UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

Calidad fisico-química y microbiológica del compost a partir de residuos agropecuarios como indicador de gestión de residuos

Physicochemical and microbiological quality of compost from agricultural waste as an indicator of waste management

Autores

Jaime Alfredo Zambrano Acosta
jaime_zambrano_mga@espam.edu.ec

****José Manuel Calderón Pincay***
jose.calderon@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Dirección de Posgrado y Educación Continua. Calceta, Ecuador. https://ror.org/01wea3g49

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Zambrano Acosta, J. A. y Calderón Pincay, J. M. (2026). Calidad físico-química y microbiológica del compost a partir de residuos agropecuarios como indicador de gestión de residuos. *La Técnica, 16*(1), 6-22. DOI: https://doi.org/10.33936/latecnica.v16i1.8345

Recibido: Marzo 21, 2026
Aceptado: Mayo 22, 2026
Publicado: Mayo 01, 2026

Resumen

En la investigación se analizó el contenido nutricional de la enmienda de suelo a partir del aprovechamiento de la biomasa residual agrícola y pecuaria. La investigación fue de tipo no experimental, empleando los métodos inductivo-deductivo y técnicas como la observación. El proceso de compostaje se llevó a cabo en la Unidad de Abonos Orgánicos de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), utilizando biomasa recolectada de diversas fuentes locales. Se recolectaron muestras de 1 kg por tratamiento, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación de la Universidad de Las Américas (UDLA). Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza ANOVA y se compararon con los parámetros establecidos en el Manual Técnico de AGROCALIDAD. Los resultados determinaron que T2 (30% caprinaza, 30% gallinaza, 30% exocarpio de maní (cáscara de maní) y 10% hojas de neem) presentó los valores más alto de nitrógeno total, mientras que, T3 (60% caprinaza, 20% gallinaza y 20% hojas de neem) exhibió mayores concentraciones de P, K, Ca y Ba. No obstante, T4 (40% caprinaza, 40% gallinaza y 20% pericarpio; cáscaras de semillas de neem) fue el más eficiente en concentraciones de microelementos esenciales y metales como Cu, Fe, Mn y Zn. Aun ante esta complejidad mineral, el análisis comparativo con el Manual Técnico de AGROCALIDAD reveló que los macronutrientes se encontraron por debajo de los límites mínimos permitidos. Además, se detectó la presencia de *Salmonella* spp. y niveles críticos de *Escherichia coli*. Se concluye que existen deficiencias estructurales en el proceso de compostaje, principalmente en la fase de higienización; por tanto, la enmienda obtenida queda restringida exclusivamente a usos en sistemas no alimentarios.

Palabras clave: contenido nutricional, concentraciones, tratamientos.

Abstract

The study analyzed the nutritional content of soil amendments derived from the utilization of residual agricultural and livestock biomass. This non-experimental research employed inductive-deductive methods and techniques such as observation. The composting process was carried out at the Organic Fertilizers Unit of the Environmental Engineering program at the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), using biomass collected from various local sources. Samples of 1 kg per treatment were collected and analyzed at the Research Laboratory of the Universidad de Las Américas (UDLA). The obtained data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and compared with the parameters established in the AGROCALIDAD Technical Manual. The results showed that T2 (30% goat manure, 30% chicken manure, 30% peanut shell, and 10% neem leaves) exhibited the highest total nitrogen values, whereas T3 (60% goat manure, 20% chicken manure, and 20% neem leaves) displayed higher concentrations of P, K, Ca, and Ba. Nevertheless, T4 (40% goat manure, 40% chicken manure, and 20% neem seed shells) was the most efficient in terms of essential microelement and metal concentrations such as Cu, Fe, Mn, and Zn. Despite this mineral complexity, the comparative analysis with the AGROCALIDAD Technical Manual revealed that macronutrient levels were below the minimum permissible limits. Additionally, the presence of *Salmonella* spp. and critical levels of *Escherichia coli* were detected. It is concluded that there are structural deficiencies in the composting process, particularly during the sanitization phase; therefore, the obtained amendment is restricted exclusively to non-food system applications.

Keywords: nutritional content, concentrations, treatments.

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias

e-ISSN 2477-8982

Introducción

En la actualidad, la producción de alimentos demanda un incremento en las áreas destinadas a la cría de animales y expansión de diversos cultivos; no obstante, el acelerado crecimiento de las sociedades causa preocupaciones para la sostenibilidad ambiental, debido a que, tanto en las zonas de producción agrícola como pecuaria se generan grandes volúmenes de residuos no tratados que representan un grave problema para la salud humana y los componentes ambientales (Hidalgo, 2019; Flor et al., 2022). Se estima que, a nivel mundial, se generan 2 mil millones de toneladas anuales de residuos sólidos, con un contenido de hasta 53% de residuos orgánicos, que provienen de los hogares (Pereira et al., 2020). Por su parte, la actividad pecuaria genera un aproximado de 60 millones de $t \cdot año^{-1}$ de materia orgánica que no son aprovechadas, siendo eliminados directamente hacia el ambiente, causando el deterioro del agua y del suelo (González, 2023). Además, Paccha et al. (2023) afirmaron que los residuos agropecuarios fueron los responsables del 18,17% de las emisiones globales de los gases de efecto invernadero (GEI).

En Ecuador, en el año 2022 se evidenció que el 55% de los residuos orgánicos provinieron del sector agrícola (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023), dicha cantidad se obtuvo mayoritariamente de los restos de poda y de ciertos cultivos provenientes del sector agrícola; sin embargo, por falta de información a estos residuos no se les brinda un tratamiento adecuado, siendo eliminados llevándolos a botaderos o quemándolos (Quishpe, 2023). Corrales et al. (2024) sostuvieron que las actividades agropecuarias generaron grandes cantidades de residuos orgánicos, las cuales se transformaron en contaminantes que pueden provocar daños al ecosistema; sin embargo, estos residuos pueden ser reutilizados como fuente de nutrientes para la agricultura, si se les proporciona un tratamiento adecuado.

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador [MAATE] (2022) en Ecuador, la gestión deficiente de los residuos sólidos constituye uno de los desafíos ambientales más críticos. El manejo inadecuado de estos desechos se ha elevado considerablemente, alcanzó una producción estimada de 4,9 millones de toneladas anuales, de esta cifra el 58,47% correspondió a materia orgánica (INEC, 2023). La inadecuada disposición final de estos desechos y el escaso proceso de valorización causa graves impactos ambientales y riesgos epidemiológicos para la población, siendo una fuente de proliferación de infección y degradación de los ecosistemas.

Ante la problemática planteada, el aprovechamiento de los residuos agrícolas y pecuarios mediante la elaboración del compostaje se consolida como una alternativa eficiente que permite disminuir los altos volúmenes de residuos y, además, de que la conversión de estos desechos en composta ofrece beneficios ambientales al suelo, ya que, la enmienda aporta numerosos beneficios, entre estos destacan que la materia orgánica mejora la estructura del suelo, disminuye la erosión y contribuye al mantenimiento de la vida microbiana en el suelo por ser una invaluable fuente de carbono (López et al., 2022).

En la actualidad, la Agenda 2030, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente, el objetivo 12 sobre la "Producción y Consumo Responsables" en sus metas 12.4 y 12.5 plantea la importancia de una gestión ecológica de los desechos. No obstante, ante el incremento exponencial de la demanda de bienes, el enfoque técnico ha evolucionado desde la simple reducción de residuos hacia la implementación de modelos de economía circular. Asimismo, en el objetivo 13 "Acción por el Clima" se destaca la importancia de adoptar prácticas agrícolas sostenibles que ayuden a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Con base a lo establecido, el presente trabajo pretende analizar el contenido nutricional de la enmienda de suelo (composta) a partir del aprovechamiento de la biomasa residual agrícola y pecuaria que fueron recolectados en centros de acopio y comunidades de los cantones Calceta, Tosagua y Zapotillo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se efectuó en la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"-ESPAM MFL, ubicada en el sitio El Limón de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador (figura 1).

Tipo de investigación

La investigación adoptó un enfoque no experimental, caracterizado por la observación de variables en su estado natural sin intervención directa. Complementariamente, se utilizó el método bibliográfico para la revisión y obtención de información técnica sobre la elaboración de enmiendas orgánicas a partir de residuos agrícolas y pecuarios (Guevara et al., 2020). Se empleó el método inductivo-deductivo para analizar la situación actual en cuanto a los residuos agrícolas y pecuarios en la ESPAM MFL generados en las diferentes Unidades de Docencia, Investigación y Vinculación (UDIV), mientras que, el método estadístico permitió interpretar los datos obtenidos en laboratorio (Hidalgo, 2019). Como técnica de recolección, se empleó la observación directa para determinar el estado de las enmiendas orgánicas (Escobal y Garro, 2020).

CC BY NC ND

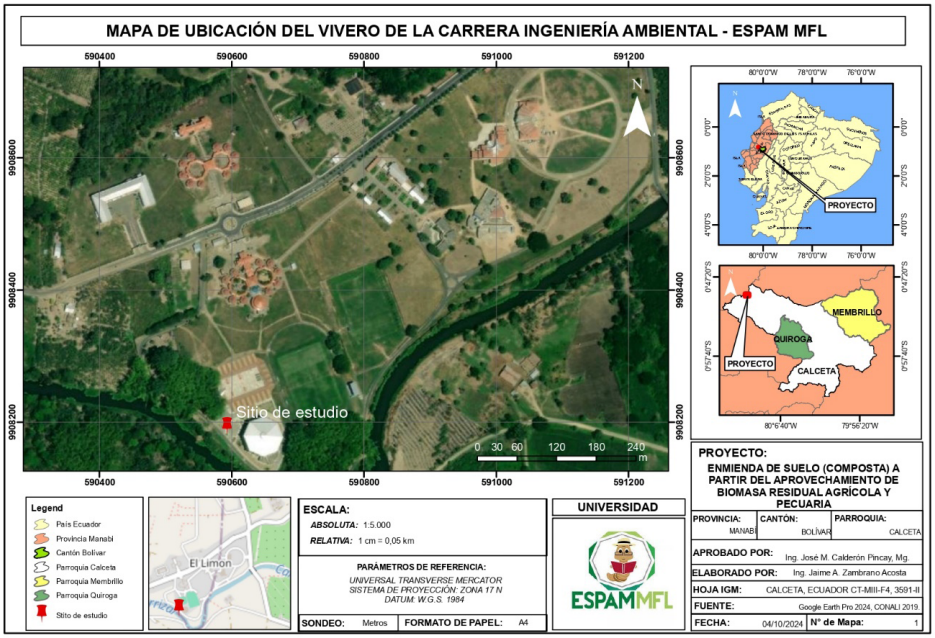

Figura 1. Localización del vivero de Ingeniería Ambiental de ESPAM MFL y del sitio de estudio.

