhuacho (2012, p.70), quien para gallinaza de jaula encontró 3,14% K₂O y para gallinaza de piso 2,98% K₂O. Por su parte, el estiércol de cuy empleado en este estudio también presenta mayor cantidad de potasio en relación al estudio de Córdova (2014, p.38), quien determinó 2,69% K₂O, mientras que, los otros dos macronutrientes tienen valores similares. En cuanto al análisis del estiércol de ratas se evidenció la menor cantidad de potasio, pero si valores considerables de fósforo y nitrógeno, útiles para la digestión anaerobia.

4.1.3. Relación C/N

La relación C/N se determinó mediante la Ecuación 1-3, con el peso calculado de cada materia prima y sus respectivos resultados fisicoquímicos de humedad, carbono y nitrógeno como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 3-4: Cálculo de la relación C/N.

Ingrediente	H2O %	Peso (kg)	C %	N %	Relación C/N
Estiércol de gallina	50,55	90	39,75	1,60	
Estiércol de cuy	38,69	30	38,29	1,60	
Estiércol de ratas	41,20	30	47,10	2,24	
Hojas de mora	47,07	30	50,14	1,10	
RESULTADO					26,01

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

De acuerdo con Restrepo (2001, p.18), la relación C/N debe estar comprendida entre 25-35 para lograr un óptimo proceso digestivo, en este caso el valor de 26,01 se encuentra dentro del rango ideal, razón por la cual se acepta la formulación planteada.

4.2. Resultados del control del proceso digestivo

Se realizó el control del proceso de digestión anaeróbica mediante la evaluación de los aspectos organolépticos, temperatura, pH, conductividad eléctrica, DBO₅ y DQO del producto, cada 30 días durante los 120 días que duró el proceso. Esto con la finalidad de analizar el comportamiento de las variables y corroborar que la digestión se esté desarrollando adecuadamente.

4.2.1. Análisis organoléptico

Este análisis se realizó mediante el uso de la vista, olfato y tacto, el día de inspección mensual.

Tabla 4-4: Análisis organoléptico.

Parámetro	30 días	60 días	90 días	120 días
Olor	Desagradable	Desagradable	Poco agradable	Ligeramente agradable
Color	Café oscuro	Café oscuro	Caramelo	Caramelo
Aspecto	Grumoso	Grumoso	Líquido	Líquido

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Como se aprecia en la Tabla 4-4, los dos primeros meses el biol presentó un olor desagradable, putrefacto, a estiércoles en descomposición; pero el tercer mes el olor mejoró, se percibía

ligeramente a hierbas y no tanto a estiércol. Finalmente, el cuarto y último mes de inspección, el olor era un poco más agradable y sutilmente herbáceo.

Según Cruz (2018, p.41), estos resultados son característicos del proceso fermentativo, ya que, al inicio de la descomposición se desprenden gases tóxicos como: sulfuro de hidrógeno, amonio, aminas, diaminas, mercaptanos y sulfuros orgánicos, que provocan olores desagradables, pero más adelante, estos gases se eliminan y depositan en el contenedor de agua, quedando un biol limpio.

Respecto al color y apariencia, los dos primeros meses se mantenía oscuro y grumoso, pero, a partir del tercer mes, este se tornó de color caramelo y mantenía un aspecto más líquido. Esto de igual manera se debe al avance del proceso fermentativo y la eliminación constante de gases.

4.2.2. Variación de la temperatura

La temperatura es una variable importante en el control del proceso digestivo, debe procurarse mantenerla estable y en un rango de 20 a 45°C para favorecer la producción de biol sobre la producción de biogás. Esta última ocurre a elevadas temperaturas (>45°C) y en cortos tiempos de retención (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA, 2020, p.40).

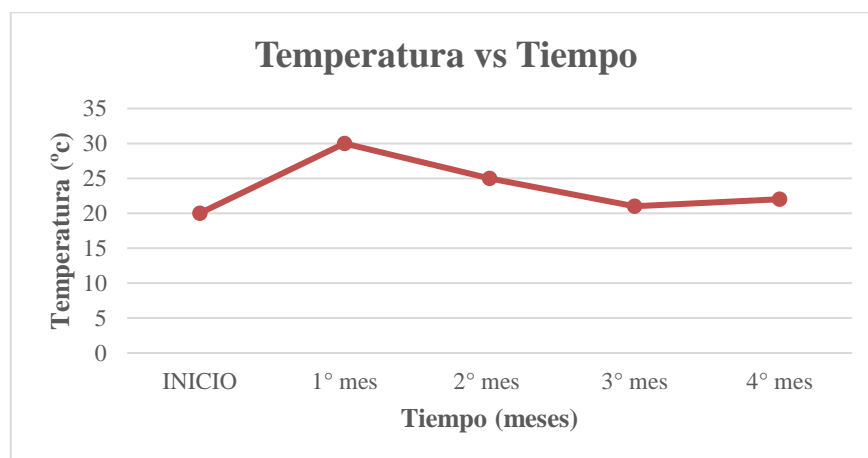


Gráfico 1-4. Variación de la temperatura.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Como se observa en el Gráfico 1-4, el proceso inicia con una temperatura interna de 20°C y al cabo de un mes se alcanzan los 30°C. Esta variación ocurre por el incremento de la actividad microbiológica dentro del digestor (Restrepo, 2001, p.17). A partir del segundo mes la temperatura se estabiliza entre los 25 y 22°C, que es donde se da por concluido el proceso de digestión anaerobia.

4.2.3. Evolución del pH

El pH debe mantenerse entre 6 y 7,5 para mantener controlada la fermentación, ya que los valores extremos inhiben el metabolismo microbiológico (Restrepo, 2001, p.18).

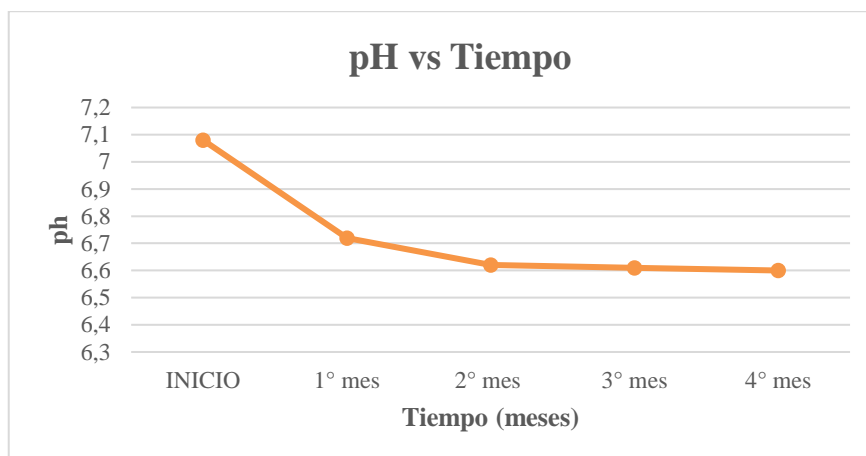


Gráfico 2-4. Evolución del pH.

Realizado por: Gallegos Thalfá, 2021.

Al inicio del proceso la mezcla presentó un pH ligeramente neutro de 7,08 el cual decreció transcurridos los primeros 30 días a un valor moderadamente ácido de 6,72. Los tres meses siguientes se estabilizó en el rango de 6,62 y 6,6, valores dentro del rango deseable. Carhuancho (2012, p.80), menciona que la disminución del pH se debe a la acumulación de ácidos grasos volátiles durante la fase de hidrólisis y acidogénesis, incapaces de ser neutralizados, con la consecuente formación de amonio y reducción de la producción de biogás.

4.2.4. Comportamiento de la Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica la cantidad de sales disponibles en el material de estudio, sin embargo, no proporciona información específica sobre el tipo de sales presentes (Masaguer & Benito en Cruz, 2018, p.46).

El Gráfico 3-4 muestra el comportamiento de la CE a lo largo de todo el proceso digestivo. Inició con un valor de 22 dSm^{-1} y descendió a 20,29 dSm^{-1} el primer mes. De acuerdo con Soria et al. (2000, p.361), este parámetro se redujo debido al consumo de los compuestos solubles del sustrato por parte de los microorganismos. En el segundo, tercero y cuarto mes, se observó un crecimiento proporcional de la CE como consecuencia de la descomposición anaeróbica del material orgánico a sales nutritivas.

