



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i1.685>

Recibido: 2026-01-05

Aceptado: 2026-02-03

Publicado: 2026-03-03

Calidad y efecto agronómico del bioabono elaborado a partir de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en el cultivo de rábano Crimson Giant (*Raphanus sativus* Major)

Quality and Agronomic Effect of Biofertilizer Produced from Sewage Sludge of a Wastewater Treatment Plant on Crimson Giant Radish (*Raphanus sativus* Major)

Autores

Edmundo Danilo Guilcapi Pacheco¹

Recursos Naturales Renovables

<https://orcid.org/0000-0001-5072-1437>

eguilcapi@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador

Vicente Javier Parra León²

Recursos Naturales Renovables

<https://orcid.org/0000-0002-7632-2474>

vicente.parra@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador

Susana Monserrath Zurita Polo³

Recursos Naturales Renovables

<https://orcid.org/0000-0002-5325-486X>

susana.zurita@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador

Cristian Santiago Tapia Ramírez⁴

Agronomía

<https://orcid.org/0000-0003-2104-5972>

cristians.tapia@esepoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador

Lisseth Paola Ortiz Cruz⁵

<https://orcid.org/0000-0003-4760-6854>

ortiz.lisseth.lo@gmail.com

Investigador externo

Cómo citar

Guilcapi Pacheco, E. D., Parra León, V. J., Zurita Polo, S. M., Tapia Ramírez, C. S., & Ortiz Cruz, L. P. (2026). Calidad y efecto agronómico del bioabono elaborado a partir de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en el cultivo de rábano Crimson Giant (*Raphanus sativus* Major). *ASCE MAGAZINE*, 5(1), 2051–2063.



Resumen

La adecuada gestión de los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) constituye uno de los principales retos ambientales y sanitarios, debido a su elevada carga microbiológica y a los riesgos asociados a su disposición final. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del bioabono obtenido mediante lombricultura, utilizando la especie *Eisenia foetida* y lodos domésticos provenientes de la PTAR “El Peral”, ubicada en el cantón Ambato, Ecuador, así como analizar su efecto agronómico en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus Major* var. Crimson Giant).

El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, y contempló la evaluación de parámetros físico-químicos, microbiológicos y parasitológicos antes y después del proceso de biotransformación. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la calidad nutricional del material tratado, especialmente en el tratamiento T4, que registró los valores más altos de materia orgánica y macronutrientes, destacándose el nitrógeno (0,39 %), fósforo (3,01 %) y calcio (1,96 %).

No obstante, la reducción de microorganismos patógenos fue variable entre los tratamientos, persistiendo cargas residuales de coliformes y *Salmonella* en algunos casos. En la evaluación agronómica, las plantas de rábano fertilizadas con el bioabono T4 presentaron mayores contenidos de proteína y fibra, aunque se detectó la presencia de bacterias del grupo *Enterobacter/Klebsiella*. En conclusión, si bien la lombricultura mejora de manera significativa la calidad nutricional de los lodos residuales, el bioabono obtenido debe destinarse preferentemente a usos forestales o a la recuperación de suelos, debido a los riesgos sanitarios asociados a su aplicación en cultivos de consumo directo.

Palabras clave: Lombricultura; Lodos residuales; Bioabono; *Eisenia foetida*; Rábano



Abstract

The proper management of sewage sludge generated in wastewater treatment plants (WWTPs) represents a major environmental and public health challenge due to its high microbial load and the risks associated with its final disposal. In this context, the aim of this study was to evaluate the quality of a biofertilizer produced through vermicomposting using *Eisenia foetida* and domestic sludge from the “El Peral” WWTP, located in Ambato, Ecuador, as well as to assess its agronomic effect on radish (*Raphanus sativus* var. Crimson Giant).

The experiment was conducted under a completely randomized design with four treatments and five replicates. Physicochemical, microbiological, and parasitological parameters were analyzed before and after the biotransformation process. The results showed a marked improvement in the nutritional quality of the treated material, particularly in treatment T4, which presented the highest values of organic matter and macronutrients, including nitrogen (0.39%), phosphorus (3.01%), and calcium (1.96%).

