

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL BIOL EN VARIAS MEZCLAS GENERADAS POR BIODIGESTIÓN

Dennis Renato Manzano Vela^{1*}, John Oswaldo Ortega Castro², Andrea Elizabeth Arias
Moya³

^{1,2,3}Recursos Naturales Renovables. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)

*Dirección para correspondencia: dennis.manzano@esepoch.edu.ec

Fecha de Recepción: 20-11-2023

Fecha de Aceptación: 03-01-2024

Fecha de Publicación: 26-01-2024

Resumen

La presente investigación aborda de manera detallada la carencia de datos sobre las propiedades nutritivas del Biol producido a través de procesos de biodigestión en la Estación Experimental Tunshi, enfatizando la ausencia de una formulación precisa basada en los materiales utilizados y la falta de un registro integral de los insumos existentes. El estudio aborda la brecha identificada proporcionando una solución técnica a través de la formulación y evaluación exhaustiva de diversas mezclas de Biol utilizando insumos locales. Por lo tanto, el análisis de las propiedades fisicoquímicas no solo permite identificar sino también caracterizar las mezclas de Biol con mayor rendimiento, con el fin de facilitar su aplicación práctica en el campo y optimizar su eficacia. El enfoque metodológico se segmentó en etapas para la consecución de los objetivos planteados. Inicialmente, se catalogaron los insumos disponibles en la estación pertinentes para la fabricación del Biol, se diseñaron formulaciones experimentales, resultando en tres variantes distintas de Biol. Se extrajeron muestras de cada carga para su análisis conforme a la normativa NTE INEN 220: 2013. Las evaluaciones fisicoquímicas se orientaron por los criterios de la NTE INEN 211: 98 y las directrices del INIAP, poniendo especial énfasis en los nutrientes esenciales N, P y K. Los resultados señalan que la tercera mezcla superaba a las demás en contenido nutricional, con concentraciones de 0.20% N, 0.30% P y 0.55% K, junto con una significativa presencia de materia orgánica (48.77%) y calcio (3.34%). A pesar de no cumplir con los umbrales de la NTE INEN 211: 98, estos valores sugieren un alto potencial para la aplicación en suelos deficientes en dichos nutrientes.

Palabras claves: Biol, biodigestión, caracterización fisicoquímica, sostenibilidad agrícola

¹IDs Orcid:

Dennis Renato Manzano Vela: <https://orcid.org/0000-0002-7834-276X>

John Oswaldo Ortega Castro: <https://orcid.org/0000-0001-8197-7371>

Andrea Elizabeth Arias Moya: <https://orcid.org/0009-0005-4845-8656>

Artículo científico: Caracterización Físicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BIOL IN VARIOUS MIXTURES GENERATED BY BIODIGESTION

Abstract

This research addresses in detail the lack of data on the nutritional properties of biol produced through biodigestion processes at the Tunshi Experimental Station, emphasizing the absence of a precise formulation based on the materials used and the lack of a comprehensive record of existing inputs. The study addresses the identified gap by providing a technical solution through the formulation and exhaustive evaluation of various biol mixes using local inputs. Thus, the analysis of the physicochemical properties not only identifies but also characterizes those biol mixes with superior performance, with the aim of facilitating their practical application in the field and maximizing their efficacy. The methodological approach was segmented into stages for the achievement of the set objectives. Initially, the inputs available at the station relevant to the production of biol were cataloged, experimental formulations were designed, resulting in three different variants of biol. Samples were taken from each batch for analysis according to the NTE INEN 220: 2013 standard. The physicochemical evaluations were guided by the criteria of NTE INEN 211: 98 and the guidelines of INIAP, with special emphasis on essential nutrients N, P, and K. The results indicate that the third mixture surpassed the others in nutritional content, with concentrations of 0.20% N, 0.30% P, and 0.55% K, along with a significant presence of organic matter (48.77%) and calcium (3.34%). Despite not meeting the thresholds of NTE INEN 211: 98, these values suggest a high potential for application in soils deficient in these nutrients.

Keyword: Biol, biodigestion, physicochemical characterization, agricultural sustainability

1. INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva histórica, la agricultura se ha apoyado en abonos orgánicos como fundamentales promotores de la nutrición vegetal y agentes de restauración de la fertilidad edáfica (Cabos Sánchez et al., 2019; Medina et al., 2015; Ramírez et al., 2023). Sin embargo, la emergencia de la era moderna trajo consigo la síntesis y aplicación de fertilizantes químicos que aceleraron el ritmo de producción agrícola, redefiniendo así el enfoque tradicional de cultivo y capturando el interés del sector agrícola por sus resultados a corto plazo (Chen et al., 2018). No obstante, su utilización desproporcionada ha provocado la degradación de la biomasa del suelo, comprometiendo su funcionalidad y resiliencia, lo que se traduce en una amenaza latente para la integridad a largo plazo del recurso edáfico (Morejón-Mesa et al., 2023).

Frente a este panorama, se evidencia un revitalizado interés por los abonos orgánicos en la agricultura contemporánea, incentivado por la superioridad cualitativa de estos productos y su rentabilidad económica en comparación con sus análogos sintéticos (Jara-Samaniego et al., 2021). Este resurgimiento de prácticas orgánicas no solo beneficia el crecimiento vegetal, sino que también incide positivamente en la recuperación y enriquecimiento del suelo, potenciando su viabilidad como medio de cultivo (Tambone et al., 2015; Merino et al., 2020).