Elaboración de la composta

La composta se elaboró a partir de residuos orgánicos y pecuarios recolectados en diferentes zonas. Los residuos agrícolas (16,5 kg) se obtuvieron en un centro de acopio en la ciudad de Calceta; los forestales (19,5 kg) se recolectaron entre la comunidad Vargas Torres del cantón Tosagua y Calceta. Por último, los residuos pecuarios (54 kg) se obtuvieron en el cantón Zapotillo, Provincia de Loja. Las enmiendas estuvieron conformadas por biomasa residual agrícola (exocarpio del maní; cáscara de maní), forestal (pericarpio (cáscaras) y hojas de neem) y pecuaria (gallinaza y caprinaza). Estos materiales fueron seleccionados siguiendo los criterios de Reyes (2023).

Posterior al pesaje de los residuos en una balanza electrónica, se procedió a su homogenización mecánica para asegurar una distribución uniforme de la biomasa. En esta etapa, se aplicó la técnica de fermentación rápida conocida como Bokashi, utilizando el método de pilas sobre suelo con dimensiones de 1,5 m de ancho x 1,5 m de largo, dimensiones críticas para garantizar la retención de calor durante la fase termofílica. Por su parte, la humectación se realizó gradualmente hasta alcanzar un porcentaje de humedad del 60%, nivel óptimo verificando a través de la técnica de campo del test del puño. En cuanto a la activación biológica, se utilizó una solución compuesta por melaza y microorganismos eficientes del género *Bacillus* en una dosis de 1 L por cada 5 L de agua por pila, según los criterios establecidos por Álvarez et al. (2021).

El volteo y riego se realizó semanalmente de forma manual según la metodología de Cabrera y Rossi (2016). En cuanto al control de temperatura y pH se llevó a cabo durante cinco días a la semana a lo largo de las cuatro semanas que duró el proceso de fermentación y maduración del Bokashi. Durante este periodo de 28 días, se monitoreo que la temperatura se mantuviera en los rangos óptimos para la degradación acelerada de la materia orgánica, asegurando la inocuidad y la estabilidad del producto final. Las mediciones se hicieron en la mañana (9h00). Para el control químico sobre el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), se empleó el kit de pruebas Rapitest #1601 de Lustre Leaf Products, realizando evaluaciones mediante el método de comparación con tablas cromáticas estandarizadas (Loaiza, 2020). Con el fin de garantizar el rigor científico, los resultados obtenidos en campo fueron calibrados mediante análisis de laboratorio certificado. Se determinó el grado de correlación estadística entre ambos métodos, asegurando que las mediciones colorimétricas fueran representativas y permitieran una interpretación confiable de la evolución nutricional del abono.

Toma de muestras

De acuerdo con la metodología de Delgado y García (2023) se tomaron muestras de 1 kg por cada tratamiento de las cuatro enmiendas orgánicas elaboradas. La composición de los tratamientos se estableció de la siguiente forma: T1 consistió en una mezcla de 5 kg de estiércol caprino, 1 kg gallinaza, 2,5 kg de maní y 1,5 de neem. T2 contenía 3 kg de cada componente principal y 1 kg de neem. Por su parte, T3 integró 6 kg de caprina, 2 kg de gallinaza y 2 kg de hojas de neem, mientras que, T4 combinó 4 kg de caprina, 4 kg de gallinaza y 2 kg de cáscara de neem. Estas muestras fueron ubicadas en papel de aluminio e introducidas en bolsas plásticas cada una debidamente rotuladas para su envío al laboratorio, siguiendo lo establecido en el protocolo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2013).

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

Análisis del contenido nutricional de la enmienda

Para determinar el contenido nutricional de la enmienda orgánica, se tomó como referencia los parámetros descritos en el "Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola" de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro "AGROCALIDAD". Siguiendo la metodología de Jara et al. (2020) se determinaron los parámetros químicos mediante análisis de laboratorio, mismos que se describen en la tabla 1. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Investigación de la Universidad de Las Américas (UDLA). Todos los parámetros descritos en la tabla 1 fueron analizados en laboratorio.

Tabla 1. Variables físico-químicas y microbiológicas analizadas en laboratorio de enmiendas de biomasa residual.

Parámetros	
Plata (Ag)	Oro (Au)
Aluminio (Al)	Germanio (Ge)
Boro (B)	Hafnio (Hf)
Bario (Ba)	Iridio (Ir)
Berilio (Be)	Molibdeno (Mo)
Calcio (Ca)	Niobio (Nb)
Cadmio (Cd)	Paladio (Pd)
Cobalto (Co)	Platino (Pt)
Cromo (Cr)	Renio (Re)
Cobre (Cu)	Rodio (Rh)
Hierro (Fe)	Rutenio (Ru)
Galio (Ga)	Antimonio (Sb)
Indio (In)	Estaño (Sn)
Potasio (K)	Tantalio (Ta)
Litio (Li)	Titanio (Ta)
Magnesio (Mg)	Wolframio (W)
Manganeso (Mn)	Zirconio (Zr)
Sodio (Na)	Fósforo (P)
Níquel (Ni)	Mercurio (Hg)
Plomo (Pb)	% Nitrógeno total (N)
Estroncio (Sr)	*Escherichia coli*
Talio (Tl)	*Salmonella*
Zinc (Zn)	

Análisis estadísticos

Siguiendo la metodología de Delgado y García (2023) y Pérez (2023) los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza ANOVA con el 5% de probabilidad de error y la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error, empleando el programa IBM SPSS Statistics. Los tratamientos analizados se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Composición de los tratamientos de enmienda y presencia de microorganismos en los ensayos de compostaje.

Tratamiento	Tratamientos (cantidades en % para 10 kg) Caprinaza	Gallinaza	Cáscaras de maní	Hojas de neem	Cáscaras de semillas de neem	Microorganismos
T_1	50	10	25	15	-	
T_2	30	30	30	10	-	*Bacillus* spp.
T_3	60	20	-	20	-	
T_4	40	40	-	-	20	

Comparación con la normativa ambiental de Agrocalidad

Los resultados de laboratorio se contrastaron con los estándares de AGROCALIDAD (Jara et al., 2022), para verificar la aptitud de la composta como enmienda de suelo. Esta validación técnica confirmó si el producto final cumplió con los requisitos de estabilidad y contenido nutricional necesarios para revertir la degradación edáfica en áreas de agricultura intensiva (Aguirre, 2023).

Establecimientos de estrategias para el uso de enmiendas

Finalmente, se elaboró una propuesta de estrategias para el uso de enmiendas orgánicas enfocadas en la biorremediación de suelos. La propuesta esta sistematizada bajo los siguientes parámetros:

Objetivo y responsable: definición de metas y encargados de la ejecución.

Aplicación: lugar y medidas técnicas propuestas.

Seguimiento y control: indicadores, medios de verificación y costos.

Resultados y discusión

En la figura 2 se exponen los resultados sobre el contenido de plata (Ag) para cada tratamiento, destacando que T4 obtuvo el mayor valor con 10,16 $mg \cdot kg^{-1}$ entre los otros tratamientos. Con respecto al aluminio (Al) presentado en la figura 3, T4 alcanzó valores de 15.748,99 $mg \cdot kg^{-1}$, superando significativamente a los demás; por su parte, T1 y T2 mostraron valores entre de 13.926,58 $mg \cdot kg^{-1}$ y 13.860,17 $mg \cdot kg^{-1}$. La presencia de concentraciones elevadas de Ag y Al en el T4 puede provenir de la gallinaza, ya que, a menudo contiene metales o trazas de

CC BY NC ND

minerales dependiendo de la dieta de las aves; o también del tipo de suelo donde se cultivó el neem (Morales, 2020).

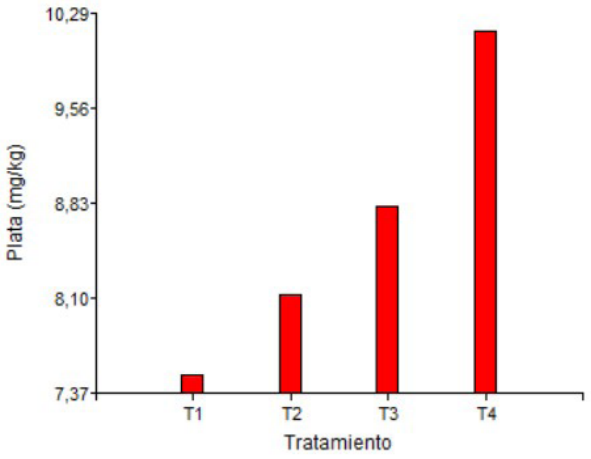

Figura 2. Concentración de plata (Ag) en los distintos tratamientos de enmienda.

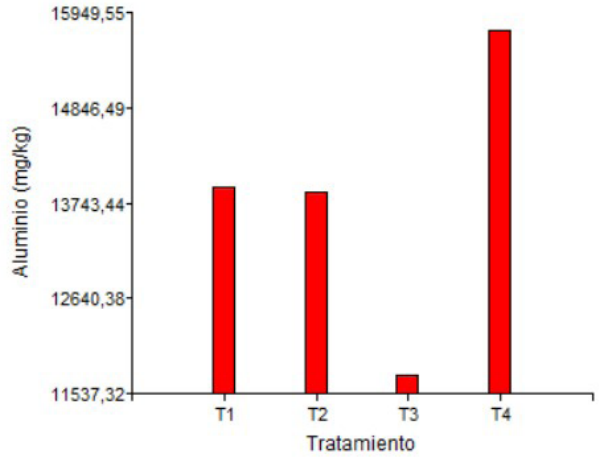

Figura 3. Concentración de aluminio (Al) en los distintos tratamientos de enmienda.