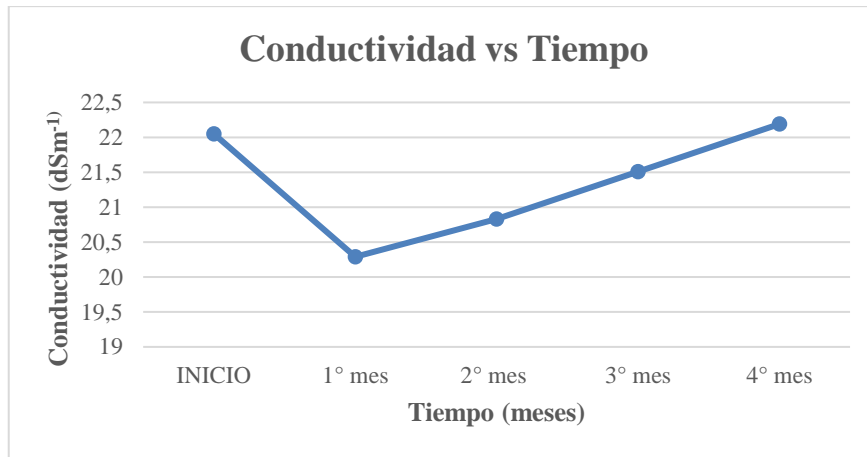


Gráfico 3-4. Comportamiento de la CE.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

4.2.5. Análisis de DBO₅ y DQO

El análisis de DBO₅ permitió conocer la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable, se expresa en miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua que se consume. Por su parte, el análisis de DQO nos indica la cantidad de sustancias en suspensión o disueltas en el biol, capaces de ser oxidadas por medios químicos, se expresa en miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua (Cruz, 2018, pp.46-48).

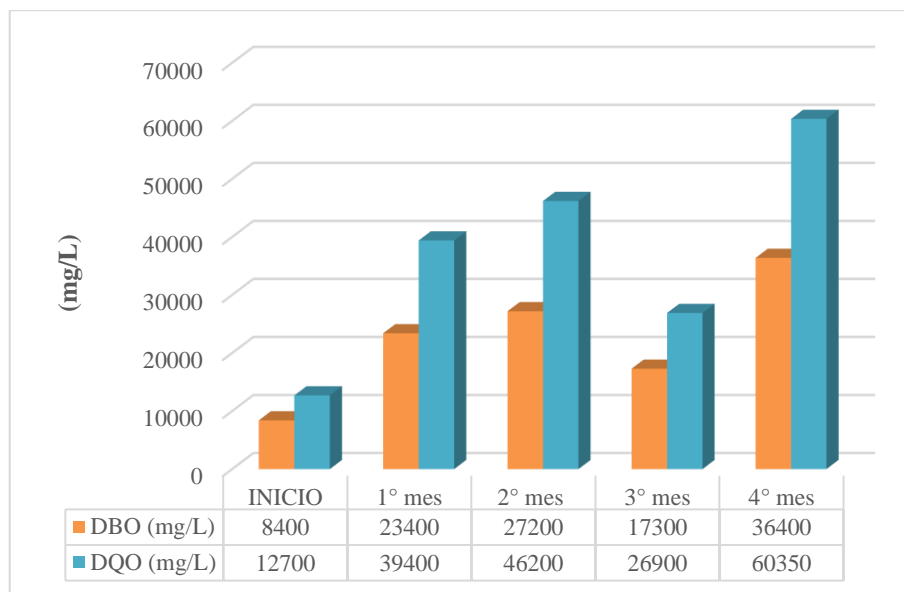


Gráfico 4-4. Variabilidad de DBO₅ y DQO durante la fermentación

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

El Gráfico 4-4 permitió analizar la variación de los parámetros DBO₅ y DQO a través del tiempo. Se observó que ambos evolucionan de manera creciente los dos primeros meses, lo cual indica

que los microorganismos están consumiendo cada vez mayor cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica biodegradable en el caso del DBO₅ y la presencia de una elevada cantidad de materia orgánica degradable para el caso del DQO (Cruz, 2018, pp.46-50).

En el tercer mes, se apreció un decaimiento de DBO₅ y DQO como consecuencia de la reducción de la actividad microbiana al empezar a estabilizarse el proceso, pero que retoma sus valores el cuarto mes como resultado del consumo total de oxígeno para completar la fermentación (Soria et al., 2001, p.361).

En general, la concentración de DQO durante todo el proceso fue mayor a la concentración de DBO₅, ya que, además de calcular la materia orgánica suma los valores de sustancias inorgánicas capaces de ser oxidadas, como sulfuros, sulfitos y yoduros; estos últimos incapaces de ser metabolizados por los microorganismos (Area en Cruz, 2018, p.50).

Es importante mencionar que, al determinar la relación DBO₅/DQO del producto final se halla un valor de 0,6 lo cual señala que en el biol aún contiene materia biodegradable en su composición.

4.2.6. Rendimiento del biol

El rendimiento del biol se determinó una vez concluido el proceso de digestión, mediante la Ecuación 2-3 que considera el volumen final del biol filtrado entre el volumen inicial de carga por 100, como sigue a continuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{466 \text{ L}}{600 \text{ L}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 77,67 \%$$

Este rendimiento fue considerablemente alto y de acuerdo con Delgado (2019, p.62), se encuentra dentro del rango aceptable para bioles de este tipo (75-90%); lo cual indica que, la formulación empleada y las condiciones de trabajo aplicadas fueron las apropiadas.

4.3. Resultados de la caracterización del biol

4.3.1. Características microbiológicas

El análisis microbiológico del biol se enfocó en la enumeración de coliformes totales y coliformes termotolerantes (coliformes fecales), ambos grupos se emplean como indicadores de la eficacia del tratamiento de la materia orgánica, en la elaboración de biofertilizantes. Adicionalmente se determinó cuantitativamente hongos filamentosos.

Tabla 5-4: Evaluación microbiológica del biol

Parámetro	Resultado UFC/mL	Límite microbiológico UFC/mL**	Método
Coliformes Totales	8,8 x 10 ⁴	1000	NTE INEN-ISO 9308-3
Coliformes termotolerantes (fecales, <i>E. coli</i>)*	8,0 x 10 ³	1000	NTE INEN-ISO 9308-3
Mohos	5,6 x 10 ⁴	nd***	NTE INEN 1529- 10:98

* Los coliformes fecales o termotolerantes agrupan mayoritariamente a *Escherichia coli*.

** Agrocalidad, 2020, p. 34.

*** nd: no determinado

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Los coliformes totales incluyen bacterias que pueden sobrevivir y proliferar en medios acuosos, tienen como hábitat los residuos vegetales, las aguas naturales, algunos son heterótrofos y se multiplican en el suelo. Los coliformes termotolerantes tienen como género predominante a *Escherichia coli*, que se presenta en concentraciones elevadas en las heces humanas y animales, indicando contaminación fecal, raramente se encuentra en ausencia de este tipo de contaminación, aunque parece que puede crecer en suelos tropicales. La especie *E. coli* puede agrupar subespecies patogénicas o indicar la potencial presencia de patógenos entéricos como *Salmonella* y virus (OMS, 2018, párr.11).

La elevada concentración de estos grupos en el biol de elaboración artesanal (Tabla 5-4), revela que el proceso de fermentación anaeróbica no permitió su inactivación, sugiriendo una contaminación inicial pronunciada de los materiales empleados como ingredientes de estas formulaciones, de tal modo que el tratamiento propuesto resultó insuficiente para reducir sus niveles. Este caso se asemeja a los resultados del trabajo de Fongaro, G y colaboradores: “Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes”, donde se detectó *Salmonella* en efluentes del digestor anaeróbico que procesaba estiércol porcino procedentes de granjas (Fongaro et al., 2014, pp.6-9).

Por lo anterior, se establece que la elaboración de bioles artesanales debe ser monitoreada respecto a la concentración de estos indicadores a fin de lograr preparados seguros; a partir del presente estudio corresponde mejorar la elaboración de estos biofertilizantes para cumplir con el criterio de calidad microbiológica. Se deben hacer esfuerzos para reducir los niveles de indicadores y disminuir el riesgo para el ambiente y la salud humana y animal. Conviene establecer métodos de sanitización para estas matrices antes de su uso.

Por otra parte, los hongos no tienen interés como grupo indicador, pero dadas las características fisiológicas de los hongos como microorganismos de la biodegradación, el nivel encontrado se sumaría a la población del suelo en su función de degradar la materia orgánica contribuyendo a su reciclaje.

4.3.2. Características nutritivas

Se analizaron los macronutrientes: Nitrógeno total NT, Fósforo P_2O_5 y Potasio K_2O , en tres secciones del biorreactor (superior, medio, fondo) por separado, evaluando 5 muestras de cada sección para determinar si existe varianza significativa de los nutrientes y analizar la posibilidad de separar el efluente por fracciones para optimizar la concentración de los mismos.

Tabla 6-4: Macronutrientes N, P y K del biol.

