Agricolae & Habitat
Revista de Investigación Formativa
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

SECCIÓN AGRÍCOLA

Fecha de recibido: 26-11-2025
Fecha de aceptado: 8-05-2026
DOI: 10.22490/26653176.10902

EL LOMBRICOMPOST COMO ESTRATEGIA SOSTENIBLE PARA LA PROTECCIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA

THE EARTHWORM COMPOST AS A SUSTAINABLE STRATEGY FOR THE PROTECTION OF AGRICULTURAL SOIL

Marisela Castro Solera
Estudiante del programa de Agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7010-8476
Correo electrónico: mcastrosole@unadvirtual.edu.co

Yenny Maritza Camacho Torres
Docente en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8668-6274
Correo electrónico: yenny.camacho@unad.edu.co

Edelmira Alarcón Álvarez
Egresada del programa de Agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4393-6795
Correo electrónico: ealarconal@unadvirtual.edu.co

Citación: Castro Solera, M., Camacho Torres, Y. M., y Alarcón Álvarez, E. (2026). El lombricompost como estrategia sostenible para la protección del suelo agrícola. *Agricolae & Habitat*, *9*(1), (9-31. https://doi.org/10.22490/26653176.10902

RESUMEN

Contextualización: La degradación de los suelos agrícolas representa uno de los principales desafíos para la sostenibilidad alimentaria global. Según la FAO (2019), más del 33 % de los suelos presenta algún grado de degradación, agravada por el uso de fertilizantes químicos, pesticidas y labranza inadecuada, factores que generan la pérdida de materia orgánica, compactación y la reducción de la microbiota benéfica (Cifuentes, 2023; FAO, 2021). Ante esta problemática, la lombricultura emerge como estrategia agroecológica con respaldo científico para la restauración de la salud del suelo.

Vacío de conocimiento: Persisten limitaciones en la literatura: existe escasez de estudios a largo plazo en condiciones latinoamericanas, ausencia de protocolos estandarizados y una escasa integración en las políticas de extensión agrícola. Asimismo, se identifican vacíos sobre el efecto acumulativo del lombricompost ante el cambio climático y sobre los mecanismos microbiológicos de supresión de patógenos edáficos.

Propósito: Analizar la evidencia científica sobre los beneficios del lombricompost como estrategia sostenible para la protección del suelo agrícola, describiendo su producción, sus efectos sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su potencial para contribuir a los sistemas agrícolas más resilientes.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática de la literatura publicada entre 2001 y 2025, con énfasis en los últimos siete años. Para la búsqueda de la información, se consultó en SciELO, Google Scholar, Dialnet, Redalyc, Scopus y Web of Science, empleando descriptores en español e inglés bajo la adaptación del protocolo PRISMA y aplicando criterios rigurosos de inclusión y exclusión. El corpus final quedó conformado por 64 referencias de un total de 312 iniciales.

Resultados y conclusiones: El lombricompost, producido principalmente por *Eisenia foetida*, mejora la porosidad y retención hídrica del suelo hasta en un 20 % (Blouin et al., 2013; Mendoza et al., 2024), aporta nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) biodisponibles, estabiliza el pH y eleva la capacidad de intercambio catiónico (Edwards y Arancon, 2022). Asimismo, estimula la biomasa microbiana en más del 40 % y suprime patógenos como *Fusarium* spp. y *Pythium* spp. (Fernández-Gómez et al., 2010). Su aplicación en cultivos de tomate, maíz, café y chile jalapeño igualó o superó los rendimientos obtenidos mediante la fertilización química, lo que permitió reducir el uso de esta última entre un 25 % y un 75 % (Ayala-Tafoya et al., 2025; Gutiérrez-Miceli et al., 2007). Por lo tanto, se concluye que el lombricompost es una herramienta integral para la transición hacia modelos de agricultura sostenible y climáticamente resiliente, con un alto potencial de adopción en los contextos latinoamericanos.

Palabras clave: agroecología, abonos orgánicos, sostenibilidad agrícola, regeneración de suelos, vermicompostaje, *Eisenia foetida*.

ABSTRACT

Contextualization: The progressive degradation of agricultural soils is one of the greatest threats to global food sustainability. FAO (2019) reports that more than 33 % of the world soils are degraded, worsened by intensive use of chemical fertilizers, pesticides and inadequate tillage, causing organic matter loss, compaction and reduction of beneficial microbiota (Cifuentes, 2023; FAO, 2021). Vermicomposting has emerged as one of the most scientifically supported agroecological strategies for soil restoration.