Respecto al contenido de boro (B), la figura 4 muestra que T1 obtuvo la concentración más alta con 47,27 mg·kg^{-1}, seguidos por T4 (45,49 mg·kg^{-1}), T2 (44,55 mg·kg^{-1}) y T3 con 38,69 mg·kg^{-1}. Estos datos indicaron una variabilidad mínima entre los tratamientos evaluados. En cuanto al bario (Ba), los valores más elevados se registraron en T3 (79,66 mg·kg^{-1}) y T1 (79,02 mg·kg^{-1}), mientras que, T4 presentó un valor de 70,11 mg·kg^{-1}. Al comparar estos resultados con el Manual Técnico de AGROCALIDAD se observa que el boro está por debajo del mínimo de concentración de nutrientes (0,10%); no obstante, dicha normativa no específica el límite para el Bario. Por su parte, en la investigación de Delgado y García (2023) realizada en la ESPAM MFL se observó que tratamiento compuesto por 20% de pasto en prefloración, 20% de leguminosas en prefloración, 20% de gallinaza, 20% de raquis de plátano y 5% biochar, alcanzó una concentración de Boro superior con un valor 61,50 mg·kg^{-1}, mayor a los obtenidos en esta investigación.

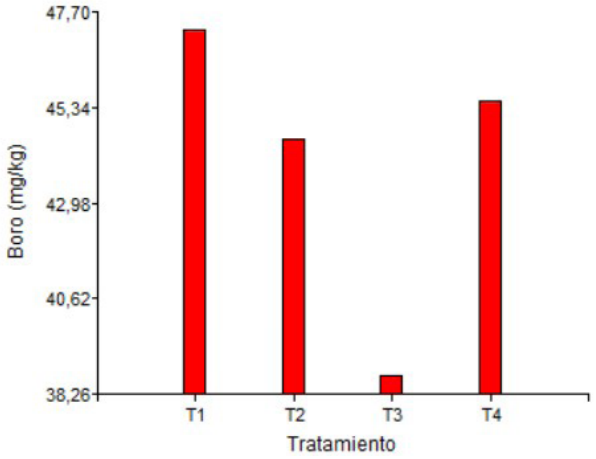

Figura 4. Concentración de boro (B) en los distintos tratamientos de enmienda.

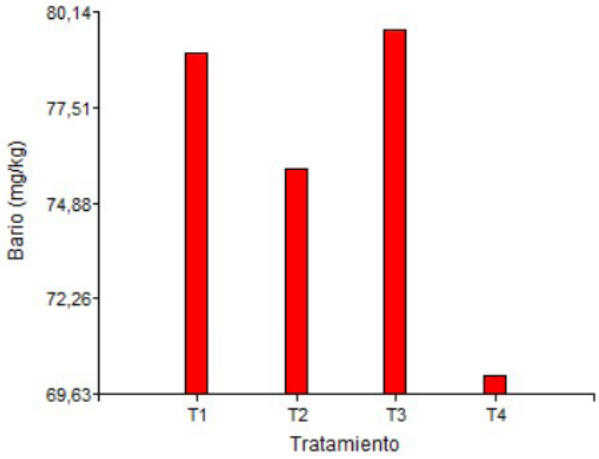

Figura 5. Concentración de bario (Ba) en los distintos tratamientos de enmienda.

En la figura 6 se exponen los resultados del contenido de calcio (Ca), donde T3 registró la concentración más alta con 19.243,70 mg·kg^{-1}, seguido por T2 con 17.178,42 mg·kg^{-1}. En cuanto al cobalto (Co), la figura 7 indicó que T4 destacó con el valor más elevado con 11,75 mg·kg^{-1}, mientras que, T1, T2 y T3 mostraron concentraciones similares, cercanas a los 8,00 mg·kg^{-1}. Al contrastar estos resultados con el Manual de AGROCALIDAD, las concentraciones de calcio obtenidos se encontraron dentro del límite establecido para nutrientes (1 a 1,5%), especialmente, T3 que presentó un valor de 19.243,70 mg·kg^{-1} (equivalente a 1,92%), esto indicó que la enmienda alcanzó excelentes niveles de calcio, superando el rango mínimo de la norma. Con respecto al Cobalto, los tratamientos se encontraron por debajo del parámetro de 0,002% (20 mg·kg^{-1}) indicado en la normativa para

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

micronutrientes. Finalmente, en la investigación de Delgado y García (2023), los valores de calcio de 56.850 y 53.600 mg·kg^{-1} reportados fueron superiores a los obtenidos en la enmienda orgánica elaborada en esta investigación.

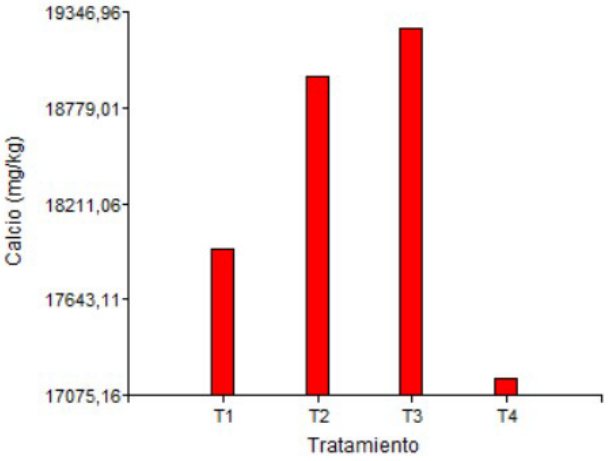

Figura 6. Concentración de calcio (Ca) en los distintos tratamientos de enmienda.

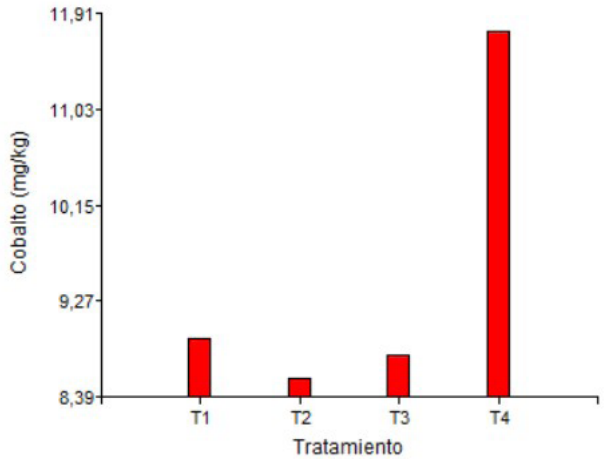

Figura 7. Concentración de cobalto (Co) en los distintos tratamientos de enmienda.

En la figura 8 se exponen los valores entre tratamientos del cromo (Cr) evidenciando que T4 alcanzó la concentración más elevada con 47,04 mg·kg^{-1}, seguido por T1 con 38,33 mg·kg^{-1}, mientras que, T2 y T3 presentaron valores de 36,32 y 33,81 mg·kg^{-1}, respectivamente. En cuanto al cobre (Cu), T4 exhibió el valor más alto (42,09 mg·kg^{-1}), seguido por T3 (39,52 mg·kg^{-1}), T1 (37,10 mg·kg^{-1}) y T2 (35,87 mg·kg^{-1}). En comparación con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, se observó que los niveles de cromo excedieron significativamente el límite máximo permitido de 2,5 mg·kg^{-1} para metales pesados. Por el contrario, los valores de cobre cumplieron satisfactoriamente con la concentración mínima de nutrientes establecidas en la normativa con valores de 0,002% (20 mg·kg^{-1}) para macro y micronutrientes, ya que, todos los tratamientos presentaron un promedio cercano al 0,004%. Esto indicó que la enmienda tuvo una adecuada fuente de este micronutriente.

En la investigación de Castro y Daza (2016) sobre enmiendas de residuos de curtiembres, reportaron valores de Cr de 24 mg·kg^{-1}, un valor relativamente bajo a la registrada en la presente investigación. Contrario a Delgado y García (2023) quienes obtuvieron en el tratamiento compuesto por 20% de pasto en prefloración, 15% de leguminosas en prefloración, 30% de gallinaza, 5% de tierra de montaña, 15% de raquis de plátano y 5% de biochar, concentraciones de Cu de 66 mg·kg^{-1}, superando los resultados obtenidos en la enmienda elaborada en esta investigación.

Los resultados obtenidos mostraron variaciones en la concentración de cobre (Cu) entre los diferentes tratamientos de enmienda (figura 9). T2 presentó la concentración más baja (35,6 mg·kg^{-1}), mientras que T1 mostró un valor intermedio (37,2 mg·kg^{-1}). Por su parte, T3 alcanzó aproximadamente 39 mg·kg^{-1}, y T4 registró la concentración más alta (42,4 mg·kg^{-1}).

Estos datos indicaron que, según las proporciones de caprinaza, gallinaza y otros componentes en cada tratamiento, hubo una tendencia de incremento en la concentración de cobre a medida que se combinaron ciertos residuos de manera específica. Esta observación sugirió que la composición de los tratamientos influyó en la acumulación de este micronutriente, aunque se requiere un análisis estadístico para determinar formalmente la significancia de estas diferencias.

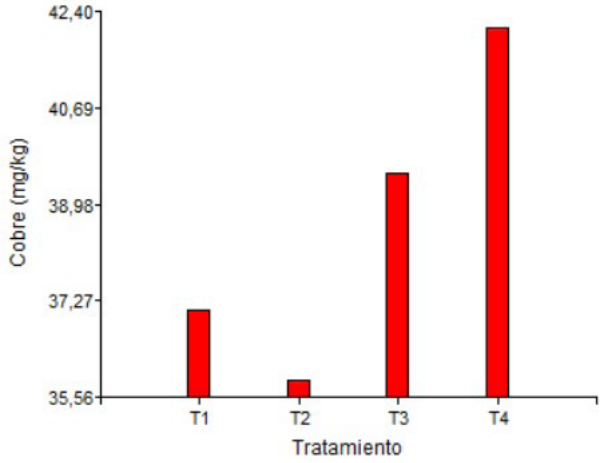

Figura 8. Concentración de cromo (Cr) en los distintos tratamientos de enmienda.