Sección	% N	% P_2O_5	% K_2O
Superior	1,99 ± 0,48	0,34 ± 0,05	8,86 ± 0,50
Medio	2,64 ± 0,06	0,65 ± 0,04	8,36 ± 0,72
Fondo (biosol)	5,71 ± 2,15	2,65 ± 0,16	7,13 ± 0,37
Homogenizado	4,11 ± 0,24	1,22 ± 0,10	8,50 ± 0,12

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

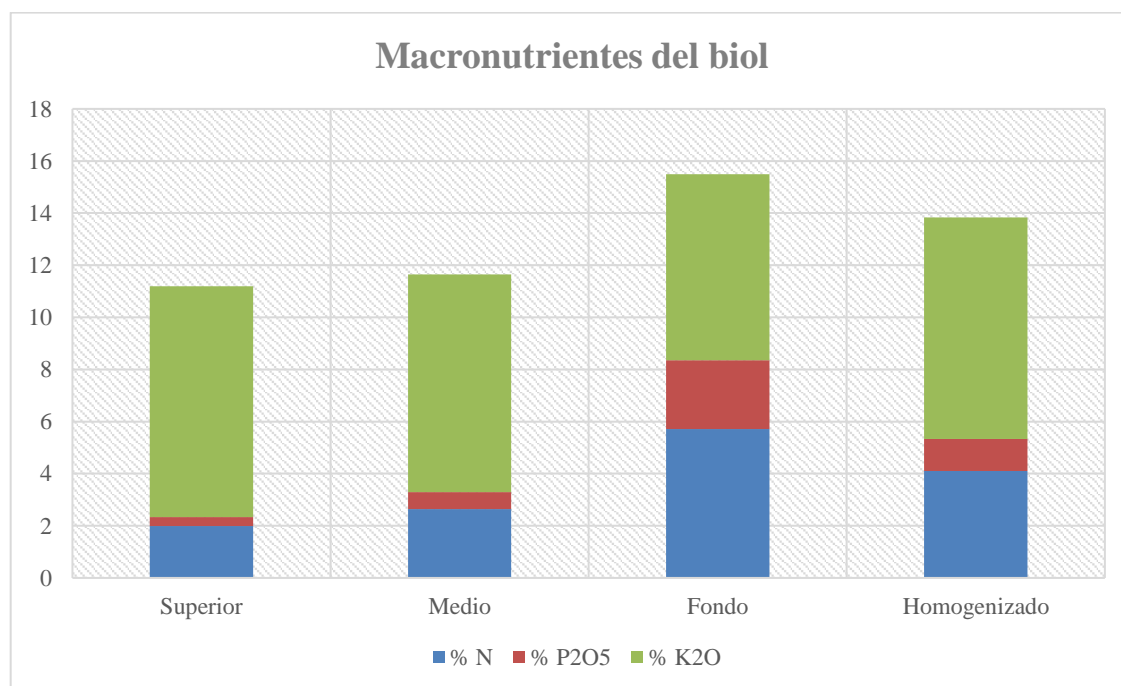


Gráfico 5-4. Comparación de macronutrientes en cada sección analizada del producto.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

El Gráfico 5-4 permitió comparar la concentración de nutrientes en cada una de las secciones analizadas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de N, P y K, se concentra en el fondo del biodigestor, y una vez homogenizado el producto se obtiene una concentración más o menos similar, pero con menos cantidad de potasio (P_2O_5).

4.3.2.1. Nitrógeno total NT

El contenido de nitrógeno fue determinado mediante el método fotométrico de Kjeldahl, que emplea la ecuación de la recta derivada de la curva de calibración que se adjunta en el ANEXO D. El Gráfico 6-4, muestra las medias de este nutriente en las tres secciones del biol y en la mezcla homogenizada del mismo. Los datos se reportaron como Nitrógeno total.

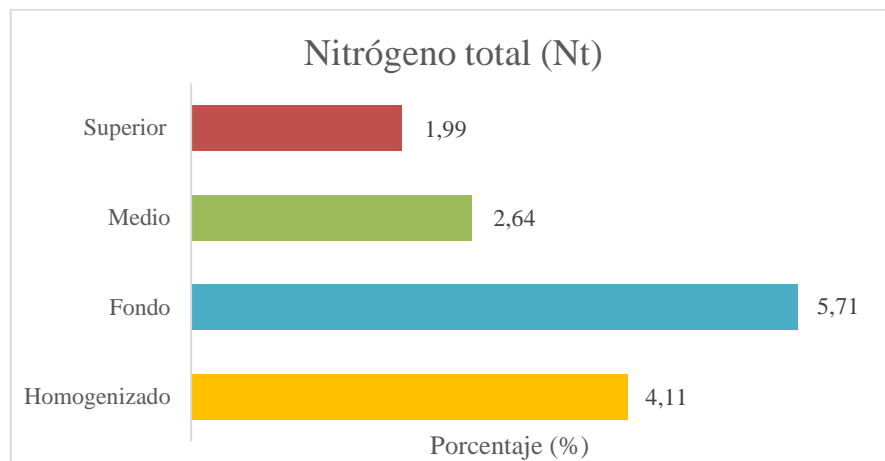


Gráfico 6-4. Distribución del contenido de nitrógeno total.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

La mayor concentración de nitrógeno se presentó en la fracción sólida del fondo, es decir en la fracción de biosol, con un valor de 5,71% en peso; mientras que, las fracciones media y superior, presentaron valores de 1,99% y 2,64%, respectivamente. León et al. (2019, p.8), explican que la materia orgánica con la mayor concentración de nitrógeno y fósforo se acentúa en el biosol, que es el material mayoritario en el fondo del digestor.

Por otra parte, el porcentaje de nitrógeno en el biol homogenizado presentó un valor de 4,11% y de acuerdo con el Manual Técnico para el Registro y Control de Fertilizantes, los abonos de origen orgánico deben contener una concentración de nitrógeno $\geq 1\%$ para ser registrados y utilizados como fertilizantes agrícolas (MAG & AGROCALIDAD, 2020, p.24).

En consecuencia, para obtener un biol de alto contenido en nitrógeno, no es necesario una separación en fracciones. Sin embargo, si se desea optimizar aún más la concentración de este nutriente, sería importante pensar en la necesidad de implementar en el equipo de digestión, un agitador, para mantener uniforme la densidad bacteriana y la materia orgánica disponible;

evitando la formación de espacios muertos (sin actividad biológica) y costras en las paredes del equipo (Narváez & Saltos, 2007, p.24).

4.3.2.2. Fósforo (P_2O_5)

El contenido de fósforo se determinó en forma de anhídrido fosfórico (P_2O_5), mediante la ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración que se refleja en el ANEXO E. Las medias del porcentaje de fósforo encontrado en cada una de las muestras analizadas se resumen en el gráfico siguiente:

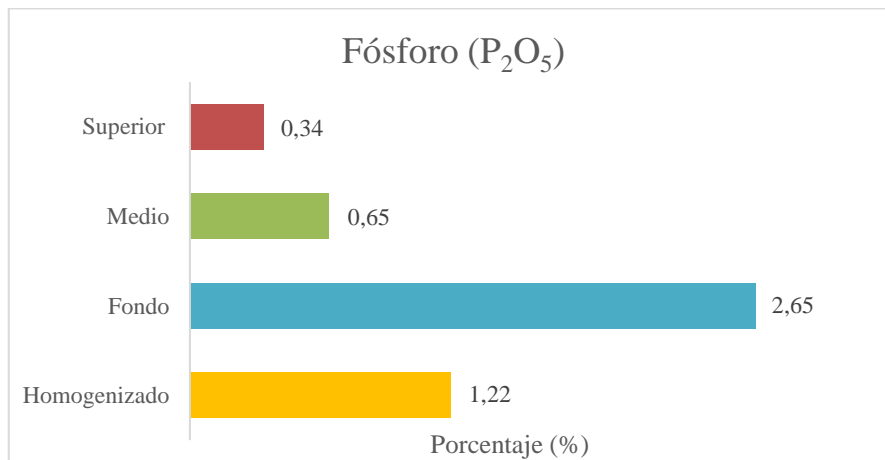


Gráfico 7-4. Distribución del contenido de fósforo.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Al igual que el nitrógeno la concentración de fósforo fue mayoritaria en la sección del fondo, con un porcentaje medio de 2,65%; y como ya se había mencionado, esto se debe a que el biosol de esta fracción retiene este nutriente (León et al., 2019, p.12). Así mismo, el biol homogenizado presentó un valor considerable de 1,22% y según los requisitos mínimos para fertilizantes orgánicos ($\geq 1\%$ P_2O_5), este producto reúne las proporciones óptimas de uso agropecuario (MAG & AGROCALIDAD, 2020, p.24).