Knowledge gap: Key limitations persist in the literature: scarce long-term comparative studies under Latin American edaphoclimatic conditions, lack of standardized protocols, and limited integration into agricultural extension policies. Gaps remain regarding the cumulative effect of vermicompost on productive resilience to climate change and the microbiological mechanisms underlying soil pathogen suppression.

Purpose: To systematically analyze scientific evidence on the benefits of vermicompost as a sustainable strategy for agricultural soil protection, describing its production process, effects on physical, chemical and biological soil properties, and its potential to support the transition toward more resilient and sustainable farming systems.

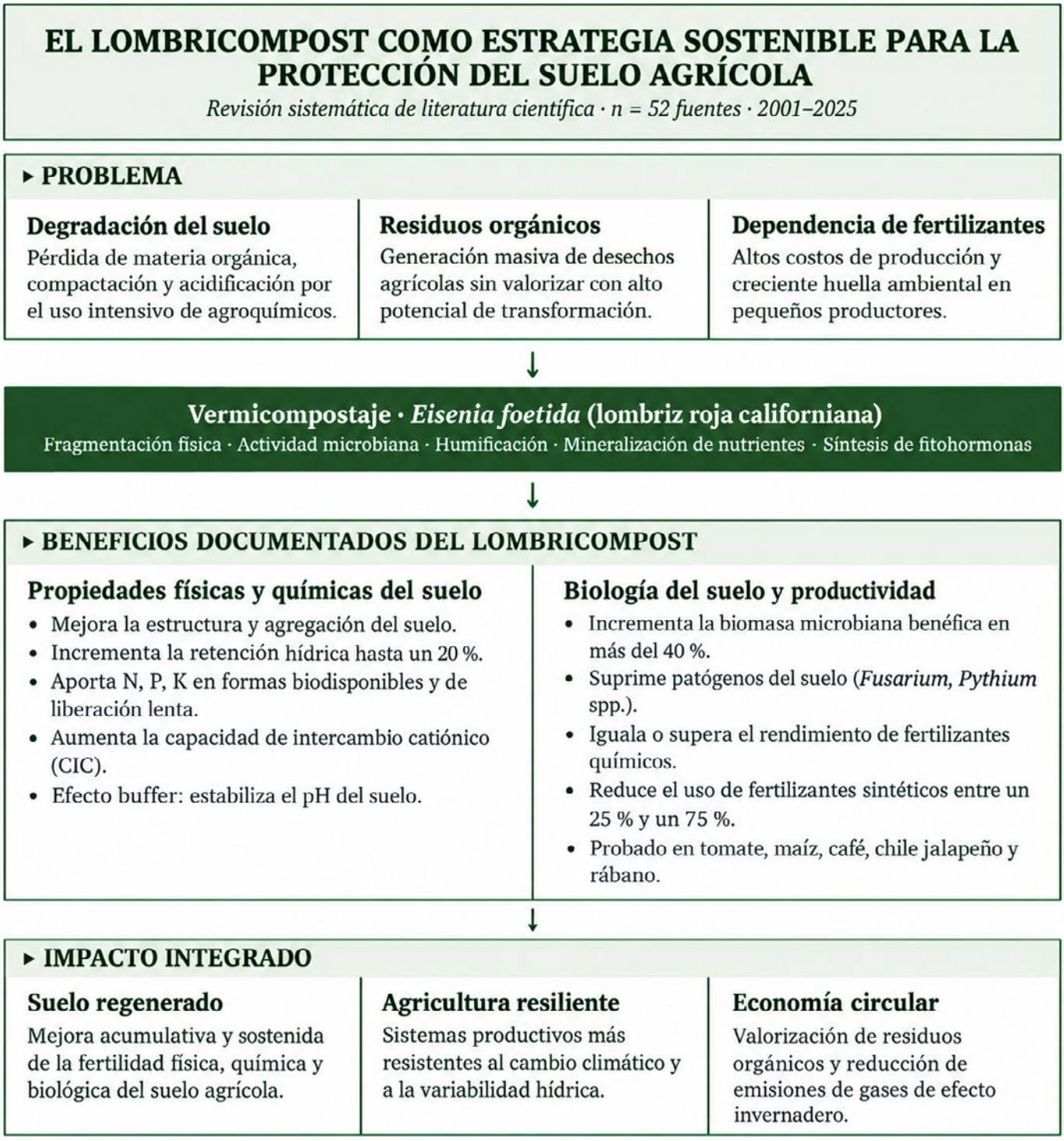
Methodology: A systematic review of literature published between 2001 and 2025 was conducted, emphasizing the last seven years, consulting SciELO, Google Scholar, Dialnet, Redalyc, Scopus and Web of Science, using Boolean operators and rigorous inclusion/exclusion criteria under an adapted PRISMA protocol. The final corpus comprised 64 references from 312 retrieved.