However, pathogen reduction varied among treatments, with residual loads of coliforms and *Salmonella* detected in some cases. Agronomic evaluation revealed that radish plants fertilized with T4 biofertilizer had higher protein and fiber contents, although the presence of *Enterobacter/Klebsiella* bacteria was confirmed. In conclusion, while vermicomposting significantly improves the nutritional quality of sewage sludge, the resulting biofertilizer should be mainly used for forestry purposes or soil restoration due to the sanitary risks associated with its application in crops intended for direct human consumption.

Keywords: Vermicomposting; Sewage sludge; Biofertilizer; *Eisenia foetida*; Radish



Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso fundamental para la protección de los ecosistemas y la salud pública, ya que permite reducir la carga contaminante generada por las actividades domésticas, comerciales e industriales. Este proceso integra operaciones físicas, químicas y biológicas orientadas a mejorar la calidad del agua antes de su descarga o reutilización, minimizando así su impacto ambiental (Metcalf & Eddy, 1996).

Si bien el tratamiento de las aguas residuales contribuye de manera positiva a la recuperación de los recursos hídricos, también genera subproductos que requieren una gestión adecuada, entre ellos los lodos residuales. Estos materiales suelen presentar un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, lo que les confiere un potencial valor agronómico. Sin embargo, su elevada carga microbiológica y la posible presencia de patógenos, metales pesados y compuestos tóxicos representan un riesgo ambiental y sanitario si no se someten a un tratamiento previo adecuado (Ramalho, 1996).

En muchas plantas de tratamiento, los lodos son sometidos únicamente a procesos de deshidratación natural, los cuales dependen de las condiciones climáticas y resultan insuficientes para garantizar la inocuidad del material. Frente a esta problemática, la lombricultura, mediante el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se presenta como una alternativa biotecnológica sostenible para la estabilización de lodos residuales, ya que favorece la degradación de la materia orgánica, mejora la disponibilidad de nutrientes y contribuye a la reducción de microorganismos patógenos.

Diversos estudios han demostrado la eficacia del lombricompostaje en el tratamiento de residuos orgánicos y lodos residuales. Vera y Sánchez (2006) reportaron un incremento significativo de macronutrientes y una disminución considerable de coliformes, huevos de helmintos y *Salmonella* en sustratos tratados con *E. foetida*. No obstante, otros autores advierten que, a pesar de estos beneficios, el uso agrícola de biosólidos debe evaluarse cuidadosamente debido a los riesgos sanitarios asociados, especialmente en cultivos hortícolas de consumo directo (Dickerson, 2000).



En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del bioabono obtenido a partir de lodos residuales tratados mediante lombricultura y analizar su efecto agronómico en el cultivo de rábano variedad Crimson Giant (*Raphanus sativus Major*), con el fin de aportar información técnica que permita un uso seguro y sostenible de estos residuos.

Material y métodos

Material

La investigación se desarrolló en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas “El Peral”, localizada en la parroquia Atocha-Ficoa del cantón Ambato, Ecuador. El material de partida consistió en lodos residuales deshidratados provenientes de la fosa séptica de la planta, los cuales corresponden a afluentes de origen exclusivamente doméstico.

Como agente biológico para el proceso de estabilización se utilizaron lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), reconocidas por su alta capacidad de degradación de materia orgánica. Estas fueron suplementadas con residuos vegetales, con el fin de favorecer la actividad biológica y mejorar las condiciones del sustrato durante el proceso de biotransformación (Edwards & Arancon, 2004).

Los ensayos experimentales de lombricultura se realizaron directamente en las instalaciones de la PTAR, mientras que los análisis físico-químicos, microbiológicos, parasitológicos y bromatológicos se llevaron a cabo en los laboratorios de Suelos, Ciencias Biológicas y Bromatología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), pertenecientes a las Facultades de Recursos Naturales y Ciencias.

Métodos

Diseño y Muestreo

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4) y cinco repeticiones por tratamiento ($n = 5$). El volumen de lodo residual fue determinado mediante



medición geométrica en las cámaras de secado de la PTAR. Posteriormente, se realizó un muestreo compuesto al azar para garantizar la representatividad del material analizado.

Para cada fase del estudio (lodo crudo y bioabono tras 28 días de tratamiento), se recolectaron muestras de 1 kg destinadas a análisis físico-químicos y 1 kg para análisis microbiológicos. Las muestras fueron previamente homogeneizadas, colocadas en recipientes estériles y transportadas en condiciones de refrigeración (4 °C), con el objetivo de evitar alteraciones en sus características originales.