Esquivel (2017, párr.5), señala que los suelos con pH básico requieren mayor concentración de fósforo soluble, por su carácter acidificante, este es el caso de suelos salinos y calizos. Entonces, en estas condiciones se debe optar por emplear la fracción del fondo del digestor, ya que es la que contiene la mayor proporción de fósforo. De igual manera, fertilizantes con alto contenido de fósforo son requeridos en estanques de agua dulce para favorecer la producción de fitoplancton (Peralta et al., 2016, párr.7).

4.3.2.3. Potasio (K_2O)

El contenido de potasio se determinó en forma de óxido de potasio (K_2O), mediante la ecuación de la recta derivada de la curva de calibración que se muestra en el ANEXO F. El Gráfico 8-4, exhibe las medias del porcentaje de potasio contenido en las tres secciones del analizadas y la mezcla homogenizada del biol.

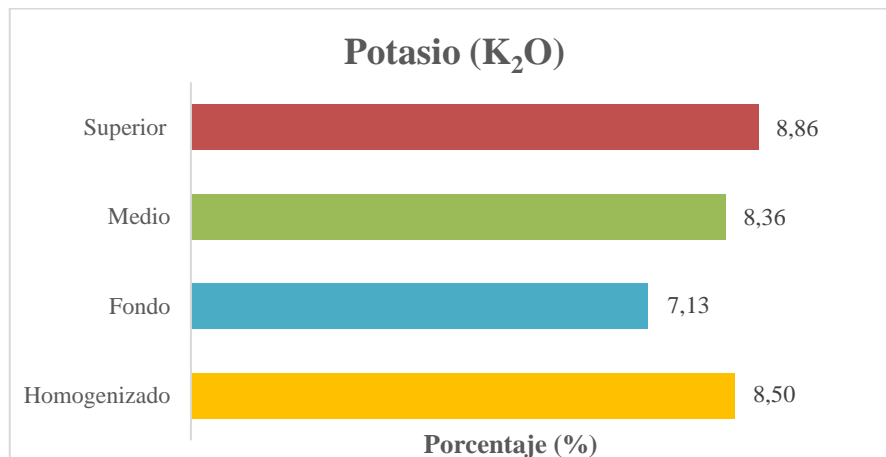


Gráfico 8-4. Distribución del contenido de potasio.

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

La concentración de potasio fue semejante en todas las muestras analizadas, a excepción de la fracción del fondo, donde se observó un porcentaje relativamente menor de 7,13% en comparación con las demás que tienen entre 8,50% y 8,86%. Esto puede deberse a que este mineral no tiende a precipitarse, sino más bien a concentrarse en la salmuera líquida del biol (Cifuentes et al., 1997, p.15).

Por consiguiente, al referirnos a la salmuera y tomando en consideración la alta proporción de potasio presente, se alude que el producto contiene una buena cantidad de sales minerales que pueden incluir: hierro, zinc, calcio, magnesio, manganeso, cobalto, molibdeno, selenio, níquel, azufre y otros menores (Narváez & Saltos, 2007, p.16). Esto se confirma con los valores de la conductividad eléctrica.

Es importante mencionar que, la alta concentración de potasio en la materia prima, especialmente en la gallinaza (10,63% K_2O) y el estiércol de cuy (7,24% K_2O), derivó en un producto igualmente de alta concentración potásica, alrededor del 8% K_2O ; cuyo valor fue similar al reportado por Taipicaña (2015, p.64), quien registró un 8,174% de K_2O en un biol obtenido a partir de rumen y orina de ganado vacuno.

4.3.3. *Potencial de hidrógeno (pH)*

El pH al igual que los macronutrientes, se evaluó en las tres secciones del biodigestor y en el biol homogenizado, por considerarse un parámetro sumamente importante en la disponibilidad de los nutrimentos (Soria et al., 2002, p.360).

Tabla 7-4: Medias de pH.

Sección	pH
Superior	6,65 ± 0,03
Medio	6,48 ± 0,01
Fondo (biosol)	6,40 ± 0,03
Homogenizado	6,64 ± 0,01

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Como se aprecia en la Tabla 7-4, las medias del pH en cada una de las muestras analizadas se encontraron en la categoría ligeramente ácida $\text{pH} < 7$, sin embargo, estos valores se mantuvieron dentro del rango deseable para fertilizantes orgánicos que oscila entre 4,5 y 8,5 (Román et al., 2013, p. 29 citados por Espíndola, 2018, p.37). Restrepo (2001, p.27) por su parte, recomienda un pH neutro en biofertilizantes líquidos, pero por lo general este depende del tipo de planta y suelo en el que se va a aplicar; así por ejemplo para el caso de vegetales se admiten valores moderadamente ácidos de hasta 5,8.

Al comparar los resultados finales de pH con la muestra inicial y el de sus materias primas, que tenían valores básicos, se corroboró la formación de ácidos orgánicos en la digestión, que por lo general se acumulan en la parte superior del producto por lo que se aprecia un valor ligeramente alto comparado con el de la parte media e inferior.

4.3.4. *Conductividad eléctrica (CE)*

La conductividad eléctrica también fue un parámetro analizado en las tres secciones del digestor y el biol final, presentando las siguientes medias como resultado:

Tabla 8-4: Medias de la conductividad eléctrica.

Sección	CE (dSm⁻¹)
Superior	25,16 ± 0,10
Medio	23,09 ± 1,43
Fondo (biosol)	21,02 ± 0,39
Homogenizado	25,11 ± 0,08

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

De acuerdo con la Tabla 8-4, la CE la parte superior y el biol homogenizado presentaron valores relativamente semejantes de alrededor de 25 dSm⁻¹, mientras que, en el medio se evidenció un valor de 23,09 dSm⁻¹ y en el fondo de 21,02 dSm⁻¹. Estos resultados revelaron la presencia de una alta cantidad de sales minerales disueltas (Soria et al, 2002, p.11), especialmente en la superficie del biol, como ya se había indicado en el análisis de potasio.

En la Tabla 9-4 se resumen los resultados físico-químicos del biol homogenizado, el cual de acuerdo a los análisis realizados se considera apto para ser utilizado como fertilizante foliar. En consecuencia, se acepta la formulación planteada de acuerdo a la caracterización de la materia prima y los insumos adicionales que se emplearon.

Para aplicar el biol vía foliar o directamente sobre el suelo, se debe diluir 1L del mismo en 20L de agua no clorada y su almacenamiento debe estar comprendido entre 3 a 6 meses luego de la cosecha, ya que, si se guarda demasiado tiempo puede perder sus propiedades (INFORAGRÓNOMO, 2019, párr.10).

Tabla 9-4: Caracterización físico-química del biol.

Parámetro	Unidad	Resultado
Aspecto, color, olor	-	Líquido, caramelo, herbáceo
pH	-	6,64
Conductividad eléctrica	dSm ⁻¹	25,11
Nitrógeno total (NT)	%	4,11
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	1,22
Potasio (K ₂ O)	%	8,50
DBO ₅	mgO ₂ /L	36400
DQO	mgO ₂ /L	60350
Coliformes totales	UFC/mL	8,8 x 10 ⁴

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

4.3.5. Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó utilizando el Software InfoStat mediante el análisis ANOVA y la Prueba de Tukey, con un 95% de confiabilidad para determinar si existieron diferencias significativas entre las 3 secciones del biol y el homogenizado.

La Tabla 10-4 presenta los resultados del análisis estadístico y los grupos asignados según su variabilidad, los cuales están representados por letras minúsculas (a, b, c, d) junto a las medias de los parámetros analizados.

Tabla 10-4: Diferencia de medias según la sección para los cinco parámetros evaluados.

Sección	Macronutrientes			pH	Conductividad (dS/m)
	% NT	% P2O5	% K2O		
Superior	1,99b	0,35d	8,86a	6,65a	25,16a
Medio	2,64b	0,65c	8,36a	6,48b	23,09b
Fondo	5,71a	2,65a	7,13b	6,40c	21,02c
Homogenizado	4,11a	1,22b	8,50a	6,64a	25,11a
F-ANOVA	7,93	482,05	9,45	107,24	26,13
V. Crítico F	3,71	207,51	4,50	46,16	11,61

NOTA: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Los resultados mostraron valores críticos de F inferiores a los F calculados, por lo que se acepta la variabilidad existente entre los datos analizados para cada parámetro, situando las medias en grupos de significancia estadística.

En la columna del porcentaje de Nitrógeno total, se observó un rango de significancia “a” para el fondo y el homogenizado, y otro rango de significancia “b” para el medio y el superior, lo que indica que la concentración del nutriente se acentúa mayormente en el biosol (fondo).

Para el contenido de fósforo, el análisis muestra cuatro grupos: a, b, c y d, lo que indica que todas las medias son estadísticamente distintas entre sí y que la mayor concentración del mineral se sitúa en el fondo al igual que el nitrógeno (2,65a).