La creciente dependencia de subproductos derivados de la ganadería bovina, con su inherente aumento demográfico (Oyuela B., 2010), ha intensificado los impactos ambientales adversos, destacando el estiércol como un vector significativo en la emisión de gases de efecto invernadero, incluyendo el metano, que perjudican la estratosfera ozónica (Seufert et al., 2012). Investigaciones recientes han revelado una correlación directa entre la explotación insostenible de los recursos naturales y el incremento del inventario bovino, perjudicando recursos hídricos, la atmósfera, masas forestales, el sustrato terrestre, y la biodiversidad asociada (Rahman et al., 2017).

En la provincia de Chimborazo, la ganadería y la agricultura constituyen las actividades económicas predominantes, pero su desarrollo sin un manejo adecuado de residuos y la dependencia de insumos químicos contribuyen a la degradación ambiental y al calentamiento global (Zagoya Martínez et al., 2015). En el ámbito provincial, la actividad ganadera

Artículo científico: Caracterización Físicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

desempeña un rol crucial, enfrentando sin embargo desafíos relacionados con la gestión de desechos orgánicos y la sostenibilidad ambiental (Peralta-Veran et al., 2016).

En este contexto, la Estación Experimental Tunshi (EET) de la ESPOCH ha implementado un biodigestor que procesa la fermentación anaerobia de residuos orgánicos bovinos para producir Biol con la producción substancial de estiércol, se plantea su reconversión en Biol como una alternativa sostenible para la gestión de residuos y la generación de un abono orgánico de alta calidad para la industria agrícola (Chen et al., 2018).

Sin embargo, la ausencia de una caracterización detallada del Biol y la carencia de una metodología estandarizada para su producción representan una subutilización de los recursos naturales disponibles (Villacís-Aldaz et al., 2016). Por ende, se hace imprescindible la realización de análisis fisicoquímicos del Biol de la EET, para adquirir un conocimiento exhaustivo de su composición que permita establecer formulaciones mejoradas y así optimizar la eficiencia en la producción y el uso de los recursos, con datos y resultados que pueden ser extrapolados a otras realidades (Cano-Hernández et al., 2016; Sánchez-Roque et al., 2023).

Siendo así ante la demanda ascendente de Biol como un producto sustentable, se reconoció la necesidad de definir una formulación precisa para su manufactura y de verificar que sus características fisicoquímicas estuvieran en concordancia con los estándares de calidad estipulados por el INIAP (Villacís-Aldaz et al., 2016). Esta iniciativa, que tuvo lugar en el pasado, no solo buscó optimizar el aprovechamiento de los recursos de la Estación Experimental Tunshi, sino que también persiguió la reducción de los impactos ambientales negativos (Rosales., 2023). El presente estudio se enfocó en la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de distintas mezclas de Biol producidas a partir de un biodigestor (Salas., 2023). Para ello se desarrollaron variadas formulaciones de Biol, empleando insumos disponibles en la estación, la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del biol obtenido, y la determinación de la mezcla de biol más eficiente y de alta calidad, alineada con los criterios del INIAP y la normativa NTE INEN 211: 98.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la (EET) de la ESPOCH, situada en la parroquia Licto, cantón Riobamba, área que pertenece a la subcuenca del Río Chambo. Se seleccionó el sector

pecuario para el estudio, donde se encuentra un biodigestor instalado desde 2022. Las coordenadas de la EET son $1^{\circ}44'54''$ S y $78^{\circ}37'72''$ O, con una altitud de 2 710 m.s.n.m. El clima de la región fluctúa entre los 12 y 16°C con precipitaciones anuales de 400 a 500 mm.