Análisis de Laboratorio

La caracterización físico-química incluyó la determinación de pH, conductividad eléctrica y contenido de humedad, siguiendo los métodos estandarizados de la APHA. Asimismo, se analizaron la materia orgánica, los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) y la relación carbono/nitrógeno (C/N), aplicando la metodología de Olsen.

La evaluación microbiológica y parasitológica contempló el recuento de nematodos mediante el método del embudo de Baermann modificado, utilizando 50 g de muestra en inmersión durante 24 horas, seguido de observación microscópica. Adicionalmente, se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de coliformes y enterobacterias mediante el método de diluciones seriadas y recuento en placa.

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos en la caracterización final de los tratamientos fueron analizados estadísticamente. Dado que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad ni de homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas entre las medianas de los tratamientos, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. De acuerdo con Kruskal y Wallis (1952), esta prueba es adecuada para comparar dos o más grupos independientes cuando los datos no cumplen los requisitos necesarios para aplicar pruebas paramétricas.

Resultados

Caracterización del Lodo Residual (material de partida)

La caracterización físico-química inicial del lodo residual evidenció condiciones favorables para su tratamiento biológico (Tabla 1). El material presentó un pH cercano a la neutralidad (6,92) y una conductividad eléctrica moderada (3,27 mS/cm), parámetros que, de acuerdo con lo señalado por Espinoza (2007) y Ortiz-Hernández (1994), resultan adecuados para procesos de compostaje y lombricultura. Asimismo, el contenido de materia orgánica y la relación carbono:nitrógeno (C:N) indican un sustrato con potencial para procesos de biotransformación controlada.

No obstante, el análisis microbiológico y parasitológico evidenció una elevada carga de microorganismos patógenos (Tabla 2). Se registraron altas concentraciones de coliformes fecales y *Salmonella spp.*, así como una abundante presencia de nematodos, lo que concuerda con lo reportado por Zúñiga y Espinoza (2011) y confirma que el lodo residual, en su estado inicial, representa un riesgo sanitario y no es apto para su uso directo en actividades agrícolas, conforme a los criterios establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 1. Caracterización físico-química inicial del lodo residual proveniente de la PTAR “El Peral”

Parámetro	Unidad	Valor
pH	—	6,92
Conductividad eléctrica	mS/cm	3,27
Materia orgánica	%	3,70
Nitrógeno total	%	1,00
Fósforo	%	0,54
Potasio	%	0,07
Relación C:N	—	2,10

Tabla 2. Caracterización microbiológica y parasitológica inicial del lodo residual

Parámetro	Unidad	Valor
-----------	--------	-------



Coliformes fecales	UFC/g	2×10^7
Salmonella spp.	UFC/g	2×10^6
Nematodos	ind/g	1 860

Caracterización Físico-Química del Bioabono

Luego del proceso de lombricultura, los tratamientos evaluados mostraron mejoras en sus características físico-químicas (Tabla 3). En todos los casos se registraron valores de pH próximos a la neutralidad y niveles de conductividad eléctrica inferiores a 4 mS/cm, condiciones que favorecen la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo vegetal, tal como señalan Espinoza (2007) y García et al. (2015).

El tratamiento T4 destacó por presentar los mayores contenidos de materia orgánica y macronutrientes, particularmente nitrógeno, fósforo y calcio, en comparación con los demás tratamientos. Este comportamiento coincide con lo reportado por Domínguez et al. (2010), quienes indican que la actividad de *Eisenia foetida* favorece la mineralización de nutrientes y el incremento del valor fertilizante del material tratado. La relación C:N observada en este tratamiento sugiere, además, una mayor estabilidad del bioabono obtenido.