En cuanto al contenido de Potasio, se encontraron dos rangos de significancia, donde la menor concentración se presentó en el fondo del biol (7,13b) y las demás mantienen relación entre sí (grupo a).

Respecto a la variable pH el análisis distingue tres grupos: a, b y c, donde los que guardan relación y tiene mayor valor son la sección superior y el biol homogenizado (6,65a y 6,64a).

Por último, el análisis estadístico de la variable CE muestra 3 valores que están significativamente relacionados con el pH, situándose el valor más alto al inicio del biol. Cruz (2018, p.49), mencionó

en su investigación, que el pH del biol en cada uno de sus tratamientos variaba significativamente igual a la conductividad eléctrica, lo cual concuerda con los resultados de la presente investigación.

4.4. Estudio de rentabilidad económica

4.4.1. Costos de la producción de biol

La Tabla 11-4 detalla los costos de los ingredientes necesarios para preparar biol en un biodigestor de 600 L de capacidad.

Tabla 11-4: Detalle de costos de la materia prima e insumos.

MATERIA PRIMA	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	Cantidades a Utilizar	Precio Real
Gallinaza	kg	100	0,06	6	90	5,40
Estiércol de cuy	kg	30	0,10	3	30	3,00
Estiércol de Rata	kg	30	0,00	0	30	0,00
Hojas de mora	kg	30	0,13	4	30	4,00
Microorganismos de montaña	kg	12	3,33	40	12	40,00
Azúcar	kg	12	2,00	24	12	24,00
Leche	L	9	0,70	5,6	9	5,60
Ceniza	kg	3	0,33	1	3	1,00
Cáscaras de huevos	kg	2	0,00	0	1,5	0,00
					COSTO TOTAL:	\$ 83,00

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Se debe considerar el costo de la mano de obra directa, misma que se toma del 10% de la materia prima directa, obteniéndose un valor de \$ 7,06.

La producción de biol implica además de los costos de la materia prima, otros que corresponden a los costos indirectos pero necesarios como los que se detallan a continuación:

Tabla 12-4: Detalle de los costos indirectos de fabricación.

COSTOS INDIRECTOS	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Silicona	uds.	4	0,75	3,00
Tijeras	uds	1	1,25	1,25
Tubos	m	0,2	1,50	0,30
Cinta teflón	uds.	1	0,50	0,50
Manguera 1/2 in	m	0,5	0,50	0,25
Transporte materia prima	uds.	4	10,00	40,00
Guantes de nitrilo	uds.	24	0,20	4,80
COSTO TOTAL:				\$ 50,10

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Finalmente, la inversión total y el costo calculado del biol tanto de producción como de comercialización se detalla en la Tabla 13-4:

Tabla 13-3: Costo de producción del biol.

COSTO DE PRODUCCIÓN DE BIOL				
MATERIA PRIMA DIRECTA (M.P.D.)	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Estiércol de gallina	kg	90	\$ 0,06	\$ 4,59
Estiércol de cuy	kg	30	\$ 0,10	\$ 2,55
Estiércol de rata	kg	30	\$ -	\$ 0,00
Hojas de mora	kg	30	\$ 0,13	\$ 3,40
Microorganismos de montaña	kg	12	\$ 3,33	\$ 34,00
Azúcar	kg	12	\$ 2,00	\$ 20,40
Leche cruda	L	9	\$ 0,62	\$ 4,76
Ceniza	kg	3	\$ 0,33	\$ 0,88
Huevos	kg	1,5	\$ -	\$ 0,00
SUMA				\$ 70,58
MANO OBRA DIRECTA (M.O.D.) 10% de M.P.D.				\$ 7,06
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN (C.I.F.)				
Silicona	Uds.	4	\$ 0,75	\$ 3,00
Tijeras	Uds.	1	\$ 1,25	\$ 1,25
Tubos	m	0,2	\$ 1,50	\$ 0,30
Cinta teflón	Uds.	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Manguera 1/2 in	m	0,5	\$ 0,50	\$ 0,25

Transporte materia prima	Uds.	4	\$ 10,00	\$ 40,00
Guantes de nitrilo	Uds.	24	\$ 0,20	\$ 4,80
SUMA				\$ 50,10
RESUMEN				
M.P.D.				\$ 70,58
M.O.D.				\$ 7,06
COSTO PRIMO				\$ 77,64
C.I.F.				\$ 50,10
Costo Producción				\$ 127,74
UNID. PRODUCIDAS				466
Costo Unitario (1L)				\$ 0,27
PRECIO VENTA				\$ 0,41

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

CONCLUSIONES

Se obtuvo biol a temperatura ambiente, con un tiempo de retención de 120 días, a partir de una formulación planteada con base en la disponibilidad de los residuos y la relación C/N de la materia prima (estiércol de cuy, gallina, rata, hojas de mora, levadura, leche, azúcar, ceniza, cáscaras de huevo y microorganismos de montaña), aprovechando el contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes de la biomasa residual para producir un fertilizante líquido de uso agrícola.

Se controló el proceso evaluando mensualmente los aspectos organolépticos, la temperatura, el pH, la CE, la DBO₅ y la DQO. Los resultados indicaron la correcta evolución del proceso de digestión anaerobia.

Se realizó el control de calidad del producto final, tomando muestras de tres secciones del biodigestor (superior, medio, fondo y homogenizado), cuantificando los nutrientes N, P y K, pH y CE, con la finalidad de analizar la variabilidad de las concentraciones y el comportamiento de los parámetros más significativos. La mejor composición fue la del biol homogenizado, con una concentración de macronutrientes superior al 1%, presencia de sales solubles y carácter ligeramente ácido.

Se determinó el costo para producir este biol con fines comerciales, calculándose en 0,27ctvs el litro y para venta \$0,41/L; lo que supone un producto asequible y que, a diferencia de los bioles ofertados en el mercado, contiene una alta concentración de nutrientes. Al ser preparado con materia orgánica residual, contribuye a la economía circular, lo que supone un beneficio adicional sobre los fertilizados químicos, al mismo tiempo que cuida los suelos, los cuerpos hídricos y el aire.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis microbiológicos más detallados, así como analizar los micronutrientes del biol y la materia prima empleada, para hallar factores determinantes de la composición final.

Se sugiere diseñar un biodigestor que tenga un sistema de regulación de temperatura para optimizar la fermentación en la zona mesofílica y un sistema de recolección de muestras en las tres secciones.

Se recomienda implementar en el biodigestor, la captura y recuperación del biogás producido, para aprovechar su poder calorífico.

Se sugiere evaluar la eficacia del biol en los cultivos de mora y otros cultivos de la zona comparando con los bioles comerciales.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Fernando. Manual de preparación y uso de biol [en línea]. Lima-Perú: Soluciones Prácticas, 2010. [Consulta: 04 abril 2021]. Disponible en: <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/Njc0.pdf>

ARROYO VINUEZA, Juan Sebastián. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador, 2016. pp. 2-16. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11994/3/UPS-KT01220.pdf>

BARREROS CHILUISA, Edison Iván. Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*Cavia porcellus*), enriquecido (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Cevallos-Ecuador, 2017. pp. 8-16. [Consulta: 04 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25395/1/Tesis-157%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20479.pdf>

CARHUANCHO LEON, Fanny Maribel. Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Ambiental. Lima-Perú, 2012. [Consulta: 20 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1769/P06.C375-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASACA, Ángel Daniel. *El Cultivo de la Mora, Infoagro* [página web]. 2016 [Consulta: 04 agosto 2021]. Disponible en: https://infoagro.com/documentos/el_cultivo_mora__parte_i_.asp

CIFUENTES LEMUS, Juan Luis; et al. *El Océano y sus recursos: XIV La utilización de los recursos químicos del agua del mar* [en línea]. México: Fondo de Cultura Económica, 1997. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_19.html

CÓRDOVA SORIA, Priscila Giovanna. Efecto de diferentes dosis de estiércol de cuy, sobre las características agronómicas y rendimiento de la *Brassica oleracea* L. Coliflor, *Var. Botrytis, sub. var. Snow White*, en un suelo de baja fertilidad, en la localidad de Zíngaro Cocha, Loreto

(Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Agronomía. Iquitos-Perú, 2014. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/322347373/EFECTO-DE-DIFERENTES-DOSIS-DE-ESTIERCOL-DE-CUY-pdf>

CRUZ TORRES, María Alejandra. Obtención de biol a partir de desechos generados en el Mercado Mayorista y en el Camal de Riobamba usando un consorcio microbiano como acelerador (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador, 2018. pp. 06-27. [Consulta: 07 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10173/1/236T0371.pdf>