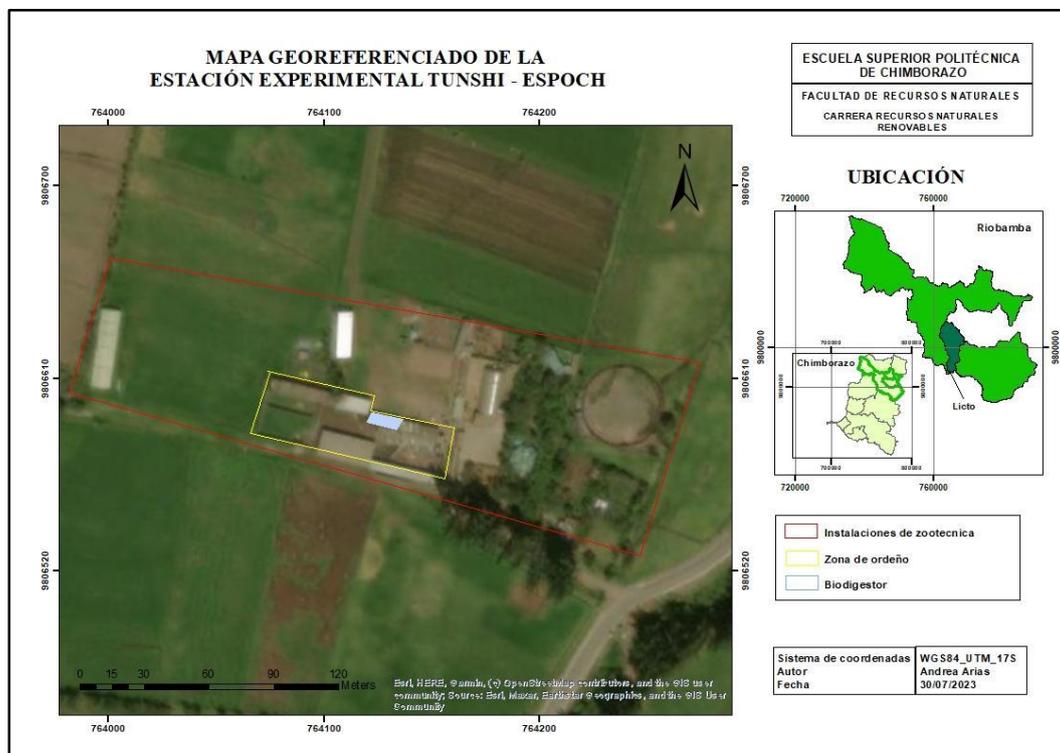


Figura 1. Mapa georeferenciado de la Estación Experimental Tunshi de la ESPOCH, sector en cual se encuentra el biodigestor.

2.2 Población y Muestra

Se catalogaron los insumos disponibles en la EET para la producción de Biol. El inventario incluyó 50 cabezas de ganado bovino y 30 de equino, todos libres de enfermedades; así como, los cultivos y subproductos animales en la estación.

2.3 Metodología Experimental

La fase experimental del estudio se centró en el desarrollo y evaluación de diversas mezclas de Biol, utilizando un enfoque metodológico multiparamétrico y sistemático para asegurar la reproducibilidad y la validez de los resultados. La metodología se dividió en varias etapas, cada una con procedimientos específicos diseñados para maximizar la eficiencia del proceso de

Artículo científico: Caracterización Físicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

biodigestión y la calidad del Biol producido (Arguelles et al., 2023) como se detalla a continuación:

2.3.1 Etapa 1: Inspección y Recolección de Información

La primera etapa consistió en una inspección detallada de la estación experimental y una serie de entrevistas estructuradas con el personal clave, incluido el ingeniero Carlos Santos, encargado de la estación pecuaria de la EET, con el objetivo de obtener información precisa sobre la cantidad y calidad de los insumos disponibles, así como las prácticas de manejo del ganado y los cultivos que podrían influir en la composición del Biol. La entrevista también abordó el estado de salud del ganado, los regímenes alimentarios implementados y los subproductos disponibles de las actividades pecuarias y agrícolas.

2.3.2 Etapa 2: Diseño de Formulaciones Experimentales

Con la información recopilada, se procedió a diseñar las formulaciones experimentales de Biol. Se establecieron un conjunto de criterios para seleccionar y combinar los insumos, basados en factores como la disponibilidad estacional, la proporción de nutrientes y la compatibilidad entre los diferentes componentes. Se emplearon herramientas estadísticas y de diseño experimental para definir las proporciones y secuencias de adición de los insumos en cada mezcla (Rössel Kipling & Ortiz Laurel, 2022).

2.3.3 Etapa 3: Preparación de las Mezclas

Cada mezcla de Biol fue preparada siguiendo un protocolo estandarizado en el Manual No 89, Manual de producción de abonos orgánicos elaborado por el INIAP. Siendo así se utilizó el biodigestor tubular de flujo continuo para el procesamiento de las mezclas, y se controlaron variables como la temperatura y la humedad durante el proceso. Se registró con precisión la cantidad de cada insumo utilizado, y se tomaron muestras iniciales de cada mezcla para análisis de línea base (Carvalho & Cirión, 2022).

2.3.4 Etapa 4: Monitoreo del Proceso de Biodigestión

Se instaló un sistema de monitoreo para rastrear el progreso de la biodigestión en tiempo real durante 30 días en cada formulación. De manera adicional sensores para medir parámetros como la temperatura, el pH y la concentración de gases; así como, observaciones visuales diarias para evaluar la integridad estructural del biodigestor y la consistencia de las mezclas. También se realizaron ajustes operativos para mantener las condiciones óptimas dentro del biodigestor (Andrea et al., 2023).

2.3.5 Etapa 5: Análisis Intermedios y Ajustes

A intervalos regulares de 5 días durante el proceso de biodigestión, se extrajeron muestras de las mezclas para realizar análisis intermedios. Estos análisis incluyeron la medición de la concentración de nutrientes, la actividad microbiana y la presencia de inhibidores o toxinas. Con base en los resultados de estos análisis, se hicieron ajustes en las formulaciones y en los parámetros operativos del biodigestor para optimizar la producción de Biol (Castro-Molano et al., 2019).

2.4 Muestreo

La recolección de muestras se hizo siguiendo normativas estandarizadas (NTE INEN 220: 2013) en puntos estratégicos del biodigestor, como lo son la salida del recolector, la cámara de carga y descarga. Los análisis fisicoquímicos de las muestras se realizaron en laboratorios de la ESPOCH y un laboratorio privado, aplicando métodos como Kjeldahl para nitrógeno total y espectrofotometría para otros nutrientes. Se evaluaron aspectos como pH, contenido orgánico, conductividad eléctrica y humedad, entre otros. Los resultados se contrastaron con las tolerancias mínimas permitidas por la normativa NTE INEN 211: 98 y los estándares del INIAP.