CC BY NC ND

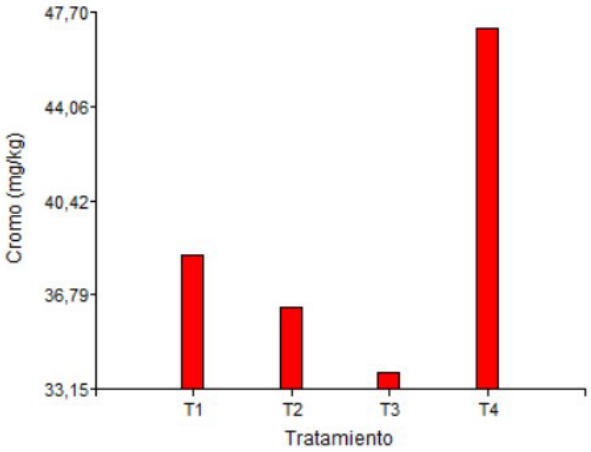

Figura 9. Concentración de cobre (Cu) en los distintos tratamientos de enmienda.

En cuanto al contenido de hierro (Fe) en la enmienda, T4 presentó la concentración más elevada con un valor de 17.100,8 mg·kg^{-1}, seguido por T1 (15.579,08 mg·kg^{-1}). Por su parte, T3 y T2 registraron valores de 13.534,09 y 12.474,68 mg·kg^{-1}, respectivamente (figura 10). De acuerdo con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, el hierro superó los niveles mínimos declarables de 0,020% para macro y micronutrientes. El alto contenido de hierro en T4 indicó que la enmienda fue de alta calidad mineral, lo cual puede atribuirse al contenido de la gallinaza, la cáscara de neem y al estiércol caprino.

Con respecto al galio (Ga), T4 exhibió el valor más alto con 7,99 mg·kg^{-1}, seguido por T1 (6,52 mg·kg^{-1}), T3 (4,50 mg·kg^{-1}) y T2 (3,98 mg·kg^{-1}) (figura 11). De acuerdo con Kabata (2010) los valores de galio en los suelos pueden variar desde 3 a 70 ppm, lo que indicó que no hay toxicidad en las concentraciones de este metal en la enmienda. Por su parte, el Manual Técnico de AGROCALIDAD, no regula el galio, debido a que no representa un riesgo ambiental.

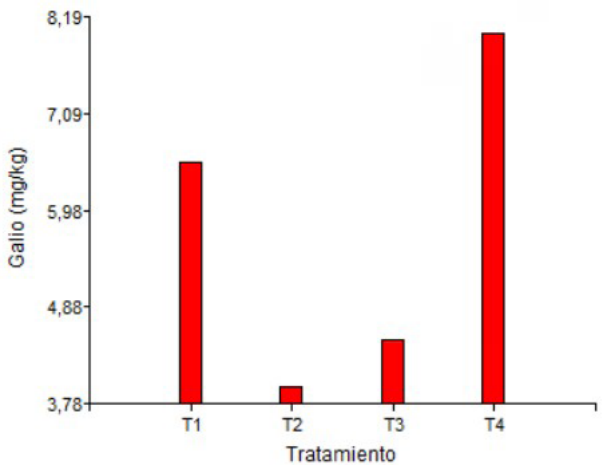

Figura 10. Concentración de hierro (Fe) en los distintos tratamientos de enmienda.

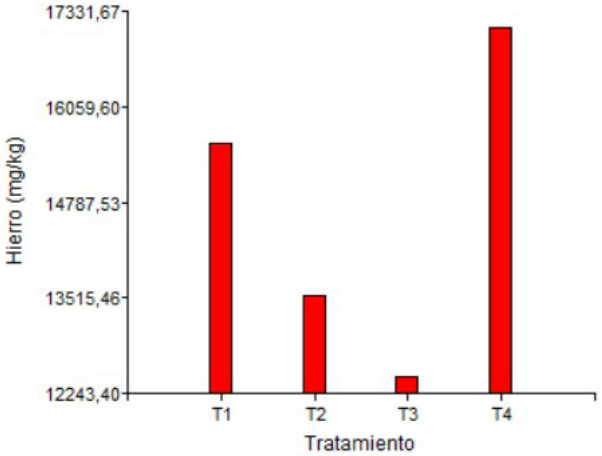

Figura 11. Concentración de galio (Ga) en los distintos tratamientos de enmienda.

Con relación al contenido de indio (In), T4 registró la concentración más elevada con 8,76 mg·kg^{-1}, seguido por T3 con 7,95 mg·kg^{-1}, el T2 con 7,10 mg·kg^{-1} y el T1 con 6,98 mg·kg^{-1} (figura 12). En cuanto al potasio (K), T1 mostró el valor más alto con 7.841, 23 mg·kg^{-1}, mientras que, T4 mostró el valor más bajo con 5.245,41 mg·kg^{-1} (figura 13). Cabe destacar que en el Manual Técnico de AGROCALIDAD no se establecen valores para el indio; sin embargo, para el potasio, la normativa exige una concentración mínima de 3%. Se observa que ninguno de los tratamientos estudiados alcanza el nivel mínimo exigido para potasio; no obstante, la enmienda fue rica en hierro y calcio.

De acuerdo con las directrices de la FAO, un compost de calidad debe presentar concentraciones de potasio situadas en un rango de 3.000 a 10.000 mg·kg^{-1} (FAO, 2013). Al comparar estos valores con los obtenidos en la investigación, se observó que todos los tratamientos cumplieron con lo establecido en el estándar internacional.

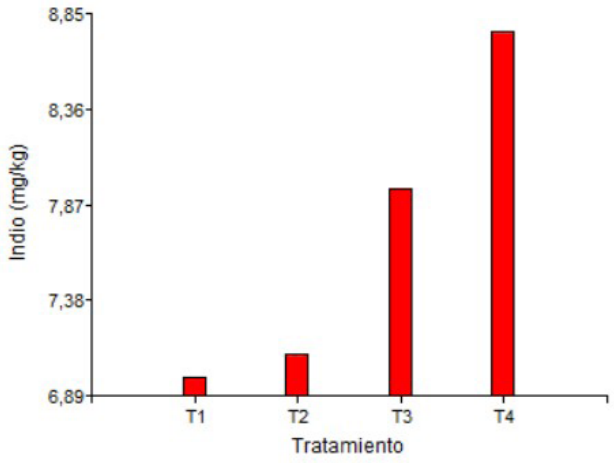

Figura 12. Concentración de indio (In) en los distintos tratamientos de enmienda.

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

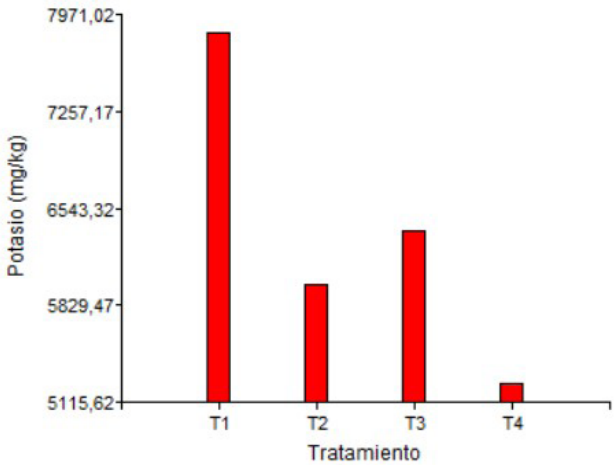

Figura 13. Concentración de potasio (K) en los distintos tratamientos de enmienda.

Referente al contenido de litio (Li), T4 registró el valor más elevado con 140,73 mg·kg^{-1}, seguido por T1 con 111,05 mg·kg^{-1}, mientras que, T2 y T3 obtuvieron valores de 101,00 y 99,36 mg·kg^{-1}, respectivamente (figura 14). Con respecto al magnesio (Mg), T1 presentó la mayor concentración con 5.163,27 mg·kg^{-1}, frente a T4 que alcanzó valores más bajo con 4.859,46 mg·kg^{-1} (figura 15). De acuerdo con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, el magnesio debe cumplir con una concentración mínima del 1%. En la investigación, los valores de Mg se encontraron por debajo del rango establecido en la normativa, al igual que en el estudio de Delgado y García (2023) que obtuvieron valores inferiores de 1.500 mg·kg^{-1}; esto indicó que la mezcla de caprina y neem favoreció la retención de este macronutriente. En cuanto al litio, no se reportan rangos mínimos en el Manual de AGROCALIDAD, ya que, en el compost fue variable y dependió mucho de los materiales orgánicos empleados para su elaboración (Naeem et al., 2021).

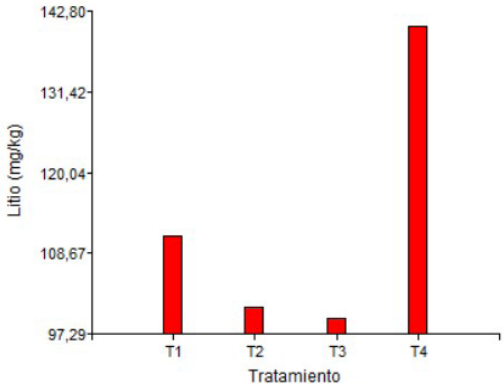

Figura 14. Concentración de litio (Li) en los distintos tratamientos de enmienda.

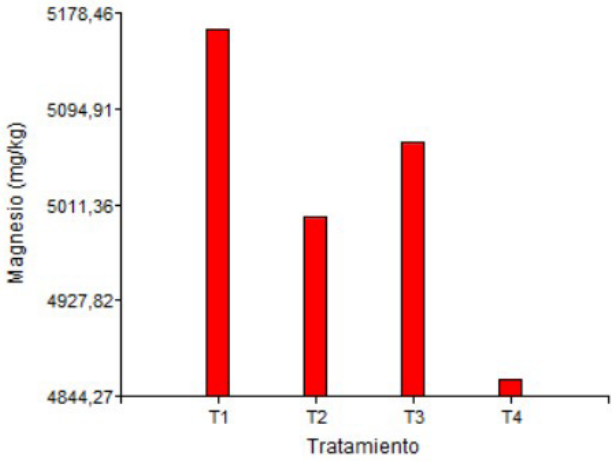

Figura 15. Concentración de magnesio (Mg) en los distintos tratamientos de enmienda.