Results and conclusions: Vermicompost, produced mainly by *Eisenia foetida*, improves soil porosity and water retention up to 20 % (Blouin et al., 2013; Mendoza et al., 2024); supplies bioavailable N, P and K, stabilizes pH and increases cation exchange capacity (Edwards y Arancon, 2022). It stimulates microbial biomass by over 40 % and suppresses pathogens such as *Fusarium* spp. and *Pythium* spp. (Fernandez-Gomez et al., 2010). Application in tomato, maize, coffee and jalapeno equaled or exceeded chemical fertilization yields while reducing synthetic fertilizer use by 25-75 % (Ayala-Tafoya et al., 2025; Gutierrez-Miceli et al., 2007). Vermicompost is a comprehensive tool for transitioning toward climate-resilient, sustainable agriculture, with high adoption potential among Latin American producers.

Keywords: agroecology, organic fertilizers, agricultural sustainability, soil regeneration, vermicomposting, *Eisenia foetida*.

RESUMEN GRÁFICO

Figura 1. Beneficios del lombricompost en la protección y restauración del suelo agrícola



Fuente: elaboración propia.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos agrícolas representa uno de los desafíos ambientales y productivos más urgentes del siglo XXI a escala global. Según la FAO (2019), más del 33 % de los suelos del planeta están degradados en algún grado, con consecuencias directas sobre la seguridad alimentaria de más de tres mil millones de personas. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático advierte que la pérdida de suelos fértiles podría reducir la producción agrícola mundial entre un 10 % y un 25 % hacia 2050 si no se adoptan medidas correctivas urgentes (IPCC, 2019). Asimismo, el crecimiento poblacional acelerado intensifica esta presión sobre los ecosistemas productivos, generando un deterioro progresivo del suelo y del agua (ONU, 2019). Esta situación es especialmente crítica en las regiones tropicales y subtropicales de América Latina, en las que los suelos presentan una alta vulnerabilidad a los procesos de erosión, acidificación y pérdida de materia orgánica, y en las que la agricultura familiar de pequeña escala sostiene la seguridad alimentaria de millones de familias rurales (FAO, 2021).

El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas, característico de la agricultura convencional intensificada desde mediados del siglo XX bajo el modelo de la Revolución Verde, ha provocado consecuencias negativas profundas y documentadas a nivel mundial: pérdida de materia orgánica del suelo, compactación, alteración del pH, disminución drástica de microorganismos benéficos y lixiviación de nutrientes hacia cuerpos de agua (Cifuentes, 2023; FAO, 2021). Estudios realizados en Asia, África y América Latina reportan que los suelos con más de 30 años de manejo convencional intensivo han perdido entre el 40 % y el 60 % de su contenido original de materia orgánica, con reducciones equivalentes en su capacidad productiva (Lim et al., 2016). Esta dependencia de insumos sintéticos no solo degrada los ecosistemas, sino que representa un incremento de costos para los productores y genera emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la fabricación y el transporte de agroquímicos (Lim et al., 2016; Ramos Oseguera et al., 2019).

Ante esta problemática, la agroecología propone un conjunto de estrategias orientadas a restaurar la calidad del suelo, reducir la dependencia de insumos externos y fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos. Dentro de estas estrategias, la lombricultura y la producción de lombricompost han ganado especial relevancia en los últimos años, tanto por su efectividad comprobada como por su bajo costo de implementación (Domínguez y Edwards, 2011; Lazcano y Domínguez, 2011).

La lombricultura es una biotecnología que aprovecha la capacidad de ciertas especies de lombrices, especialmente *Eisenia foetida* (conocida como lombriz roja californiana), para transformar los residuos orgánicos en un abono de alta calidad denominado lombricompost, humus de lombriz o vermicompost. Este proceso, conocido como vermicompostaje, combina la acción física de las lombrices (fragmentación y mezcla del sustrato) con la actividad de los microorganismos asociados a su tracto digestivo, generando un producto final con propiedades físicas, químicas y biológicas superiores a las del compost convencional (Domínguez, 2004; Edwards y Arancon, 2022).