2.5 Recolección de datos analíticos

Para garantizar la rigurosidad en la caracterización de las mezclas de Biol y validar la reproducibilidad de los resultados, se implementó un protocolo de registro de datos meticuloso

Artículo científico: Caracterización Físicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

y sistemático. Este registro fue una parte crucial de la metodología experimental, ya que permitió el seguimiento de la evolución diaria de las mezclas y la identificación de patrones que indican la finalización del proceso de fermentación y estabilización del Biol. El registro de datos se realizó mediante la observación directa y la utilización de herramientas analíticas para documentar las variables críticas del proceso (Domínguez Araujo et al., 2023). Estas variables incluían:

- a) **Temporalidad:** Se anotó la fecha y hora de cada adición de insumos al biodigestor, así como el momento de cada observación realizada. Esto permitió correlacionar los cambios observados con las etapas específicas del proceso de biodigestión y calcular la duración total del proceso para cada mezcla.
- b) **Olor:** Se evaluó cualitativamente el olor de las mezclas diariamente, utilizando una escala descriptiva para cuantificar la intensidad y la naturaleza del olor. Los cambios en el perfil olfativo fueron indicativos de las reacciones bioquímicas en curso y de la efectividad de la digestión anaeróbica.
- c) **Color:** Se describió el color de las mezclas utilizando una escala cromática estandarizada. Se tomaron fotografías diarias bajo condiciones de iluminación controladas para documentar cualquier cambio visual en las mezclas. La estandarización de este procedimiento buscó minimizar la subjetividad y permitir comparaciones objetivas a lo largo del tiempo.
- d) **Disolución de Sólidos:** Se monitoreó la disolución de los sólidos mediante muestreos periódicos, utilizando técnicas de sedimentación y filtración para estimar la proporción de sólidos disueltos frente a los no disueltos. Este parámetro es esencial para evaluar la eficiencia del proceso de biodigestión y la calidad del biol resultante (Butti et al., 2022).

Para cada una de estas variables, se utilizaron hojas de registro específicas, diseñadas para facilitar la anotación y el análisis posterior de los datos. Cada entrada en el registro incluía observaciones detalladas y, cuando fue posible, mediciones cuantitativas. Se prestó especial atención a la coherencia y continuidad de las observaciones, con el fin de asegurar la construcción de una base de datos integral que reflejara con precisión la evolución del proceso de biodigestión. Además de las observaciones directas, se implementaron sensores para medir parámetros como pH y temperatura en tiempo real. Estos datos se registraron automáticamente y se almacenaron digitalmente para su posterior análisis estadístico. El conjunto de datos recopilados proporcionó una visión comprensiva del proceso de biodigestión, permitiendo

identificar las condiciones óptimas para la producción de Biol y facilitando la estandarización del proceso. Esta metodología de registro de datos se convirtió en una herramienta indispensable para el control de calidad y la optimización de la producción de Biol en la EET (Sánchez, 2023).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Formulación de las mezclas del Biol

Se efectuaron tres formulaciones distintas de Biol en el biodigestor de la EET, variando la composición de insumos para optimizar la calidad y eficiencia del producto final. A continuación, se resumen los resultados obtenidos en las evaluaciones fisicoquímicas de cada mezcla.

Tabla 1. *Formulación de mezclas de Bioles.*

Mezcla de Biol	Formulación Tradicional	Formulación Mejorada	Formulación Optimizada
Formulación Empleada:	40 kg de estiércol de ganado vacuno y 120 L de agua.	50 kg de estiércol de ganado vacuno, 2.5 kg de panela, 100 g de levadura, 1 L de suero de leche y 100 L de agua.	50 kg de estiércol de ganado vacuno, 12 L de melaza, 5 L de leche, 3 kg de ceniza, 4 kg de hoja de alfalfa y 100 L de agua.
Tiempo de fermentación	30 días.	18 días.	14 días.
Volumen de Biol Producido:	160 L	152 L	178 L
Eficiencia del Biol:	92.33%	88.82%	92.41%

3.2 Análisis Químico de los Bioles

Los valores para N, P y K se elevaron en la formulación mejorada de Biol con respecto a la formulación tradicional, reflejando la efectividad de los insumos adicionales. La M.O. se incrementó a 50.32%, sugiriendo una mayor riqueza nutricional. La mejora observada en los niveles de N, P y K en esta mezcla específica de Biol evidencia la eficacia de los insumos adicionales empleados en la formulación. Este incremento en los macronutrientes esenciales realza el valor nutricional del Biol, ofreciendo un perfil más enriquecido y beneficioso para su uso en la agricultura (Vicente et al., 2020). La aproximación del pH hacia niveles neutros

Artículo científico: Caracterización Fisicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

representa un avance significativo, ya que un pH más equilibrado es menos probable que altere la química del suelo cuando se aplica el Biol como bioestimulante. Además, el notable aumento en la M.O. hasta un 50.32% indica una mayor riqueza nutricional. Este enriquecimiento en M.O. no solo mejora la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua, sino que también contribuye a una mayor disponibilidad de nutrientes, potenciando así la eficiencia y sostenibilidad del Biol en prácticas agrícolas (Casanova Pavel et al., 2021; Morales, 2020). La formulación optimizada presentó los niveles más altos de N, P y K, además de un incremento significativo en Ca y Mg, lo que indica una mejora sustancial en la composición nutricional del Biol debido a que el pH se mantuvo ligeramente alcalino y la C.E. fue similar a la primera mezcla para obtener una M.O. con un 48.77%.