DÍAZ MONTOYA, Ángela Judith. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas (Trabajo de titulación) (Posgrado). [En línea] Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Maestría en Suelos. Lima-Perú, 2017. pp. 06-17. [Consulta: 05 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2792/F04-D5335-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DÍAZ PLASENCIA, Sandy Lisbeth. Elaboración de abono orgánico (biol) para su utilización en la producción de alfalfa (*Medicago Sativa V. Vicus*) en Cajamarca (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Facultad de Ingeniería, Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos. Cajamarca-Perú, 2017. pp. 32-53. [Consulta: 05 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/215/Tesis%20Final.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

EL TIEMPO. *Decídase por la mora de castilla, El Tiempo* [página web]. 2020. [Consulta: 04 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-673746>

ENDESA. *Centrales de biomasa y sus tipos, Fundación Endesa* [blog]. 2021. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>

ESPINDOLA CÀCERES, Javier Fernando. Obtención de bioles y biosoles a partir del lodo que se extrae de las eras de secado del camal municipal del cantón Ambato (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera

de Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador, 2018. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10535/1/236T0394.pdf>

ESQUIVEL MATA, German. *Nutrientes Esenciales para las plantas, DROKASA* [documento pdf]. 2017. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: http://www.drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Nutrientes_Esenciales_para_las_Plantas.pdf

FAO. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030* [Informe resumido]. 2015. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>

FONGARO, G.; et al. “Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2014, (Brasil) volúmenes 479-480, pp. 277-283. [Consulta: 12 agosto 2021]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969714001661?via%3Dihub>

GÓMEZ SORIA, Moira D. & AMUSQUIVAR FERNÁNDEZ, Jorge. Obtención de Biol por degradación de desechos orgánicos de conejo cuy provenientes del criadero de la FCAV (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Técnica de Oruro, Facultad Nacional de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Química. Oruro-Bolivia, 2017. [Consulta: 07 abril 2021]. Disponible en: http://quimica.fni.uto.edu.bo/images/docspdf/Obtenci%C3%B3n_del_Biol.pdf

GUERRERO NÚÑEZ, Mayra Anabell. Evaluación del uso de tres formulaciones de biol en la producción de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad Cecilia (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Cevallos-Ecuador, 2017. pp. 08-13. [Consulta: 03 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26395/1/Tesis-176%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20522.pdf>

GUTIÉRREZ ARCE, Felipe; et al. “Elaboración de abono orgánico (biol) para su utilización en la producción de alfalfa (*Medicago Sativa V. Vicus*) en Cajamarca”. *Perspectiva* [en línea], 2019, (Cajamarca-Uruguay) 20(4), pp. 441-447. [Consulta: 05 abril 2021]. ISSN 1996-5389. Disponible en: <https://revistas.upagu.edu.pe/index.php/PE/article/view/658/601>

ICHARIBA, Simona. *La planta conocida como “milagrosa” que equilibra las hormonas y adelgaza 2kg por semana, Bioguia* [blog]. 2019. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en:

https://www.bioguia.com/salud/planta-conocida-milagrosa-equilibra-hormonas-adelgaza-2-kg-semana_31985488.html

IGLESIAS JIMÉNEZ, Emeterio & PÉREZ GARCÍA, Víctor. “Determination of maturity indices for city refuse compost”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* [en línea], 1992, (Spain) vol. 38, pp. 331-343. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/5165/1/AEE-1992.pdf>

INFOAGRÓNOMO. *Abonos orgánicos foliares: Recetas para prepararlos*, *PortalFruticola.com* [blog]. 2001. [Consulta: 17 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/07/12/abonos-organicos-foliares-recetas-para-prepararlos/>

KHAN, Sal. *Introducción a la fotosíntesis*, *Khan Academy* [blog]. 2021. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>

LA CAL HERRERA, José Antonio. *Energía de la biomasa y el agua* [en línea]. Málaga-España: Editorial Elearning, S.L., 2020. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=dyH6DwAAQBAJ&pg=PA23&dq=biomasa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjfgLDg8t7vAhU6F1kFHfX0AKkQ6AEwA3oECAQQA#v=onepage&q=biomasa&f=false>

LEÓN TORRES, Carlos Alberto; et al. “Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol”. *Arnaldoa* [en línea], 2019, (La Libertad-Perú) 26(3). [Consulta: 07 abril 2021]. ISSN 2413-3299. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300011&script=sci_arttext

LUJE ASIMBAYA, Jaime Luis. *Elaboración de Bioles producidos a partir de desechos del camal municipal de Cayambe (Sangre y Rumen) (Trabajo de titulación) (Pregrado)*. [En línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito-Ecuador, 2018. pp. 3-11. [Consulta: 04 abril 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15928/3/T-UCE-0004-CAG-039.pdf>

MAG & AGROCALIDAD. *Manual Técnico para el Registro y Control de Fertilizantes Municipales* [en línea]. Quito-Ecuador. 2020. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/ac6.pdf>

MANRIQUE, Silvina M. Biomasa con fines energéticos [en línea]. Buenos Aires-Argentina: edUTecNe, 2017. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/biomasa_con_fines_energeticos/biomasa_Cap_I.pdf

MAZZA, Pablo. Diseño de equipo de ensayo para determinación del potencial de generación de biogás de distintos tipos de biomasa (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Carrera de Ingeniería Electromecánica. Reconquista-Argentina, 2017. pp. 17-35. [Consulta: 30 marzo 2021]. Disponible en: https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2511/Proyecto%20Final_Mazza%20Pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. En la Sierra Centro mejoran producción de mora [en línea]. Quito-Ecuador: Gobierno de la República del Ecuador, 2019. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/en-la-sierra-centro-mejoran-produccion-de-mora/>

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos Municipales [en línea]. Quito-Ecuador: CENTRO DE ARTES GRÁFICAS “EL FUEGO Y LA PALABRA”, 2020. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>

MORETA, Modesto. *El cuy crece en la región central del Ecuador* [Revista Lideres]. 2017. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/cuy-crece-region-central-economia.html>

MURILLO, Amador B. et al. “Changing environmental conditions and applying organic fertilizers in *Origanum vulgare* L”. *Frontiers in Plant Science* [en línea], 2015, (México) vol. 6. [Consulta: 15 abril 2021]. ISSN 1664-462X. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/767/1/murillo_b2015.pdf

NARVAEZ, Yolima & SALTOS, Alejandra. Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogás y bioabono a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil-Ecuador, 2007. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1611/1/997.pdf>

NTE INEN 209:2016. *Fertilizantes y Productos Afines. Definiciones.*

OMS. *Guías para la calidad del agua de consumo humano* [en línea]. 4ta edición. Ginebra, Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018, pp 342-343. [Consulta: 12 agosto 2021]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

PERALTA VERAN, Liliana; et al. “Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico”. *Ecología Aplicada* [en línea], 2016, (Lima) 15(1). [Consulta: 19 julio 2021]. ISSN 1726-2216. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001

PINOS RODRÍGUEZ, Juan M. et al. “Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América”. *Agrociencia* [en línea], 2012, (México) 46(4). [Consulta: 29 marzo 2021]. ISSN 2521-9766. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004

RAMÍREZ BETANCUR, Karol. *Recupere el suelo después de un incendio*, *La Patria.com* [página web]. 2016. [Consulta: 04 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.lapatria.com/tenga-en-cuenta/recupere-el-suelo-despues-de-un-incendio-326659>

RESTREPO RIVERA, Jairo. *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares*, *IICA* [documento pdf]. 2001. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6568/BVE18039763e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROTOPLAS. *Biodigestor, Rotoplas* [página web]. 2020. [Consulta: 04 agosto 2021]. Disponible en: <https://rotoplas.com.mx/productos/tratamiento/biodigestor/>

SORIA FREGOSO, Manuel de Jesús; et al. “Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo”. *Terra* [en línea], 2001, (México) 19(4), pp. 353-362. [Consulta: 20 julio 2021]. ISSN 2386-9968. Disponible en: <https://www.biopasos.com/biblioteca/Biofertilizantes%20biodigestion%20excreta%20liquida%20cerdo.pdf>

TAIPICAÑA PROAÑO, Deysi Maricela. Obtención de biol a partir de desechos orgánicos generados por el ganado bovino del camal municipal del cantón Latacunga (Trabajo de titulación)









(Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador, 2015. pp. 17-34. [Consulta: 03 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4869/1/236T0171.pdf>

VERGARA PÉREZ, Liliana Araceli. Propuesta para diseñar una planta piloto que genere biogás y composta, con residuos de la central de abastos de Puebla (Trabajo de titulación) (Posgrado). [En línea] Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Especialización en gestión e impacto ambiental. Tuxpan-Veracruz, 2018. pp. 20-26. [Consulta: 07 abril 2021]. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50011/VergaraPerezLiliana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZHAÑAY LEMA, Wilma Angélica. Evaluación de dosis de aplicación de un biol optimizado en el cultivo de Zanahoria (*Daucus carota L.*) (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. Cuenca-Ecuador, 2016. pp. 24-27. [Consulta: 03 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24470/1/Tesis.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DEL BIOL.