El lombricompost se caracteriza por su elevado contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en formas biodisponibles, así como por la presencia de compuestos húmicos, ácidos fúlvicos, fitohormonas y una rica comunidad microbiana. Estos componentes actúan de manera sinérgica para mejorar la estructura del suelo, incrementar la retención hídrica, estimular la actividad biológica del suelo y promover el crecimiento radicular de las plantas (Canellas et al., 2002; Muscolo et al., 1999; Navarro, 2023).

Numerosas investigaciones han demostrado que la aplicación de lombricompost puede sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos en una amplia variedad de cultivos, incluyendo hortalizas, cereales, frutales y cultivos industriales, sin sacrificar la productividad y obteniendo mejoras sustanciales en la calidad de los productos cosechados (Ayala-Tafoya et al., 2025; García-Herrera et al., 2019; Gutiérrez-Miceli et al., 2007). Además, su uso contribuye a la economía circular al convertir los residuos orgánicos, que de otra forma representarían un problema ambiental, en un recurso productivo de alto valor (Lim et al., 2016).

A pesar de este potencial, la adopción del lombricompost en sistemas agrícolas a gran escala enfrenta barreras relacionadas con el desconocimiento de los productores, la falta de protocolos estandarizados de producción y aplicación, y la ausencia de políticas públicas que incentiven su uso. Ante este panorama, se plantea el siguiente problema de investigación: ¿cuál es la evidencia científica disponible sobre la efectividad del lombricompost como estrategia sostenible para la protección y restauración del suelo agrícola, y cuál es su potencial real de adopción en el contexto latinoamericano? Por consiguiente, resulta fundamental sintetizar y difundir el conocimiento científico disponible sobre los beneficios y las aplicaciones del lombricompost, especialmente en regiones donde la degradación del suelo es un problema prioritario.

En consecuencia, el presente trabajo de revisión tiene como objetivo analizar de manera rigurosa y crítica la evidencia científica publicada sobre los beneficios del lombricompost como estrategia sostenible para la protección del suelo agrícola. De manera específica, se busca: (a) describir el proceso de producción y las características del lombricompost; (b) analizar sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; (c) revisar los resultados de su aplicación en diferentes sistemas de cultivo; y (d) evaluar su potencial para contribuir a la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes frente al cambio climático.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Tipo de estudio

El presente trabajo corresponde a una revisión sistemática de la literatura científica de carácter cualitativo y descriptivo, siguiendo los lineamientos del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) adaptado a revisiones de literatura en ciencias agrícolas (Moher et al., 2009). Por tratarse de una revisión documental, no contempla actividades experimentales de campo ni de laboratorio, por lo que no aplican los componentes de sitio de estudio,

coordenadas geoclimáticas, animales de experimentación ni aspectos éticos de manejo animal. El propósito es sintetizar y analizar críticamente el conocimiento disponible sobre la producción y aplicación del lombricompost como estrategia sostenible para la protección del suelo agrícola, con énfasis en el contexto latinoamericano.

1.2 Protocolo de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó desde julio dell 2025 mediante la consulta de las siguientes bases de datos y repositorios académicos: SciELO (Scientific Electronic Library Online), Google Scholar, Dialnet, Redalyc, Scopus (acceso institucional), Web of Science, repositorios institucionales de universidades latinoamericanas y bases de datos de organismos internacionales —tales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR)——.

Los términos de búsqueda empleados, tanto en español como en inglés, incluyeron los descriptores: "lombricompost", "vermicompost", "humus de lombriz", "*Eisenia foetida*", "lombricultura", "suelo agrícola", "fertilidad del suelo", "materia orgánica", "microbiota del suelo", "agricultura sostenible", "agroecología", "*vermicomposting*", "*soil fertility*", "*organic amendment*", "*earthworm compost*" y "*sustainable agriculture*". Estos descriptores se combinaron mediante los operadores booleanos AND, OR y NOT para maximizar la pertinencia de los resultados.

1.3 Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos de investigación originales, artículos de revisión, tesis doctorales, informes técnicos y manuales publicados entre el 2001 y el2025, con énfasis en publicaciones de los últimos siete años (2018-2025). Asimismo, se priorizaron las fuentes indexadas en revistas con sistema de arbitraje por pares (*peer-review*). Por el contrario, se excluyeron fuentes sin respaldo científico verificable, publicaciones en idiomas distintos al español, inglés y portugués, y estudios con metodologías claramente deficientes o sin validación estadística.