En cuanto a las concentraciones de manganeso (Mn), T4 obtuvo el valor más elevado con 344,28 mg·kg^{-1}, superando a T3 (296,45 mg·kg^{-1}), T2 (287,08 mg·kg^{-1}) y T1 (283,07 mg·kg^{-1}) (figura 16). De acuerdo con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, el manganeso debe cumplir con una concentración mínima de 0,010%. En este sentido, todos los tratamientos del Mn superaron ese valor. Por su parte, Álvarez et al. (2021) reportaron concentraciones de manganeso de 388 mg·kg^{-1}, un valor superior al obtenido en esta investigación. Sin embargo, ambos estudios coincidieron que el incremento de este macronutriente puede estar relacionado con la interacción del estiércol y los residuos vegetales.

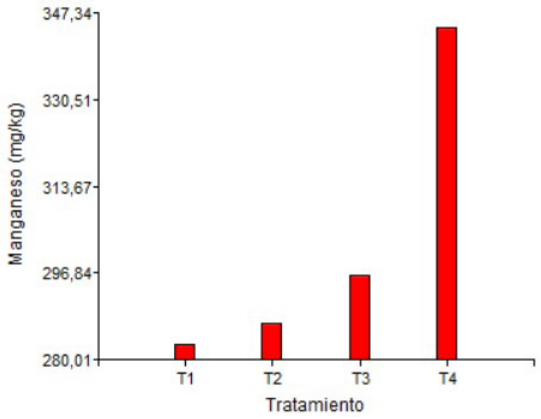

Figura 16. Concentración de manganeso (Mn) en los distintos tratamientos de enmienda.

latecnica@utm.edu.ec | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

Referente al sodio (Na) (figura 17), los niveles más altos se registraron en T2 (1.348,78 mg·kg^{-1}) y en T1 (1.281,43 mg·kg^{-1}). Es importante destacar que el Manual Técnico de AGROCALIDAD no establece parámetros específicos para el contenido de Sodio en enmiendas orgánicas. No obstante, las concentraciones halladas en la enmienda se consideraron moderadas, por ende, no representaron un riesgo de fitotoxicidad por salinidad (Torres et al., 2016).

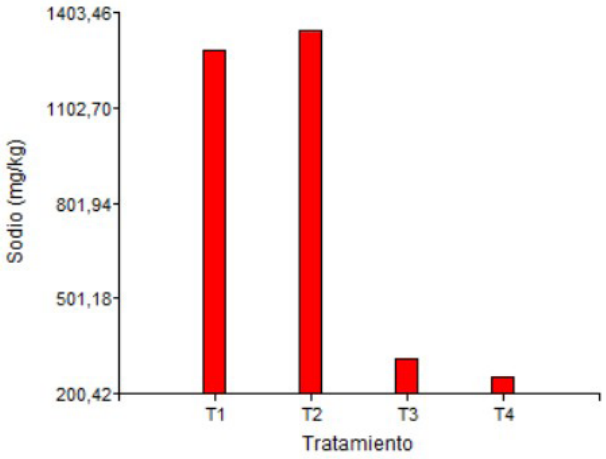

Figura 17. Concentración de sodio (Na) en los distintos tratamientos de enmienda.

Con respecto a los metales pesados, las concentraciones de níquel (Ni) mostraron que T4 presentó el valor más elevado con 18,34 mg·kg^{-1}, mientras que, T3 exhibió el contenido mínimo con 12,47 mg·kg^{-1} (figura 18). Referente al plomo (Pb), los tratamientos mostraron un comportamiento similar, con valores entre 3,13 mg·kg^{-1} para T4 y 2,14 mg·kg^{-1} para T2 (figura 19). Al comparar estos resultados con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, se ratificó que ambos elementos se encontraron dentro del rango máximo permitido. En el caso del níquel, el límite fue de 50 mg·kg^{-1}; por su parte, los niveles de plomo fueron relativamente bajos, representando menos del 3% del máximo establecido que es de 120 mg·kg^{-1}. Los hallazgos garantizan que la enmienda orgánica es un producto seguro para uso agrícola, ya que, se encuentra libre de riesgo por contaminación de metales pesados.

En contraste, Dueñas e Intriago (2021) en su investigación reportaron concentraciones de níquel entre 1,4691 mg·kg^{-1} en gallinaza, 3,5757 mg·kg^{-1}en estiércol vacuno y 8,1100 mg·kg^{-1} en compost; mientras que, para plomo los valores fueron significativamente menores 0,24, 027 y 0,26 mg·kg^{-1}, respectivamente. Pese a que los niveles hallados en esta investigación fueron superiores a los citados, ambos estudios se encontraron por debajo de los límites permitidos por la normativa.

De acuerdo con Kennou et al. (2015), la presencia estos metales en abonos orgánicos suele derivarse de la presencia de minerales primarios y secundarios presentes en suelo.

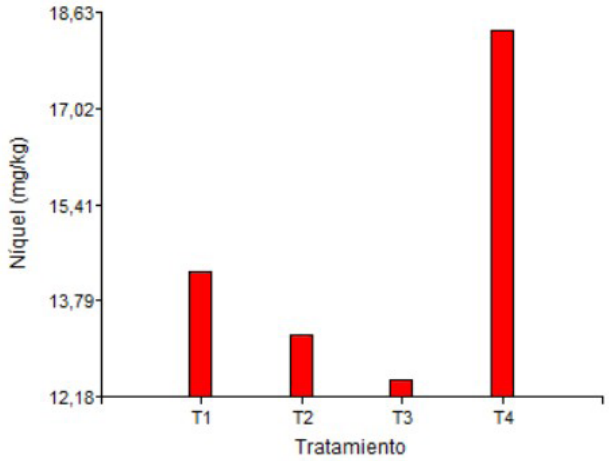

Figura 18. Concentración de niquel (Ni) en los distintos tratamientos de enmienda.

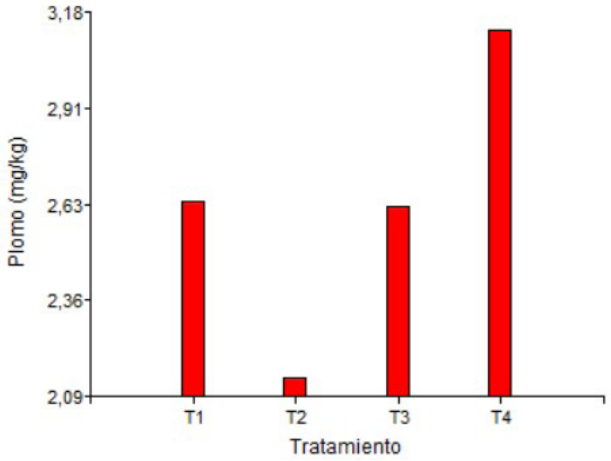

Figura 19. Concentración de plomo (Pb) en los distintos tratamientos de enmienda.

En cuanto al estroncio (Sr), T3 registró la mayor concentración con 103,93 mg·kg^{-1}, seguido por T2 (99,52 mg·kg^{-1}), T1 (96,17 mg·kg^{-1}) y T4 (92,14 mg·kg^{-1}) (figura 20). Con respecto al Zinc (Zn), T4 mostró la concentración más alta con 155,87 mg·kg^{-1}, mientras que, los demás tratamientos presentaron una variación mínima, con valores de 144,24 mg·kg^{-1} (T1), 143,08 mg·kg^{-1} (T2) y 141,46 mg·kg^{-1} (T3) (figura 21). De acuerdo con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, el zinc debe cumplir con una concentración mínima declarable de 0,020% para macro y micronutrientes. En este sentido, aun ante los hallazgos presentados se aproximaron al límite establecido en la normativa, la enmienda aportó una cantidad significativa de este micronutriente, el cual es esencial para el metabolismo vegetal.

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

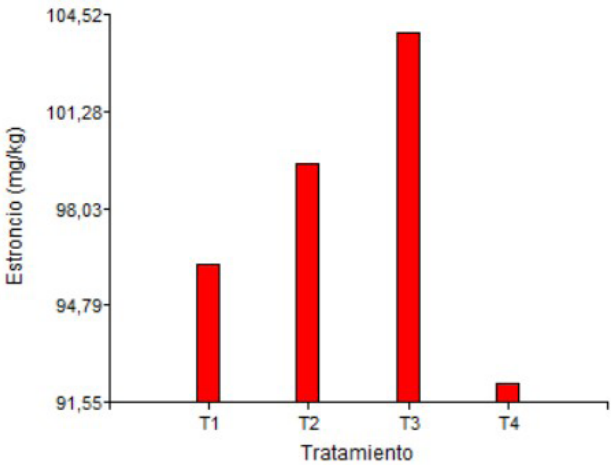

Figura 20. Concentración de estroncio (Sr) en los distintos tratamientos de enmienda.

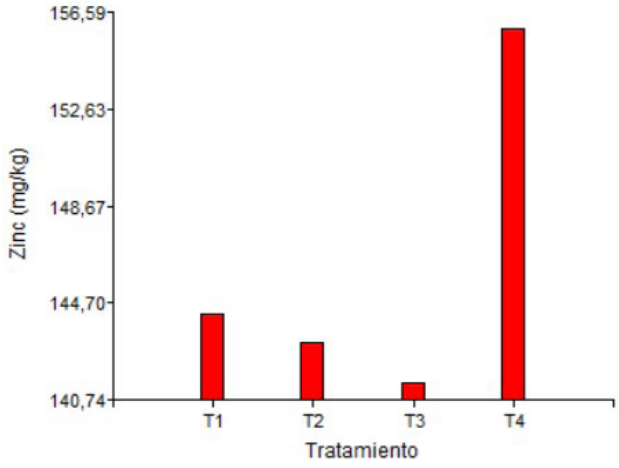

Figura 21. Concentración de zinc (Zn) en los distintos tratamientos de enmienda.

La presencia de zinc en la enmienda constituye un aporte esencial para la fertilidad del suelo. Guarino et al. (2020) manifestaron que el zinc es un componente con muchas proteínas, también es un cofactor enzimático y es fundamental para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. Por tanto, la aplicación de esta enmienda en suelos agrícolas de la provincia de Manabí no solo ayudará a mejorar la estructura física, sino que estimulará el desarrollo radical y foliar de los cultivos. Por su parte, el contenido de estroncio fue un indicador de la riqueza mineral del estiércol caprino utilizado (Briceño et al., 2020).