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(c)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(d)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>(e)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(f)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(g)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(h)</p> </div> </div>						
Notas: (a) Gallinaza. (b) Estiércol de cuy. (c) Estiércol de ratas. (d) Hojas de mora. (e) Microorganismos de montaña. (f) Cáscaras de huevo. (g) Ceniza. (h) Lecha cruda.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA: Por calificar: x	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Gallegos Chilingua Thalía Fernanda	OBTENCIÓN DE BIOL A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES Y ANIMALES EN UN BIORREACTOR COMERCIAL			
			Lámina	Escala	Fecha	
			1	1:1	15 de junio de 2021	

ANEXO B: EQUIPO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DEL BIOL (BIODIGESTOR).



(a)



(b)



(c)



(d)

<p>Notas:</p> <p>(a) Ingreso de la mezcla al biodigestor. (b) Sellado hermético del equipo. (c) Sistema de recolección de muestras. (d) Sistema de recolección del biogás.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p>Por calificar: x</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Gallegos Chilibingua Thalía Fernanda</p>	<p>OBTENCIÓN DE BIOL A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES Y ANIMALES EN UN BIORREACTOR COMERCIAL</p>			
			Lámina	Escala	Fecha	
			2	1:1	15 de junio de 2021	

ANEXO C: CONTROL DE PARÁMETROS DURANTE EL PROCESO FERMENTATIVO.

BIOL					
PARÁMETRO	INICIO	1° mes	2° mes	3° mes	4° mes
Temperatura (C)	20	30	25	21	22
pH	7,08	6,72	6,62	6,61	6,6
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	22,05	20,29	20,83	21,51	22,19
DBO (mgL ⁻¹)	8400	23400	27200	17300	36400
DQO (mgL ⁻¹)	12700	39400	46200	26900	60350

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

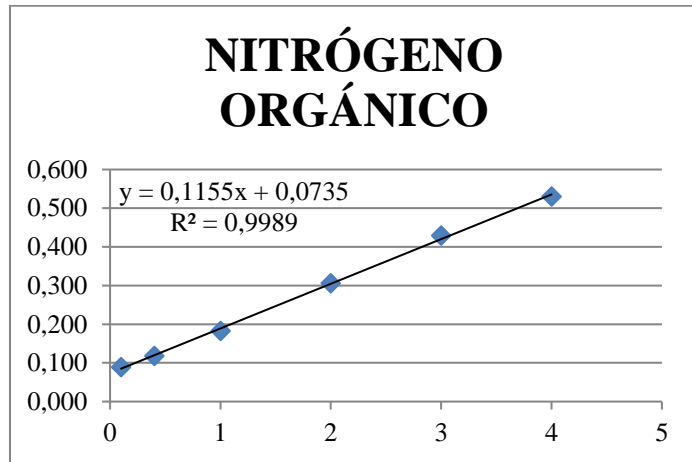
ANEXO D: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO.

Curva de calibración Nt

X	Y
ppm	Abs
0,1	0,089
0,4	0,118
1	0,182
2	0,306
3	0,429
4	0,530

PENDIENTE 0,11552
INTERSECCION 0,0735

nm 440



Cálculos de NT

SECCIÓN	M	V	V.EXT	ABS	FD	mg/L	mg/L	%	N total %
SUPERIOR	11	10	100	0,426	500	1525,66	15256,61	1,53	1,695
	12	10	100	0,393	500	1382,83	13828,33	1,38	1,536
	13	10	100	0,491	500	1806,99	18069,89	1,81	2,008
	14	10	100	0,447	500	1616,55	16165,52	1,62	1,796
	15	10	100	0,375	1000	2605,96	26059,58	2,61	2,896
MEDIO	21	10	100	0,347	1000	2367,91	23679,12	2,37	2,631
	22	10	100	0,351	1000	2406,00	24059,99	2,41	2,673
	23	10	100	0,342	1000	2325,06	23250,63	2,33	2,583
	24	10	100	0,359	1000	2467,89	24678,91	2,47	2,742
	25	10	100	0,343	1000	2329,82	23298,24	2,33	2,589
FONDO	31	10	100	0,552	2000	8279,86	82798,63	8,28	9,200
	32	10	100	0,444	2000	6420,7182	64207,18	6,42	7,134
	33	10	100	0,318	2000	4236,8773	42368,77	4,24	4,708
	34	10	100	0,280	2000	3566,5377	35665,38	3,57	3,963
	35	10	100	0,257	2000	3173,7605	31737,61	3,17	3,526
HOMOGENIZADO	41	10	100	0,459	1000	3336,9783	33369,78	3,34	3,708
	42	10	100	0,526	1000	3916,9468	39169,47	3,92	4,352
	43	10	100	0,511	1000	3787,1031	37871,03	3,79	4,208
	44	10	100	0,521	1000	3873,6655	38736,66	3,87	4,304
	45	10	100	0,485	1000	3562,0407	35620,41	3,56	3,958

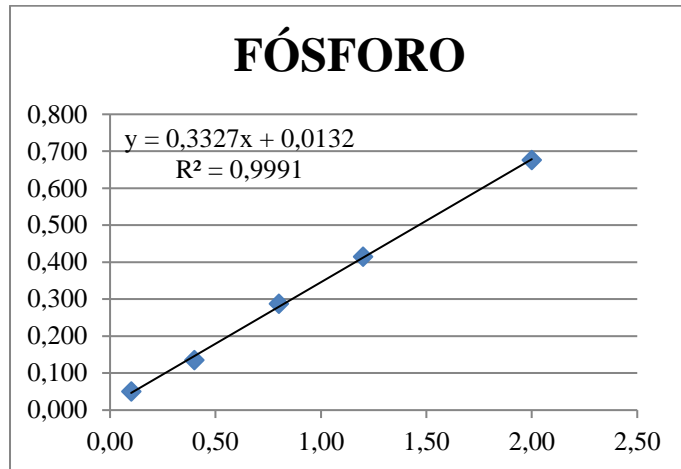
Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO.

Curva de calibración P₂O₅

X	Y
ppm	Abs
0,10	0,050
0,40	0,135
0,80	0,287
1,20	0,415
2,00	0,676

PENDIENTE 0,33268
INTERSECCIÓN 0,01318



nm 880

Cálculos de P₂O₅

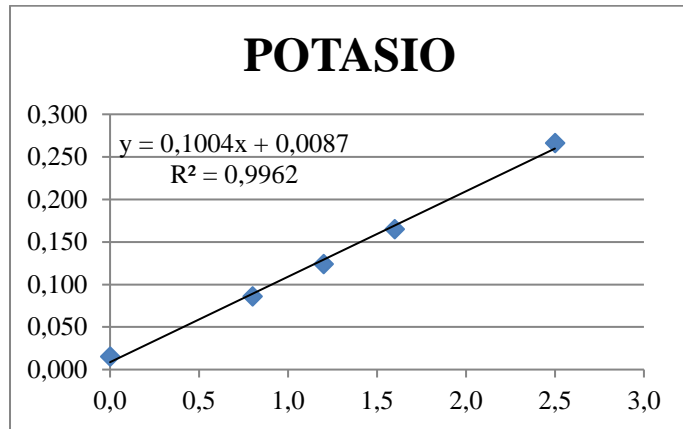
SECCION	M	V	V.EXT	ABS	FD	mg/L	mg/L	%	P ₂ O ₅ %
SUPERIOR	11	10	100	0,132	500	178,57	1785,69	0,18	0,41
	12	10	100	0,121	500	162,04	1620,37	0,16	0,37
	13	10	100	0,119	500	159,03	1590,31	0,16	0,36
	14	10	100	0,101	500	131,98	1319,78	0,13	0,30
	15	10	100	0,0945	500	122,21	1222,09	0,12	0,28
MEDIO	21	10	100	0,189	500	264,24	2642,37	0,26	0,61
	22	10	100	0,205	500	288,28	2882,84	0,29	0,66
	23	10	100	0,187	500	261,23	2612,31	0,26	0,60
	24	10	100	0,212	500	298,80	2988,04	0,30	0,68
	25	10	100	0,216	500	304,82	3048,16	0,30	0,70
FONDO	31	10	100	0,428	1000	1246,88	12468,78	1,25	2,86
	32	10	100	0,380	1000	1102,60	11025,96	1,10	2,53
	33	10	100	0,369	1000	1069,53	10695,31	1,07	2,45
	34	10	100	0,392	1000	1138,67	11386,66	1,14	2,61
	35	10	100	0,421	1000	1225,84	12258,37	1,23	2,81
HOMOGENIZADO	41	10	100	0,368	500	533,26	5332,63	0,53	1,22
	42	10	100	0,401	500	582,86	5828,60	0,58	1,34
	43	10	100	0,311	500	447,60	4475,95	0,45	1,03
	44	10	100	0,371	500	537,77	5377,72	0,54	1,23
	45	10	100	0,386	500	560,32	5603,16	0,56	1,28

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

ANEXO F: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POTASIO.