Los criterios de selección temática incluyeron estudios que abordaran: (a) el proceso de producción y caracterización del lombricompost; (b) las propiedades físicas, químicas y biológicas del humus sólido y líquido; (c) los efectos del lombricompost sobre la fertilidad y estructura del suelo; (d) el impacto sobre la microbiota edáfica; (e) las experiencias de aplicación en cultivos específicos; y (f) las comparaciones entre el lombricompost y los fertilizantes convencionales.

1.4 Proceso de selección y análisis

El proceso de selección se realizó en tres fases consecutivas, siguiendo el protocolo PRISMA (Moher et al., 2009):

1. Identificación: se recuperó un total de 312 referencias mediante las búsquedas realizadas en las bases de datos mencionadas.

2. Tamizaje: se eliminaron los registros duplicados y se revisaron títulos y re-

súmenes para evaluar la pertinencia temática, lo que dio como resultado 118 referencias preseleccionadas.

3. Elegibilidad y síntesis: se realizó la lectura completa de los textos preseleccionados, aplicando los criterios de inclusión y exclusión. Esta fase permitió seleccionar 55 referencias en la revisión final, a las que se sumaron 9 referencias adicionales incorporadas en etapas posteriores de análisis, completando un corpus final de 64 fuentes.

Dado que el protocolo PRISMA es un método ya publicado y ampliamente validado, en esta sección únicamente se describen las adaptaciones realizadas para ajustarlo al campo de las ciencias agrícolas y la revisión de literatura sobre lombricompost.

La información obtenida se organizó en categorías temáticas: (a) caracterización y composición del lombricompost; (b) efectos sobre las propiedades físicas del suelo; (c) efectos sobre las propiedades químicas del suelo; (d) impacto sobre la microbiota y la actividad biológica; y (e) aplicaciones en cultivos. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo e integrador de los hallazgos para identificar coincidencias, divergencias y tendencias en la investigación.

1.5 Diagrama del proceso de la revisión bibliográfica

A continuación, se presenta el diagrama PRISMA adaptado que resume el proceso de identificación, tamizaje, elegibilidad e inclusión de fuentes para la presente revisión:

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de la revisión bibliográfica (adaptado de PRISMA)

Fase 1. Identificación
Búsqueda en SciELO, Google Scholar, Dialnet, Redalyc, Scopus, Web of Science, repositorios institucionales y FAO.
Total de referencias recuperadas: $n = 312$.
Fase 2. Tamizaje
Eliminación de duplicados: $n = 84$ excluidos.
Revisión de títulos y resúmenes: $n = 110$ excluidos por baja pertinencia temática.
Referencias preseleccionadas: $n = 118$.
Fase 3. Elegibilidad
Lectura completa de los textos preseleccionados: $n = 118$.
Excluidos por no cumplir los criterios de inclusión (metodología deficiente, fuera de periodo o sin arbitraje): $n = 54$.
Fase 4. Inclusión final: $n = 63$ referencias incluidas en la revisión.

Fuente: elaboración propia.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Caracterización y propiedades del lombricompost

El lombricompost es el producto del metabolismo catabólico de las lombrices de tierra sobre los sustratos orgánicos. A diferencia del compost convencional, que se produce únicamente mediante la acción de microorganismos en condiciones controladas de temperatura, el vermicompostaje involucra la acción sinérgica de las lombrices y una comunidad microbiana diversa asociada a su tracto digestivo (Domínguez, 2004; Lazcano et al., 2008). Este proceso resulta en un producto con una composición química, física y biológica que lo diferencia notablemente de otras enmiendas orgánicas, lo que explica su creciente adopción como alternativa a los fertilizantes sintéticos en sistemas agrícolas de diversa escala.

En términos de composición química, el lombricompost presenta contenidos variables de nitrógeno total (1,5-3,5%), fósforo disponible (0,5-1,5%), potasio (0,8-2,0%), calcio, magnesio y micronutrientes esenciales como zinc, hierro, manganeso y cobre (Edwards y Arancon, 2022; Navarro, 2023). Estos nutrientes se encuentran en formas orgánicas e inorgánicas que permiten su liberación gradual y sostenida, evitando los picos de concentración que pueden provocar los fertilizantes sintéticos y reduciendo los riesgos de lixiviación y contaminación de acuíferos (Aguilar-Chávez et al., 2012; Parkin y Berry, 1994). Esta característica resulta especialmente relevante en el contexto de producción latinoamericana, en la cual la contaminación de fuentes hídricas por lixiviados agrícolas es un problema documentado en regiones como la Sabana de Bogotá, el Bajío mexicano y el Valle del Cauca (FAO, 2021).