Con relación al germanio (Ge), T4 presentó la concentración más elevada con 11,49 mg·kg^{-1}, seguido por T1 con 10 mg·kg^{-1}, mientras que, T2 y T3 exhibieron valores de 8,68 y 8,25 mg·kg^{-1} (figura 22). Por su parte, el iridio (Ir) reveló una tendencia similar, donde T4 mostró la mayor concentración con 5,68 mg·kg^{-1}, consecutivo de T3 (5,24 mg·kg^{-1}), T1 (4,52 mg·kg^{-1}) y T2 (4,08 mg·kg^{-1}) (figura 23). Es importante mencionar que el Manual Técnico de AGROCALIDAD no establece parámetros de referencia para el germanio ni el iridio. Sin embargo, la detección de estos elementos en concentraciones bajas confirmó que la composición de estas enmiendas proviene de los suelos donde se obtuvieron la materia prima para la elaboración del compost.

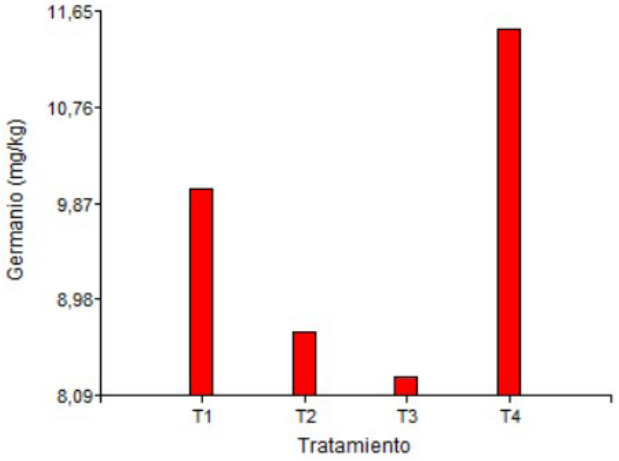

Figura 22. Concentración de germanio (Ge) en los distintos tratamientos de enmienda.

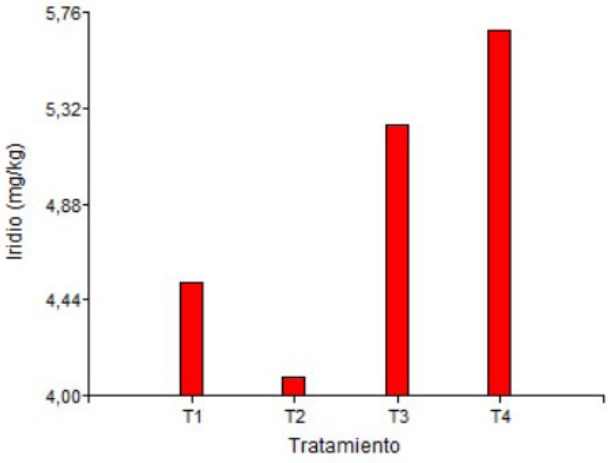

Figura 23. Concentración de iridio (Zn) en los distintos tratamientos de enmienda.

CC BY NC ND

Los resultados del contenido de molibdeno (Mo) indicaron que la mayor concentración se presentó en T2 con 4,94 mg·kg^{-1}, seguido por T1 (4,47 mg·kg^{-1}), T3 (2,00 mg·kg^{-1}) y T4 (1,30 mg·kg^{-1}) (figura 24). Con base al Manual Técnico de AGROCALIDAD, el contenido mínimo declarable para este micronutriente es de 0,002% (equivalente a 20 mg·kg^{-1}). En este sentido, los valores del Mo se sitúan por debajo del límite establecido. Con relación al niobio (Nb) expuesto en la figura 25, los tratamientos exhibieron un comportamiento homogéneo; donde T4 registró el valor más elevado con 3,91 mg·kg^{-1}, seguido por T2 (3,55 mg·kg^{-1}), T3 (3,34 mg·kg^{-1}) y T1 (3,02 mg·kg^{-1}). Cabe mencionar que el Manual Técnico de AGROCALIDAD no contempla los límites máximos permitidos para este parámetro.

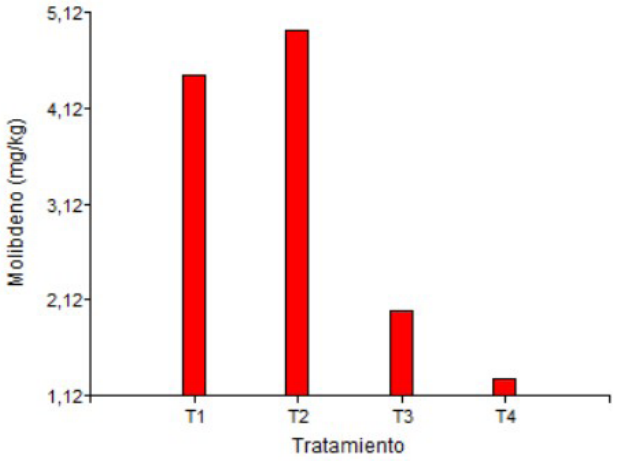

Figura 24. Concentración de molibdeno (Mo) en los distintos tratamientos de enmienda.

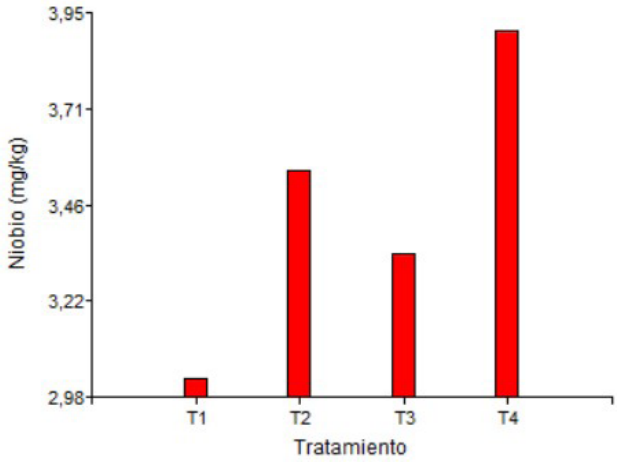

Figura 25. Concentración de niobio (Nb) en los distintos tratamientos de enmienda.

En cuanto a las concentraciones de rutenio (Ru) en la enmienda, T4 registró el valor más elevado con 4,38 mg·kg^{-1}, seguido por T1 con 4,38 mg·kg^{-1}, mientras que, T2 y T3 presentaron valores de 3,96 y 3,61 mg·kg^{-1}, respectivamente (figura 26). Por su parte, el estaño (Sn) exhibió concentraciones mínimas entre los tratamientos, que oscilaron entre 0,24 mg·kg^{-1} (T1 y T3) y 0,30 mg·kg^{-1} (T4) (figura 27). Cabe mencionar que el Manual Técnico de AGROCALIDAD no establece límites de referencia para estos elementos.

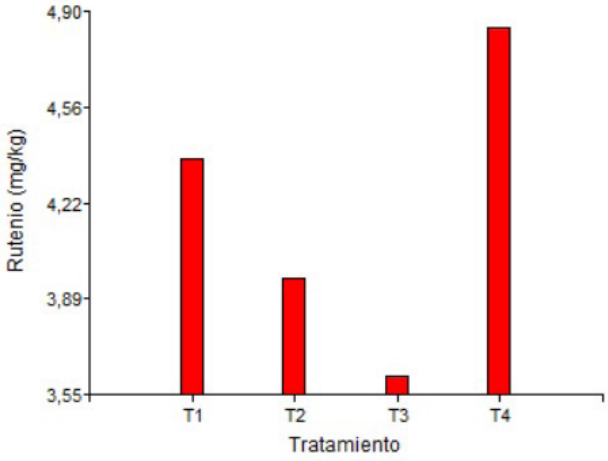

Figura 26. Concentración de rutenio (Ru) en los distintos tratamientos de enmienda.

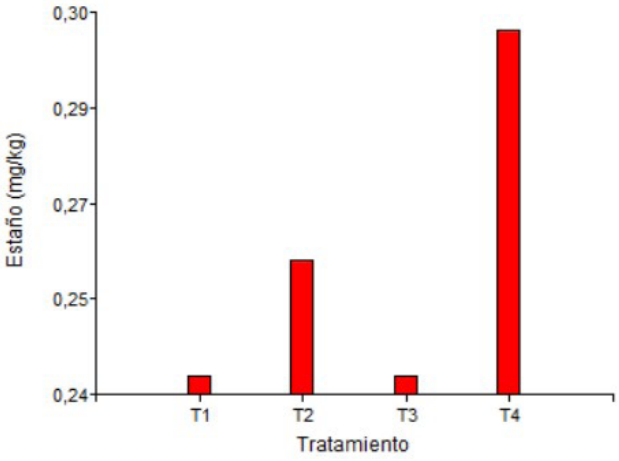

Figura 27. Concentración de estaño (Sn) en los distintos tratamientos de enmienda.

Respecto al zirconio (Zr), los análisis indicaron una baja variabilidad entre los tratamientos, con concentraciones que oscilaron de 1,16 mg·kg^{-1} (T3) a 1,84 mg·kg^{-1} (T4) (figura 28). En cuanto al fósforo (P), T3 registró valores de 7.124,45 mg·kg^{-1}, seguido por T4 (6.744,46 mg·kg^{-1}), T1 (5.948,97 mg·kg^{-1}) y T4 (5.686,21 mg·kg^{-1}) (figura 29). Al comparar estos resultados con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, que establece una concentración mínima del 3% para fósforo, se observa que los valores obtenidos estuvieron por debajo del límite indicado. No obstante, Wei et al. (2015) afirmaron que los desechos de origen animal y vegetal poseen un alto potencial para el aporte de P en tierras cultivables, lo que favorece la fertilidad del suelo a través de fuentes orgánicas.