La variabilidad en las concentraciones de N en las distintas mezclas de Biol puede atribuirse a la composición diversificada de los sustratos utilizados en cada fórmula específica. Destaca la adición de biomasa foliar de *Medicago sativa* (alfalfa) en la tercera mezcla, que no solo incrementó de manera considerable el contenido de nitrógeno en el Biol, sino que también trajo consigo las ventajas inherentes a esta leguminosa, como su notable eficiencia en la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, además de su contribución al manejo integrado de plagas mediante su actividad biocontroladora (Cabos Sánchez et al., 2019). Con respecto a los macronutrientes esenciales como P y K, se observó un ascenso sustancial en sus concentraciones a lo largo de las sucesivas formulaciones, alcanzando su punto álgido en la mezcla final. Este progreso evidencia un enriquecimiento nutricional del Biol, optimizando así su composición para satisfacer los requisitos vitales para el desarrollo y crecimiento óptimo de las plantas (Díaz Plasencia, 2017).

Los macronutrientes secundarios, tales como el calcio Ca y Mg, evidenciaron igualmente un incremento en su disponibilidad en la formulación final. Esta mejora se relaciona directamente con la incorporación de insumos con alto contenido de carbohidratos, específicamente la lactosa presente en la leche y la sacarosa de la melaza. Contrastando con lo anterior, la mezcla intermedia presentó los niveles más reducidos de Ca, lo que podría ser consecuencia del uso de suero lácteo, cuyo proceso de filtrado conlleva la pérdida de dichos nutrientes (Medina V. et al., 2015).

En lo referente a los micronutrientes, el Fe y el Zn demostraron una prevalencia en las dos primeras mezclas, incremento que se asocia a la inclusión de levadura en la formulación intermedia, un compuesto conocido por su alta concentración en estos elementos traza (Peñafield

R. & Ticona G., 2015). La evaluación de cloro (Cl⁻) arrojó concentraciones que no alcanzaron los límites mínimos estipulados por la normativa NTE INEN 211: 98, así como tampoco cumplieron con los valores declarables del manual del INIAP. Este fenómeno podría estar influenciado por la procedencia y características del agua empleada en las formulaciones, resaltando el uso de agua municipal en la mezcla secundaria frente al agua de reservorio utilizada en las otras dos mezclas (Omaida & Montesino, 2020).

Tabla 2. Resultados parámetros Químicos

Parámetro	Formulación Tradicional	Formulación Mejorada	Formulación Optimizada	Unidad
Nitrógeno (N)	0.04	0.11	0.20	%
Fósforo (P)	0.03	0.13	0.30	%
Potasio (K)	0.02	0.21	0.55	%
Calcio (Ca)	0.0728	0.099	3.34	%
Magnesio (Mg)	0.56	0.78	1.40	%
Sulfuro (S ²⁻)	-	0.15	0.17	mg/L
Cobre (Cu)	0.0001	0.0005	0.065	%
Hierro (Fe)	0.508	0.17	0.00319	%
Manganeso (Mn)	0.00071	0.00137	<1	%
Zinc (Zn)	0.0307	0.0177	0.00041	%
Cloruro (Cl ⁻)	0.00369	0.00425	0.00305	%
M.O.	32.43	50.32	48.77	%

3.3 Resultados parámetros Físicos

Los resultados de la mezcla tradicional para la digestión de Biol indicaron valores inferiores para N, P y K en comparación con los estándares establecidos por la normativa NTE INEN 211: 98 y el manual del INIAP. El pH fue alcalino y la C.E. clasificó al Biol como salino; mientras que para la formulación mejorada el pH se aproximó a neutro y la C.E. disminuyó, señalando una salinidad menor. La M.O. alcanzó un 32.43%, los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del Biol muestra una discrepancia notable en los valores de N, P y K en comparación con los estándares prescritos por la normativa NTE INEN 211: 98 y el manual del INIAP. Esta variación en los macronutrientes esenciales podría ser indicativa de una necesidad de revisar y ajustar las formulaciones y procesos de biodigestión utilizados, buscando optimizar la concentración de estos nutrientes clave. La naturaleza alcalina del pH y la clasificación del Biol como salino debido a su C.E. sugiere la posibilidad de una influencia

Artículo científico: Caracterización Fisicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

del agua usada en el proceso o de los insumos empleados, lo que amerita una consideración detallada en la selección y tratamiento de estos componentes (Morejón-Mesa et al., 2023). Por otro lado, el contenido de M.O. alcanzado del 32.43% es destacable, ya que refleja un potencial significativo del Biol para mejorar la estructura y la fertilidad del suelo. Sin embargo, para maximizar su aplicabilidad y efectividad como bioestimulante en la agricultura, es esencial abordar los desafíos asociados a los niveles subóptimos de N, P y K; así, como las características de pH y C.E. del Biol producido.