Tabla 3. Parámetros físico-químicos y macronutrientes del bioabono

Trat.	pH	CE (mS/cm)	MO (%)	C:N	N (%)	P (%)	Ca (%)
T1	6,10	3,30	3,40	1,30	0,36	2,00	0,89
T2	6,45	3,35	4,00	1,40	0,31	2,00	1,00
T3	6,70	3,40	5,80	1,70	0,37	2,76	1,20
T4	6,98	3,50	7,40	1,90	0,39	3,01	1,96

Calidad Microbiológica y Parasitológica

Desde el punto de vista microbiológico, el proceso de lombricultura permitió una reducción considerable de la carga patógena inicial del lodo residual (Tabla 4). En los tratamientos T1, T2 y T3 no se detectó la presencia de *Salmonella spp.*, lo que coincide con lo descrito por Edwards et al. (2011), quienes señalan que el paso del material por el tracto digestivo de las lombrices contribuye a la disminución de microorganismos patógenos.

Sin embargo, el tratamiento T4 presentó concentraciones residuales de coliformes fecales y *Salmonella spp.*, aunque inferiores a las registradas en el material inicial. Este comportamiento podría estar asociado a diferencias en la composición del sustrato o a condiciones específicas del proceso, tal como lo sugieren investigaciones previas sobre lombricompostaje de lodos residuales (García et al., 2015). En cuanto a los nematodos, se observó una reducción notable en todos los tratamientos, en concordancia con lo reportado por Zúñiga y Espinoza (2011).

Tabla 4. Calidad microbiológica y parasitológica del bioabono

Trat.	Coliformes fecales (UFC/g)	Salmonella spp.	Nematodos (ind/g)
T1	5×10^5	No detectado	48
T2	7×10^5	No detectado	≈ 33
T3	2×10^6	No detectado	≈ 33
T4	3×10^6	2×10^5	17

Evaluación Agronómica en Rábano (*Raphanus sativus Major*)

El análisis bromatológico del cultivo de rábano fertilizado con el bioabono evidenció contenidos relevantes de proteína cruda, fibra y cenizas (Tabla 5), lo que refleja una respuesta nutricional favorable de las plantas al tratamiento aplicado. Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan mejoras en la calidad nutricional de cultivos fertilizados con biosólidos tratados biológicamente (Domínguez et al., 2010).

Desde el punto de vista microbiológico, no se detectó la presencia de *Escherichia coli*, *Proteus spp.* ni *Salmonella/Shigella* en el tejido vegetal analizado, lo que coincide con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) para productos agrícolas. No obstante, se registró la presencia de bacterias del grupo *Enterobacter/Klebsiella*, lo que sugiere la posible transferencia de microorganismos asociados al uso de biosólidos tratados, tal como ha sido reportado por García et al. (2015).

Tabla 5. Evaluación bromatológica y microbiológica del cultivo de rábano

Parámetro	Resultado
Proteína cruda (%)	9,73
Fibra (%)	25,00
Cenizas (%)	5,01
<i>E. coli</i>	No detectado
<i>Proteus spp.</i>	No detectado
<i>Salmonella/Shigella</i>	No detectado



Enterobacter/Klebsiella

> 30 UFC/g

Discusión

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial del lodo residual indican que, aunque el material presenta condiciones físico-químicas adecuadas para procesos de compostaje y lombricultura, su elevada carga microbiológica lo clasifica como un residuo potencialmente peligroso. Este comportamiento coincide con lo establecido en normativas internacionales, como la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece límites estrictos para el uso agrícola de lodos y biosólidos.

El proceso de lombricultura permitió mejorar de manera significativa la calidad agrológica del residuo tratado. Los valores de pH cercanos a la neutralidad y la conductividad eléctrica inferior a 4 mS/cm indican un ambiente favorable para la disponibilidad y asimilación de nutrientes, tal como lo reportan Espinoza (2007) y Ortiz-Hernández (1994). El incremento de materia orgánica y macronutrientes observado especialmente en el tratamiento T4 sugiere una mayor eficiencia en los procesos de mineralización y humificación, lo que incrementa el valor fertilizante del bioabono.

No obstante, la reducción de patógenos no fue homogénea entre los tratamientos evaluados. La eliminación total de *Salmonella* en los tratamientos T1, T2 y T3 confirma la eficacia del lombricompostaje para disminuir microorganismos patógenos, principalmente a través de mecanismos como la competencia microbiana y el paso del sustrato por el tracto digestivo de las lombrices. En contraste, la persistencia de *Salmonella* en el tratamiento T4 podría estar relacionada con condiciones específicas de humedad, temperatura o composición del sustrato, lo que pone de manifiesto la necesidad de complementar este proceso con etapas adicionales de higienización. Según Edwards, Arancon y Sherman (2011), el lombricompostaje es capaz de reducir significativamente patógenos como *Salmonella* gracias a la actividad biológica de las lombrices y a la dinámica microbiana del sistema.