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

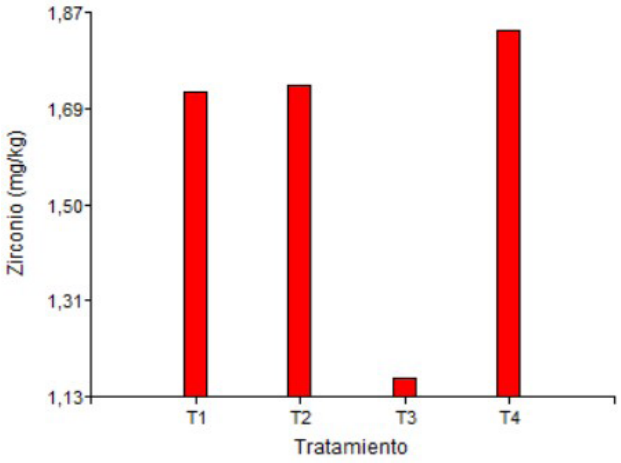

Figura 28. Concentración de zirconio (Zr) en los distintos tratamientos de enmienda.

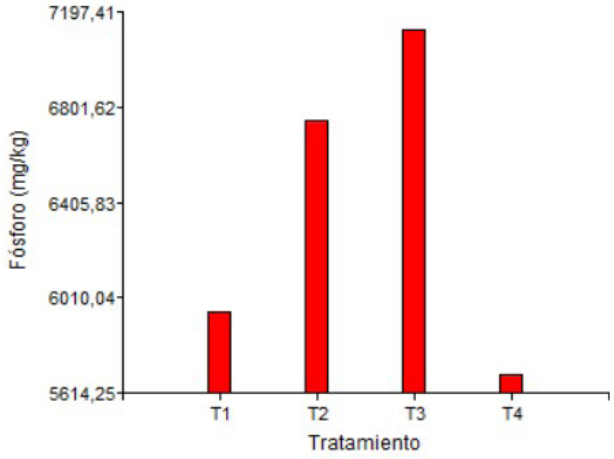

Figura 29. Concentración de fósforo (P) en los distintos tratamientos de enmienda.

Referente al nitrógeno total (N), T2 exhibió la mayor concentración con 1,59%, seguido por T1 (1,51%), T3 (1,43%) y T4 (1,30%) (figura 30). Al comparar estos resultados con el Manual Técnico de AGROCALIDAD, se visualizó que ninguno de los tratamientos analizados alcanzó el nivel mínimo exigido del 3%. En este sentido, al contrastar el contenido de nitrógeno total con la literatura, se observa que los valores obtenidos en esta investigación (1,30 a 1,59%) se encontraron por debajo de lo reportado por Pasqualotto (2022) quien reportó concentraciones promedio de 2,13%. Por su parte, Ortiz (2020) determinó un rango superior que osciló entre 1,79% (T3) y 2,25% (T2). Monsalve et al. (2017) afirmaron que el nitrógeno a través de fuentes orgánicas fue esencial para el crecimiento vegetal.

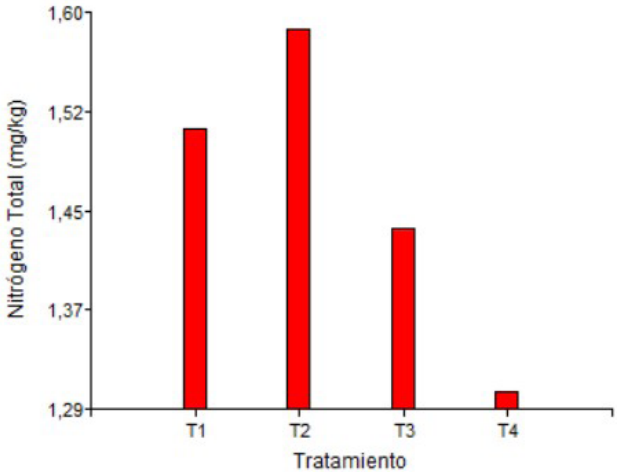

Figura 30. Concentración de nitrógeno total (Nt) en los distintos tratamientos de enmienda.

Con relación al análisis microbiológico (figura 31), T2 registró la mayor carga de *Escherichia coli* con $9{,}70 \times 10^4$ NMP·g^{-1}. Asimismo, se evidenció la presencia de *Salmonella* spp. en 25 g para todos los tratamientos evaluados. Al comparar estos resultados con la Norma Chilena NCh 2880, que establece un límite máximo de 1.000 NMP·g^{-1} para asegurar la inocuidad en compost de Clase A y B, se evidenció que la enmienda no cumplió con lo establecido, ya que, superó 97 veces el límite de seguridad permitido.

De acuerdo con Hayany et al. (2021) la aplicación de abonos orgánicos o compostados inadecuadamente en granjas puede conducir a la propagación y dispersión de bacterias patógenas, esencialmente *E. coli* y *Salmonella* spp. En este sentido, la FAO (2013) sostuvo

latecnica@utm.edu.ec | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

que la presencia de elevadas concentraciones de estos microorganismos en un compost o material orgánico fue consecuencia de un proceso término deficiente. Esto sucede cuando el compost no alcanza las temperaturas adecuadas (fase termofílica) o cuando dichas temperaturas se mantienen por períodos muy cortos para lograr la inactivación biológica. De igual forma, puede presentarse por una contaminación posterior con agua durante las etapas de enfriamiento o por el contacto de vectores externos en el sitio.

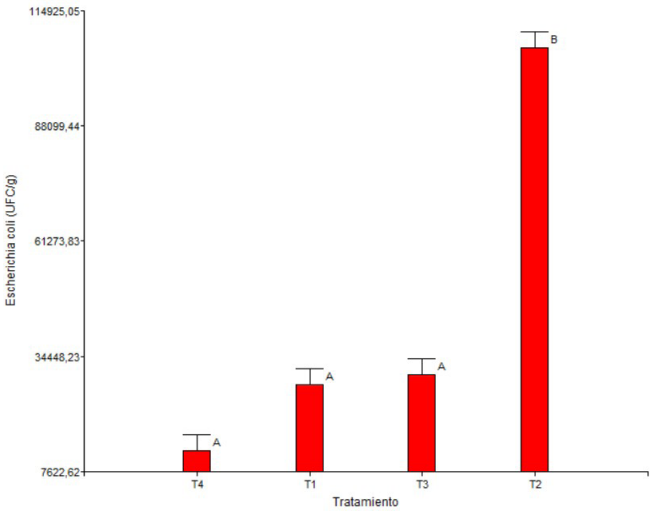

Figura 31. Concentración de Escherichia coli en los distintos tratamientos de enmienda.

En síntesis, la elevada concentración de *E. coli* y la presencia de *Salmonella* spp. en todos los tratamientos, determinó que el proceso de estabilización no garantizó la higienización del material; por tanto, este producto no es apto para uso agrícola en cultivos de consumo humano. Por ende, su uso debería limitarse exclusivamente para la recuperación de suelos erosionados o sistemas forestales.

El análisis de varianza ANOVA reportó diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p>0,0001). Este resultado demostró que la composición específica de cada mezcla de biomasa influyó de manera determinante en la transformación de la materia orgánica, rechazando la idea de que la calidad sea uniforme o persistente en todas las variantes. En la tabla 3 se presenta el cuadro de análisis de la varianza.

Tabla 3. Análisis de la varianza.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16051395833,33	5	3210279266,67	77,56	<0,0001
Replicas	60666666,67	2	30333333,33	0,73	0,5191
Tratamiento	15990729166,67	3	5330243055,56	128,78	<0,0001
Error	248333333,33	6	41388888,89		
Total	16299729166,67	11			

En la tabla 4, se evidencia que T2 con una media de 106.333,33 fue significativamente superior a los otros tratamientos, ya que, al estar solo en el grupo B, indicó que con un 95% de confianza este tratamiento produjo un mayor impacto en la variable medida. Por su parte, los tratamientos que comparten la letra A, demostraron una homogeneidad estadística entre sí. Aun ante las variaciones numéricas observadas entre estos tres grupos, las diferencias no resultaron significativas bajo el margen de error del modelo, lo que indicó un comportamiento similar en su desempeño.

Tabla 4. Prueba de significación de Tukey.

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T4	12500,00	3	3714,34	A	
T1	27833,33	3	3714,34	A	
T3	30166,67	3	3714,34	A	
T2	106333,33	3	3714,34		B

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

En síntesis, la enmienda orgánica producida en la ESPAM MFL, a través de la valorización de biomasa residual agrícola (cáscara de maní y cáscaras de semillas de neem) y pecuaria (estiércol caprino y gallinaza), demostró una notable riqueza mineral. Los hallazgos evidenciaron que T4 se posicionó como el más eficiente en cuanto a microelementos, presentando las concentraciones más altas de Ag, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. Por su parte, el T3 destacó por concentraciones elevadas de Ba, Ca, K Y P, mientras que, T2 obtuvo el mayor contenido de nitrógeno total.

En la investigación de Lorenzo et al. (2016) los contenidos de N estaban en un nivel moderadamente pobre a medio, los de P, K, Ca y Mg eran de nivel alto, por su parte, Mn y Cu eran de nivel bajo. Estos resultados presentaron una ventaja comparativa en la

p-ISSN 1390-6895/e-ISNN 2477-8982 | Vol. 16, Núm. 1 (6-22): Enero-Junio, 2026 | DOI: 10.33936/latecnica.v16i1.8345

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

densidad de los microelementos. El aprovechamiento de la biomasa pecuaria es un factor determinante en este proceso, puesto que, los estiércoles actúan como actividades biológicas que aceleran la humificación. De acuerdo con Vásquez et al. (2020) la incorporación de enmiendas orgánicas al suelo produce efectos positivos tanto en sus características físicas y químicas, ya que, mejoran los niveles de contenido de humus de suelo, fósforo, magnesio y micronutrientes.

Finalmente, se presenta una propuesta sobre estrategias para el uso de enmiendas orgánicas enfocadas en la biorremediación de suelo (tabla 5).

Tabla 5. Estrategias para el uso de enmiendas.