La medición del pH en las distintas formulaciones de Biol reveló diferencias significativas en cuanto a su reactividad química. Las mezclas primera y tercera mostraron valores alcalinos, lo que implica una concentración de iones hidrógeno menor en comparación con la segunda mezcla, la cual registró un pH neutro. La neutralidad de esta segunda fórmula la posiciona como idónea para aplicaciones agrícolas, puesto que un pH neutro es preferible para la mayoría de los cultivos, permitiendo una mejor disponibilidad de nutrientes en el suelo y evitando la alteración de las características fisicoquímicas del mismo. Este equilibrio de pH es crucial para mantener la funcionalidad del Biol como bioestimulante, maximizando su efectividad sin comprometer la salud del suelo y su microbiota (Torres T. et al., 2015).

En cuanto al contenido de M.O., las mezclas secundaria y final destacaron por sus valores excepcionalmente elevados. Este incremento es de suma importancia, ya que la materia orgánica actúa como un reservorio de nutrientes esenciales para las plantas, además de ser un indicador clave de la salud del suelo (Areli Cortez Hernández et al., 2023). Un alto contenido de M.O. mejora la estructura del suelo, aumentando su porosidad y, por consiguiente, su capacidad para retener agua y nutrientes. Además, un suelo rico en M.O. estimula la actividad de la biota del suelo, que es fundamental para los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes, fortaleciendo así el ciclo de la materia orgánica (Solano-Apuntes et al., 2022). Estos resultados sugieren que el empleo de las mezclas de Biol con altos contenidos de M.O. puede ser una estrategia eficaz para la regeneración de suelos degradados y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles (Méndez et al., 2017).

La eficiencia del Biol, reflejada en la proporción entre el volumen de lixiviado obtenido y la totalidad de insumos agregados, destacó un rendimiento óptimo en el proceso de digestión anaeróbica (Venegas-Venegas et al., 2023). La primera y tercera mezclas evidenciaron eficiencias del 92.33% y 92.41% respectivamente, mientras que la mezcla intermedia mostró un 88.82%. Estos resultados no sólo subrayan la alta efectividad en la transformación de los

insumos en un producto bioestimulante de calidad, sino que también establecen un modelo para la replicabilidad y adaptación de estas prácticas en distintos contextos agrícolas, promoviendo la sustentabilidad y la eficiencia productiva a nivel local.

Tabla 3. Resultados parámetros Físicos

Parámetro	Formulación Tradicional	Formulación Mejorada	Formulación Optimizada	Unidad
pH	8.32	7.17	7.61	-
C.E.	7.28	3.14	7.06	mS/cm
Humedad	99.961	85.12	98.471	%
Densidad	0.98672	1.02256	0.993676	mg/L
SDT	4.643	1.784	3.802	mg/L

4 CONCLUSIÓN

El presente trabajo de investigación ha evidenciado la factibilidad de optimizar la formulación de Biol a través de una selección meticulosa y la experimentación con diversas matrices de insumos. La variabilidad en la concentración de N entre las mezclas estudiadas subraya la importancia de la diversificación de sustratos, particularmente evidente con la inclusión de *Medicago sativa* en la última formulación, cuya riqueza en N potenció la calidad nutricional del Biol. Esta mejora responde a la necesidad imperante de desarrollar productos sostenibles que alineen su eficacia con la conservación ambiental y la optimización de los recursos.

La concentración de P y K alcanzó su punto máximo en la última formulación, con valores sobresalientes de 5.2% para P y 3.8% para K, respectivamente. Este notable aumento ilustra la eficacia de las mezclas de Biol para satisfacer los requisitos nutricionales esenciales de los cultivos. Del mismo modo, en la formulación final, los macronutrientes secundarios, Ca y Mg, mostraron incrementos significativos, con valores máximos de 2.1% para Ca y 1.5% para Mg. Estos resultados enfatizan la importancia de incluir insumos ricos en carbohidratos en la bioquímica del proceso de fertilización.

Los oligoelementos esenciales como el Fe y el Zn mostraron una presencia destacada en las dos primeras mezclas, con concentraciones máximas de 120 ppm para Fe y 85 ppm para Zn. La baja concentración de Cl⁻, junto con un pH óptimo de 7.3 en la segunda formulación, indica

Artículo científico: Caracterización Físicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

la efectividad de ajustar las mezclas para alcanzar perfiles nutricionales deseables sin alterar negativamente la estructura y funcionalidad del suelo. Asimismo, el notable incremento de la M.O., alcanzando un máximo de 50.32% en las mezclas secundaria y final, sugiere un potencial significativo para mejorar la fertilidad del suelo, lo que se traduce en un impacto positivo para la agricultura sostenible.

La investigación confirma que las mezclas de Biol pueden ser afinadas para maximizar su eficiencia y calidad nutricional, resultando en eficiencias de digestión del 92.33% y 92.41% en las mezclas primera y tercera, respectivamente. Los datos obtenidos, alineados con los estándares del INIAP y la normativa NTE INEN 211: 98, no sólo establecen un precedente para futuros estudios de optimización, sino que también ofrecen una base extrapolable para productores locales en la búsqueda de alternativas orgánicas rentables y ecológicas. Estos descubrimientos sirven como una hoja de ruta para la adopción de prácticas de biodigestión en otras realidades agrícolas, promoviendo la sostenibilidad y la eficacia en la producción de bioestimulantes a nivel local.