Curva de calibración K₂O

X	Y
mg/L	Abs
0,0	0,015
0,8	0,086
1,2	0,124
1,6	0,165
2,5	0,266



PENDIENTE 0,1004
INTERSECCIÓN 0,0087

nm 880

Cálculos de K₂O

SECCION	M	V	V.EXT	ABS	FD	mg/L	mg/L	%	K ₂ O %
SUPERIOR	11	10	100	0,266	3000	7686,72	76867,16	7,69	9,26
	12	10	100	0,228	3000	6551,59	65515,88	6,55	7,89
	13	10	100	0,264	3000	7626,97	76269,72	7,63	9,19
	14	10	100	0,260	3000	7507,49	75074,85	7,51	9,04
	15	10	100	0,257	3000	7417,87	74178,70	7,42	8,94
MEDIO	21	10	100	0,171	4500	7273,35	72733,45	7,27	8,76
	22	10	100	0,256	3000	7388,00	73879,98	7,39	8,90
	23	10	100	0,218	3000	6252,87	62528,71	6,25	7,53
	24	10	100	0,263	3000	7597,10	75971,01	7,60	9,15
	25	10	100	0,216	3000	6193,13	61931,27	6,19	7,46
FONDO	31	10	100	0,196	3000	5595,69	55956,91	5,60	6,74
	32	10	100	0,205	3000	5864,54	58645,37	5,86	7,06
	33	10	100	0,217	3000	6223,00	62229,99	6,22	7,50
	34	10	100	0,220	3000	6312,61	63126,14	6,31	7,60
	35	10	100	0,196	3000	5595,69	55956,91	5,60	6,74
HOMOGENIZADO	41	10	100	0,242	3000	6969,79	69697,93	6,97	8,40
	42	10	100	0,251	3000	7238,64	72386,39	7,24	8,72
	43	10	100	0,246	3000	7089,28	70892,80	7,09	8,54
	44	10	100	0,243	3000	6999,67	69996,65	7,00	8,43
	45	10	100	0,242	3000	6969,79	69697,93	6,97	8,40

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

ANEXO G: VALORES DEL pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL BIOL.

SECCIÓN	MUESTRA	pH	CONDUCTIVIDAD
SUPERIOR	11	6,62	25,17
	12	6,62	25,24
	13	6,65	24,96
	14	6,69	25,2
	15	6,66	25,21
MEDIO	21	6,48	21,97
	22	6,48	22,2
	23	6,47	24,59
	24	6,49	25,05
	25	6,48	21,64
FONDO	31	6,42	20,52
	32	6,39	21,4
	33	6,44	21
	34	6,4	20,67
	35	6,35	21,5
HOMOGENIZADO	41	6,63	25,12
	42	6,66	24,97
	43	6,62	25,18
	44	6,63	25,21
	45	6,64	25,09

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

ANEXO H: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL BIOL.

EXAMEN MICROBIOLÓGICO



CLIENTE: Thalia Gallegos
TIPO DE MUESTRA: Biol
FECHA DE RECEPCION: 16 de Junio del 2021
FECHA DE MUESTREO: 16 de Junio del 2021

EXAMEN FISICO

COLOR: Característico
OLOR: Característico
ASPECTO: Normal, libre de material extraño

Determinación	Unidades	Método de ensayo	Resultados
Coliformes totales	UFC/ml	Siembra en masa	$8.8 \cdot 10^4$
Coliformes fecales	UFC/ml	Siembra en masa	$8.0 \cdot 10^3$
Mohos	UFC/ml	Siembra en masa	$5.6 \cdot 10^4$
Levaduras	UFC/ml	Siembra en masa	AUSENCIA

RESPONSABLE:



Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra es receptada en laboratorio.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



ANEXO I: RESULTADOS ANÁLISIS ANOVA.

Ordenamiento de datos para procesamiento:

MUESTRAS	ETAPAS	%NT	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	pH	CE
1	Superior	1,6952	0,4092	9,2594	6,62	25,17
1	Medio	2,6310	0,6055	8,7615	6,48	21,97
1	Fondo	9,1998	2,8571	6,7406	6,42	20,52
1	Homogenizado	3,7078	1,2219	8,3958	6,63	25,12
2	Superior	1,5365	0,3713	7,8920	6,62	25,24
2	Medio	2,6733	0,6606	8,8996	6,48	22,20
2	Fondo	7,1341	2,5265	7,0644	6,39	21,40
2	Homogenizado	4,3522	1,3356	8,7197	6,66	24,97
3	Superior	2,0078	0,3644	9,1875	6,65	24,96
3	Medio	2,5834	0,5986	7,5322	6,47	24,59
3	Fondo	4,7076	2,4507	7,4962	6,44	21,00
3	Homogenizado	4,2079	1,0256	8,5397	6,62	25,18
4	Superior	1,7962	0,3024	9,0435	6,69	25,20
4	Medio	2,7421	0,6847	9,1515	6,49	25,05
4	Fondo	3,9628	2,6091	7,6042	6,40	20,67
4	Homogenizado	4,3041	1,2322	8,4318	6,63	25,21
5	Superior	2,8955	0,2800	8,9356	6,66	25,21
5	Medio	2,5887	0,6985	7,4602	6,48	21,64
5	Fondo	3,5264	2,8089	6,7406	6,35	21,50
5	Homogenizado	3,9578	1,2839	8,3958	6,64	25,09

Realizado por: Gallegos Thalía, 2021.

Resultados InfoStat para el Nitrógeno:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%NT	20	0,68	0,50	36,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	44,82	7	6,40	3,71	0,0227
SECCIONES	41,05	3	13,68	7,93	0,0035
MUESTRAS	3,77	4	0,94	0,55	0,7052
Error	20,72	12	1,73		
Total	65,54	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,46721

Error: 1,7265 gl: 12

SECCIONES	Medias	n	E.E.
Fondo	5,71	5	0,59 A
Homogenizado	4,11	5	0,59 A B
Medio	2,64	5	0,59 B
Inicio	1,99	5	0,59 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Continuación ANEXO I

Resultados InfoStat para el Fósforo:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
%P2O5	20	0,99	0,99	8,56	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,75	7	2,25	207,51	<0,0001
SECCIONES	15,68	3	5,23	482,05	<0,0001
MUESTRAS	0,07	4	0,02	1,60	0,2366
Error	0,13	12	0,01		
Total	15,88	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19553

Error: 0,0108 gl: 12

SECCIONES	Medias	n	E.E.	
Fondo	2,65	5	0,05	A
Homogenizado	1,22	5	0,05	B
Medio	0,65	5	0,05	C
Inicio	0,35	5	0,05	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Resultados InfoStat para el Potasio:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
%K2O	20	0,72	0,56	6,67	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,46	7	1,35	4,50	0,0113
SECCIONES	8,50	3	2,83	9,44	0,0018
MUESTRAS	0,96	4	0,24	0,80	0,5505
Error	3,60	12	0,30		
Total	13,06	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,02902

Error: 0,3003 gl: 12

SECCIONES	Medias	n	E.E.	
Inicio	8,86	5	0,25	A
Homogenizado	8,50	5	0,25	A
Medio	8,36	5	0,25	A
Fondo	7,13	5	0,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Continuación ANEXO I

Resultados InfoStat para el pH:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	20	0,96	0,94	0,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	7	0,03	46,16	<0,0001
SECCIONES	0,22	3	0,07	107,24	<0,0001
MUESTRAS	9,8E-04	4	2,5E-04	0,36	0,8339
Error	0,01	12	6,9E-04		
Total	0,23	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04914

Error: 0,0007 gl: 12

SECCIONES	Medias	n	E.E.	
Inicio	6,65	5	0,01	A
Homogenizado	6,64	5	0,01	A
Medio	6,48	5	0,01	B
Fondo	6,40	5	0,01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Resultados InfoStat para la Conductividad eléctrica:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	20	0,87	0,80	3,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	60,36	7	8,62	11,61	0,0002
SECCIONES	58,20	3	19,40	26,13	<0,0001
MUESTRAS	2,16	4	0,54	0,73	0,5895
Error	8,91	12	0,74		
Total	69,27	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,61801

Error: 0,7425 gl: 12

SECCIONES	Medias	n	E.E.	
Inicio	25,16	5	0,39	A
Homogenizado	25,11	5	0,39	A
Medio	23,09	5	0,39	B
Fondo	21,02	5	0,39	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)