Estrategias para el uso de enmiendas					
Objetivo:	Proponer estrategias para el uso de enmiendas orgánicas de alta calidad en la ESPAM MFL para la recuperación de suelos degradados de actividades agrícolas intensivas.				
Responsable:	Autoridades de la ESPAM MFL				
Lugar de aplicación:	Carrera de Ingeniería Ambiental – ESPAM MFL				
Medida propuesta	Indicador	Medio de verificación	Costo	Relación de las estrategias	
				Libro Blanco de Economía Circular	Metas de los ODS
Implementar un sistema de compostaje o vermicompostaje de desechos de cosecha y estiércol para la producción de enmiendas orgánicas.	Número de sistema de compostaje implementado	Registro fotográfico del sistema de compostaje implementado	$500	Impulsar modelos basura cero. Identificar diversas alternativas de manejo de residuos sólidos orgánicos.	ODS 12.5: Reducir considerablemente la generación de desechos mediante prevención, reducción, reciclado y reutilización.
Efectuar el diagnóstico de suelo para la aplicación de las enmiendas orgánicas.	Diagnóstico de suelo	Informe del diagnóstico de suelo	$1000	Gestión eficaz de los materiales al fin de su vida útil	ODS 2.4: Asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos. ODS 12.4: Gestión ecológica de productos químicos y desechos.
Utilizar las enmiendas orgánicas como fertilización de base para mejorar la fertilidad del suelo.	Superficie cultivada	Registro fotográfico de la aplicación de las enmiendas	$500	Abastecimiento sostenible	ODS 2.4: Sistemas Sostenibles. ODS 12.4: Gestión de desechos. ODS 12.2: Uso eficiente de recursos.
			$2000		

Conclusión

El uso de la composta elaborada con biomasa residual agrícola y pecuaria es una estrategia esencial para transformar un problema de gestión de desechos en una solución ambiental y con alto valor económico. La investigación determinó que la valorización de la biomasa residual agrícola y pecuaria genera una enmienda orgánica de elevada complejidad mineral. No obstante, a pesar de la complejidad multielemental detectada en el tratamiento T4, el producto final no cumple con los estándares establecidos por el manual de AGROCALIDAD en cuanto a macronutrientes (N, P,K) ni en los parámetros de inocuidad biológica debido a

CC BY NC ND

la presencia de *Salmonella* spp. y niveles fuera de norma de *Escherichia coli.* Los resultados evidencian que existieron deficiencias estructurales en el proceso de compostaje, principalmente en la fase de higienización, por tanto, se concluye que el volumen de la pila y la gestión térmica fueron insuficientes para sostener una etapa termofílica adecuadas, permitiendo la persistencia de patógenos. Por tanto, la enmienda obtenida queda restringida exclusivamente a usos en sistemas no alimentarios. En este sentido, es fundamental que para futuras investigaciones se optimice la selección del material de origen y la relación C/N y se tenga un control más riguroso de la humedad, pH y la temperatura.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro [AGROCALIDAD]. (2018). Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/DOCUMENTO_MANUAL%20TECNICO%20PARA%20EL%20REGISTRO%20Y%20CONTROL%20DE%20FERTILIZANTES%20ENMIENDAS%20DE%20SUELO%20Y%20PRODUCTOS%20AFINES%20DE%20USO%20AGRICOLA.pdf

Aguirre, J. (2023). *Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producidos en la planta de valorización de la municipalidad provincial de Leoncio Prado.* Universidad Nacional Agraria de La Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7275110d-9119-4571-86fb-268f8ece1fcd/content

Álvarez, A., Llerena, L. y Reyes, J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, *38*. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916

Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M. y Armando, A. (2020). Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de Allium fistulosum L. cultivado en zonas cercanas al volcán Tungurahua. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, *32*(2), 114 - 126. https://www.redalyc.org/journal/4760/476064168009/html/

Cabrera, V. y Rossi, M. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores.* Universidad Nacional Agraria La Molina: https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/46032920-1e8a-495d-832c-643b0fa65d47

Castro, G. y Daza, M. (2016). Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres. *Producción + Limpia*, *11*(1), 53-65. http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v11n1/v11n1a06.pdf

Corrales, E., Luna, R., Carrión, C., Quinatoa, E. y Espinoza, A. (2024). Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario. *Revista Ciencia y Tecnología*, *17*(2), 64-72. https://doi.org/10.18779/cyt.v17i2.803

Delgado, M. y García, C. (2023). *Contenido nutricional del compost a partir de residuos agropecuarios en la ESPAM MFL.* Repositorio ESPAM MFL. https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2086/1/TIC_IA40D.pdf

Dueñas, J. y Intriago, F. (2021). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, *27*, 26-35. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3674

Escobal, F. y Garro, K. (2020). *Efecto del porcentaje de Saccharomyces Cerevisiae en la calidad y tiempo del compost obtenido con biomasa residual del Mercado Corralón*. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47882/Escobal_CFR-Garro_CKM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Flor, L., Camacho, R., Grass, J. y Cerón, Y. (2023). *Análisis de las potencialidades de los residuos agrícolas, pecuarios y agroindustriales como sustratos de cultivo, como alternativa a nuevos sistemas de producción de alimentos*. Colombia. Primera Edición Sello Editorial Uniautónoma del Cauca.

González, J. (2023). *Valorización de la biomasa generada por el sector porcino en la provincia de Santa Cruz para la producción de compost.* Universidad Católica Santo Toribio de Mogroviejo. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6558/1/TL_GonzalesDiazJorge.pdf

Guarino, F., Improta, G., Triassi, M., Cicatelli, A. y Castiglione, S. (2020). Effects of Zinc Pollution and Compost Amendment on the Root Microbiome of a Metal Tolerant Poplar Clone. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01677

Hayany, B., Fels, L., Ouhdouch, Y. y Hafidi, M. (2021). Fate of pathogenic microorganisms during lagooning sludge composting and exploration of bacteriophages as indicator of hygienization. *Environmental Technology & Innovation*, *21*. https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101268

Hidalgo, K. (2019). *Contenido nutricional del compost elaborado a partir de residuos de soca de maíz (Zea mays L.)*. Repositorio ESPAM MFL.

Jara, J., Gallegos, J. y Pullopaxi, A. (2020). Biotransformación de residuos orgánicos generados en la escuela superior

LA TÉCNICA
Revista de las Agrociencias
e-ISSN 2477-8982

politécnica de Chimborazo-Ecuador mediante compostaje. *InterSedes*, *XXI*(44), 202-221. https://doi.org/10.15517/isucr.v21i44.43944

Kabata, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b10158

Kennou, B., Meray, M. y Arjouni, Y. (2015). Assessment of heavy metal availability (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn) and speciation in contaminated soils and sediment of discharge by sequential extraction. *Environmental Earth Sciences*, *74*, 5849 – 5858.

Loaiza, F. (2020). *Disposición y Reciclaje de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Profesional de Ingeniería Agropecuaria sede Santo Tomás*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5072

López, A., Miguel, N., Jojoa, S., Fernández, J., Gómez, J. y Ormad, M. (2022). Physico-Chemical and Microbiological Control of the Composting Process of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A Pilot-Scale Experience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(23). https://doi.org/10.3390/ijerph192315449

Lorenzo, M., López, A., Saucedo, C., Cortés, J., Jaén, D. y Suárez, J. (2016). Composición nutrimental del nopal verdura producido con fertilización mineral y orgánica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *39*(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000400403

Monsalve, Ó., Gutiérrez, J. y Cardona, W. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *11*(1). https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663

Morales, J. (2020). *Calidad de compost a partir de estiércol de gallinas con aplicación de biochar*. Universidad Católica de Cuenca. https://dspace.ucacue.edu.ec/items/26c03c1b-b4f8-43ed-852f-964729b45ab3

Naeem, A., Aslam, M. y Mühling , K. (2021). Lithium: Perspectives of nutritional beneficence, dietary intake, biogeochemistry, and biofortification of vegetables and mushrooms. *Science of The Total Environment*, *798*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149249

Norma Chilena NCh 2880. (2020). *Compost-Clasificación y requisitos*. https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.* CEPAL: https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] . (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina.* FAO: https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

Ortiz, L. (2020). *Efecto del tipo de estiércol y freuencia de aireación (volteo) en el comportamiento del proceso de compostaje*. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e2e75687-9e0d-419c-a575-eac15755c8ad/content

Paccha, M., Alvarado, V., Heidinger, H. y Ramos, L. (2023). Medición de gases de efecto invernadero en suelos agrícolas y ganaderos mediante cámaras estáticas cerradas en el sector Zalapa, ciudad de Loja. *Bosques Latitud Cero*, *14*(1), 137 - 149. https://doi.org/10.54753/blc.v14i1.2129

Pasqualotto, N. (2022). *Caracterización y aprovechamiento de residuos orgánicos de bodega: compostaje y obtención de enmienda para uso agrícola.* Universidad Nacional de Cuyo. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/17531/pasqualotto-noelia-tesis-de-grado-irnr.pdf

Pereira, J., Contrera, R., Maintinguer, S. y Avezum, M. (2020). Effects of temperature, proportion and organic loading rate on the performance of anaerobic digestion of food waste. *Biotechnology Reports*, *27*. https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00503

Pérez, G. (2023). *Calidad y grupos funcionales microbianos del compost de residuos agropecuarios por efecto de dos biofermentos (montaña y bambusal).* Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/68bb8325-43ff-41bf-8ac3-653d0a38ffb5/content

Quishpe, E. (2023). *Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la comunidad de Pisambilla.* https://repositorio.puce.edu.

CC BY NC ND

ec/server/api/core/bitstreams/597f1a52-696a-4794-90db-6d17d9962487/content

Reyes, Y. (2023). *Infuencia de los sistemas de compostaje en las características físico-químicas del compost elaborado a partir de residuos agrícolas.* Universidad Técnica de Machala. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22849/1/Trabajo_Titulacion_2941.pdf

Torres, D., Mendoza, B., Meru, M. y Gómez, C. (2016). Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor - Venezuela. *Multiciencias*, *16*(2), 133 - 142. https://www.redalyc.org/pdf/904/90452745003.pdf

Vásquez, J., Alvarez, M., Iglesias, S. y Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, *11*(1). http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12

Wei, Y., Zhao, Y., Xi, B., Wei, Z., Li, X. y Cao, Z. (2015). Changes in phosphorus fractions during organic wastes composting from different sources. *Bioresource Technology*, *189*, 349 - 356. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.031

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Jaime Alfredo Zambrano Acosta: conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **José Manuel Calderón Pincay:** conceptualización, metodología, análisis formal, revisión y edición.