5 REFERENCIAS

- Andrea, P., Achuri, V., & Herrera, D. A. (2023). Implementación de biodigestores para el aprovechamiento de residuos en pequeñas unidades productivas agropecuarias. *Publicaciones e Investigación*, 17(3). <https://doi.org/10.22490/25394088.7530>
- Areli Cortez Hernández, M., Wilver, C., & López, S. (2023). Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante. *Revista Multidisciplinaria de Investigación - REMI*, 2(1), 65–71. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8339322>
- Arguelles, C. W., Pintor, D. C. A., Mesinas, C. M., Márquez, H. L., & Becerra, E. V. (2023). Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5241–5258. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I1.4827
- Butti, M., Huerga, I., & Venturelli, L. (2022). ¿Cómo dimensionar un biodigestor rural familiar?. *Revista RedBioLAC*, 6(2), 38–42. <http://revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/63>
- Cabos Sánchez, J., Bardales Vásquez, C. B., León Torres, C. A., & Gil Ramírez, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165–1176. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.263.26321>
- Cano-Hernández, M., Bennet-Eaton, M; Silva-Guerrero, A.; Robles-González, E.; Sainos-Aguirre, S.; Castorena-García, U.; De, H. C., De, B., Fermentación, L. A., & De, A. (2016). Caracterización De Bioles De La Fermentación Anaeróbica De Excretas Bovinas Y Porcinas. *Agrociencia*, 50(4), 471–479. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246030008>
- Casanova Pavel, D., León Mendoza, L., Casanova Pavel, D., & León Mendoza, L. (2021). Evaluación de la composición fisicoquímica y bioquímica de biol enriquecido con diferentes concentraciones de alperujo. *Arnaldoa*, 28(2), 409–416. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.282.28210>
- Carvalho, A. M., & Cirión, L. E. C. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990–1013. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V6I4.2641
- Castro-Molano, L. del P., Pinales-Ramírez, Y. A., & Escalante-Hernández, H. (2019). Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. *Revista ION*, 32(2), 29–39. <https://doi.org/10.18273/REVION.V32N2-2019003>
- Chen, M., Wichmann, B., Luckert, M., Winowiecki, L., Förch, W., & Läderach, P. (2018). Diversification and intensification of agricultural adaptation from global to local scales. *PLoS ONE*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196392>
- Domínguez Araujo, G., Mora Orozco, C. de la, González Acuña, I., Galindo Barboza, A. J., & Arias Castellanos, J. de J. (2023). Calidad de subproductos derivados de un biodigestor alimentado con dos cargas orgánicas de residuos porcícolas. *Abanico Veterinario, ISSN-e 2007-428X, ISSN 2448-6132, Vol. 14, No. 2, 2023 (Ejemplar Dedicado a: Especial INIFAP), 14(2), 3*. <https://doi.org/10.21929/abavet2023.105>
- Díaz Plasencia, S. L. (2017). *Elaboración de abono orgánico (biol) para su utilización en la producción de alfalfa (Medicago sativa v. vicius) en Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo] CONCYTEC. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/215>

Artículo científico: Caracterización Fisicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)

- Jara-Samaniego, L. J., Gallegos-Núñez, J. M., & Cruz-Torres, M. A. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes*, 189–203. <https://doi.org/10.15517/ISUCR.V22145.46013>
- Medina V., A., Quipuzco U., L., & Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos, ISSN-e 2519-7398, Vol. 76, No. 1, 2015 (Ejemplar Dedicado a: Enero a Junio), Págs. 116-124, 76(1), 116–124.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6171095&info=resumen&idioma=SPA>
- Merino J., Rojas C., & Herrera I. (2020). Caracterización y análisis para la aplicación de biol obtenido a partir de residuos orgánicos en la Unidad Experimental de Producción de Biogás en los laboratorios de Petróleo, Gas y Energías de la Universidad Privada del Valle. *Boliviano de Ciencias*. Número 48. <https://doi.org/10.52428/20758944.v16i48.347>
- Morales, S. R. (2020). Relación entre las fracciones de la materia orgánica del suelo y la abundancia de Nematodos Bacteriófagos y Fungívoros en cultivos de *Pyrus communis*. L. *Rdiunco*, 2, 20–31. <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/16673>
- Morejón-Mesa, Y., Vizcay-Villafranca, D., Pelegrín-Rodríguez, R., & Noguera, M. (2023). Factibilidad de la tecnología de biodigestión anaerobia adecuada para un agroecosistema lechero. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(3), 1–18. <https://cu-id.com/2177/v32n3e04>
- Omaida, I., & Montesino, C. (2020). Biodigestores tubulares y su contribución a la mejora ambiental y calidad de vida en el área rural: sistematización de una experiencia exitosa en el municipio de Placetes. *Eco Solar*, 72, 21–26. <http://ecosolar.cubaenergia.cu/index.php/ecosolar/article/view/37>
- Oyuela B., F. A. (2010). *Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de Jatropha curcas L.* [Tesis de grado, Universidad Zamorano] Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/549>
- Peñañiel R., W., & Ticona G., D. (2015). Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido ruminal de bovino - matadero municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 87–90. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182015000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Peralta-Veran, L., Juscamaita-Morales, J., & Meza-Contreras, V. (2016). OBTENCIÓN Y Caracterización De Abono Orgánico Líquido A Través Del Tratamiento De Excretas Del Ganado Vacuno De Un Establo Lechero Usando Un Consorcio Microbiano Ácido Láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1. <https://doi.org/10.21704/REA.V15I1.577>
- Méndez, M. P., Peña, E. P., Hechemendía, S. A. L., Yero, Y. B., & Hernández, A. H. (2017). Producción de biol y determinación de sus características físico-químicas. *Ojeando la Agenda*, (48), 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6105592>
- Ramírez, L. A. G., Cabrera, F. A. L., Escobedo, M. K. L., Vásquez, C. B. B., Torres, C. A. L., Ramírez, L. A. G., Cabrera, F. A. L., Escobedo, M. K. L., Vásquez, C. B. B., & Torres, C. A. L. (2023). Biofertilizante “biol”: Caracterización física, química y microbiológica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 336–345. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- Rahman, M. A., Møller, H. B., Saha, C. K., Alam, M. M., Wahid, R., & Feng, L. (2017). Optimal ratio for anaerobic co-digestion of poultry droppings and lignocellulosic-rich substrates for enhanced biogas production. *Energy Sustain Dev*, 39, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.04.004>
- Rössel Kippling, D., & Ortiz Laurel, H. (2022). Biodigestor de masa orgánica para la generación de combustible biogás. *Agro Divulgación, ISSN 2954-4483, Vol. 2, No. 1, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Enero-Febrero), Págs. 15-17, 2(1), 15–17.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8681858&info=resumen&idioma=SPA>