La detección de resistencia antimicrobiana en cepas de *Klebsiella* frente a Polimixina B coincide con lo reportado por Labarca y Araos (2009), y representa un riesgo potencial al reutilizar biosólidos en el ambiente. Este hallazgo refuerza la importancia de un control microbiológico riguroso antes de recomendar su aplicación agrícola.

Desde el punto de vista agronómico, el bioabono T4 promovió una mejor respuesta nutricional en el cultivo de rábano, evidenciada por el mayor contenido de proteína y fibra en las plantas. Sin embargo, la presencia de bacterias del grupo *Enterobacter/Klebsiella* en los tejidos vegetales sugiere que el uso de este tipo de bioabonos en hortalizas de consumo directo debe evaluarse con cautela, priorizando su aplicación en cultivos forestales, industriales o en procesos de recuperación de suelos.

En conjunto, los resultados confirman que la lombricultura es una alternativa viable para valorizar lodos residuales, siempre que se consideren medidas adicionales de seguridad sanitaria que garanticen un uso ambientalmente responsable.

Conclusiones

La lombricultura mediante *Eisenia foetida* demostró ser una alternativa eficaz para mejorar la calidad nutricional de lodos residuales provenientes de una PTAR doméstica, incrementando de manera significativa el contenido de materia orgánica y macronutrientes.

No obstante, los resultados evidencian que la mejora agrológica del bioabono no garantiza una eliminación completa de patógenos, particularmente cuando se emplea como único tratamiento. La persistencia de coliformes fecales y *Salmonella* en algunos tratamientos, así como la detección de bacterias con resistencia antimicrobiana, limitan su aplicación en cultivos destinados al consumo humano directo.

En función de los criterios establecidos por normativas internacionales, el bioabono obtenido puede clasificarse como Clase C, recomendándose su uso en aplicaciones forestales, procesos de recuperación de suelos degradados o cultivos industriales. En este sentido, se sugiere complementar la lombricultura con etapas adicionales de tratamiento que permitan mejorar la seguridad microbiológica del producto final.



En conjunto, la valorización de lodos residuales mediante lombricultura constituye una estrategia ambientalmente viable y sostenible, siempre que se implemente bajo un enfoque precautorio que priorice la protección de la salud humana y del ambiente.

Referencias bibliográficas

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>

Chiarpenello, A. (2004). *El vermicompostaje como alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos*. Ediciones Mundi-Prensa.

Dickerson, G. W. (2000). *Biosolids composting in New Mexico*. New Mexico State University Extension Service.

Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2004). *The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes*. CRC Press.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. (2011). *Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC Press.

Espinoza, J. (2007). *Manejo y uso agrícola de residuos orgánicos*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Hirneisen, K. A., Sharma, M., & Kniel, K. E. (2012). Human enteric pathogen internalization by root uptake into food crops. *Foodborne Pathogens and Disease*, 9(5), 396–405. <https://doi.org/10.1089/fpd.2011.1044>

Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>

Labarca, J., & Araos, R. (2009). Resistencia antimicrobiana en bacterias de origen ambiental. *Revista Chilena de Infectología*, 26(6), 534–540. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182009000700007>



Metcalf & Eddy, Inc. (1996). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture*. World Health Organization.

Ortiz-Hernández, L. (1994). *Parámetros de calidad del compost y su aplicación agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo.

Poirel, L., Jayol, A., & Nordmann, P. (2017). Polymyxins: Antibacterial activity, susceptibility testing, and resistance mechanisms. *Clinical Microbiology Reviews*, 30(2), 557–596. <https://doi.org/10.1128/CMR.00064-16>

Ramalho, R. S. (1996). *Introduction to wastewater treatment processes* (2nd ed.). Academic Press.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental—Lodos y biosólidos*. Diario Oficial de la Federación.

United States Environmental Protection Agency. (2001). *Biosolids applied to land: Advancing standards and practices*. U.S. Environmental Protection Agency.

Vera, L., & Sánchez, J. (2006). Evaluación del lombricompostaje de lodos residuales con *Eisenia foetida*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 12(2), 45–56.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