- Salas Rojas, L. V. (2023). *Elaboración de abono líquido (biol) mediante biodigestor a partir de vísceras de pollo y pescado de la zona metropolitana de Huánuco, Huánuco 2022*. [Tesis de grado, Universidad de Huánuco] UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4484>
- Rosales Atavillos, R. N. (2023). Efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de *Lactuca sativa* (lechuga) en Amazonas 2022. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2557/TS_RARN_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez-Llevat, I. L., Ravelo-Ortega, R., Moreno-Nuñez, M., & Covas-Constantin, B. V. (2023). Caracterización de la composición química del BIOL obtenido en la Isla de la Juventud. *Ingeniería Agrícola*, 13(4), cu-id. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1750>
- Sánchez-Roque, Y., del Carmen Pérez-Luna, Y., Saldaña-Trinidad, S., Berrones-Hernández, R., & Castillejos-Yuca, D. A. (2023). Caracterización fisicoquímica de residuos orgánicos del Estado de Chiapas, México, destinados a la producción de biogás. *Revista Politécnica*, 19(38), 192-198.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Solano-Apuntos, A., Ponce-Saltos, W., Zambrano-Gavilanes, F., & Solano, A. (2022). Biodigestion anaerobica de residuos de musaceas: caso ecuador. *Biotempo*, 19(1), 51–63. <https://doi.org/10.31381/BIOTEMPO.V19I1.4803>
- Tambone, F., Terruzzi, L., Scaglia, B., & Adani, F. (2015). Composting of the solid fraction of digestate derived from pig slurry: Biological processes and compost properties. *Waste Manage*, 35, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.014>
- Torres T., A., Quipuzco U., L., & Meza, V. (2015). Influencia de la fermentación láctica (abono bokashi) en el pre-compost para la producción de biogás y biol en biodigestores tipo Batch. *Anales Científicos, ISSN-e 2519-7398, Vol. 76, No. 2, 2015 (Ejemplar Dedicado a: Julio a Diciembre)*, Págs. 269-274, 76(2), 269–274. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6171145&info=resumen&idioma=SPA>
- Venegas-Venegas, J. A., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Pérez-Fernández, A., Aryal, D. R., & Aguilar-Aguilar, F. A. (2023). Potencial de biogás, energía eléctrica, reducción de CO₂eq y rentabilidad de biodigestor-motogenerador para establos lecheros en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. <https://doi.org/10.24836/ES.V33I62.1374>
- Vicente, J., Morán, I., Carlos, R., Ríos, P., Víctor, J., & Molina Barbotó, A. (2020). Efluentes de biodigestores para la producción de bioabonos y biogás. *Magazine de Las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 5(6), 79–84. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/885>
- Villacís-Aldaz, L., Chungata, L., Pomboza, P., & León, O. (2016). Compatibilidad y tiempo de sobrevivencia de cuatro microorganismos benéficos de uso agrícola en biol. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(1), 39–45. <https://doi.org/10.36610/J.JSAB.2016.040100039>
- Zagoya Martínez, J., Mendoza, J. O., Fletes, I. O., Macías López, A., De La, P., & Peñaloza, R. (2015). Caracterización Fisicoquímica De Biofermentados Elaborados Artesanalmente. *Biotecnía*, 17(1), 14–19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971115003>

Artículo científico: Caracterización Fisicoquímica de Biol en varias mezclas generadas por biodigestión en la estación experimental Tunshi, Riobamba, Chimborazo.

Publicación Semestral. Vol. 3, No 1, enero – junio 2024, Ecuador (p. 35-51)