Particularmente importantes son las sustancias húmicas presentes en el lombricompost. Los ácidos húmicos y fúlvicos, generados durante el proceso de humificación, tienen la capacidad de mejorar la agregación de partículas del suelo, aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), quelatar metales pesados reduciendo su biodisponibilidad y estimular directamente el crecimiento vegetal al actuar como señales moleculares que activan enzimas relacionadas con la absorción de nutrientes (Canellas et al., 2002; García-Sánchez et al., 2015; Muscolo et al., 1999). Por su parte, Benítez et al. (2005) demostraron que las sustancias húmicas extraídas del vermicompost presentan una mayor actividad enzimática hidrolítica que las del compost convencional, lo que favorece la mineralización de compuestos orgánicos complejos.

Asimismo, el lombricompost contiene una rica comunidad microbiana que incluye bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrícicos, actinomicetos y bacterias solubilizadoras de fósforo. Estudios con técnicas moleculares avanzadas han demostrado que el vermicompostaje aumenta significativamente la diversidad funcional de la microbiota, generando un producto con una comunidad microbiana más equilibrada y activa que el compost convencional o el estiércol fresco (Aira et al., 2007; Dees y Ghiorse, 2001; Fernández-Gómez et al., 2011; Mulatu y Bayata, 2024). Esta riqueza microbiana es transferida al suelo con la aplicación del lombricompost, con efectos positivos inmediatos sobre la mineralización de nutrientes y la supresión de patógenos. Desde la perspectiva del manejo

agroecológico, este aporte biótico representa una ventaja diferencial frente a los fertilizantes sintéticos, que solo aportan nutrientes sin contribuir a la restauración de la vida del suelo.

2.2 Efectos sobre las propiedades físicas del suelo

La degradación estructural del suelo es uno de los problemas más graves asociados a las prácticas agrícolas intensivas. La compactación reduce la macroporosidad, limita la infiltración del agua, dificulta el crecimiento radicular y provoca mayor escorrentía superficial y erosión. Por lo tanto, el lombricompost contribuye de manera significativa a revertir este proceso mediante la mejora de la agregación del suelo (Blouin et al., 2013; Mendoza et al., 2024).

Los compuestos húmicos del lombricompost actúan como agentes cementantes que favorecen la formación y estabilización de agregados estables en el suelo. Estos agregados mejoran la estructura porosa del suelo, incrementan la macroporosidad y mejoran la circulación de aire y agua por medio del perfil edáfico (Edwards y Lofty, 1977; Ingham, 2009). Por su parte, Andrade Ramírez (2024) reporta incrementos en la retención de agua de hasta un 20 % en suelos arenosos tratados con humus de lombriz, lo que resulta especialmente significativo en contextos de sequía o distribución irregular de precipitaciones.

De igual forma, Mora-Mata et al. (2021) documentaron mejoras sustanciales en la capacidad de retención hídrica de suelos tratados con lombricompost en sistemas de producción bajo invernadero en Costa Rica. Sus resultados mostraron que la aplicación de dosis de 5 ton/ha de lombricompost produjo incrementos estadísticamente significativos en la humedad gravimétrica del suelo, la densidad aparente y la porosidad total, en comparación con tratamientos sin enmienda orgánica. En línea con estos hallazgos, Suthar (2009) reportó que el vermicompost mejora la textura del suelo tanto en suelos franco-arcillosos como arenosos, reduciendo la plasticidad en suelos pesados y aumentando la cohesión en suelos arenosos.

Otro efecto relevante es la reducción de la densidad aparente del suelo, indicador clave de la compactación. La incorporación regular de lombricompost aumenta el contenido de materia orgánica, lo que a su vez reduce la densidad aparente y mejora las condiciones para el desarrollo radicular (Kolbe y Juma, 1989; Mapako et al., 2020). Estudios en cultivos de maíz y hortalizas en Colombia (Benavides-Bolaños et al., 2020; Torres-García et al., 2024) reportaron reducciones de la densidad aparente de entre 0,1 y 0,3 g/cm³ tras una temporada de aplicación de lombricompost, con mejoras visibles en el vigor de las plantas. Estos resultados son consistentes con los reportados en contextos similares de América Latina y evidencian que el lombricompost no solo actúa como fertilizante, sino como restaurador estructural del suelo, lo que lo posiciona como una herramienta de rehabilitación en suelos con historial de manejo intensivo.

2.3 Efectos sobre las propiedades químicas del suelo

El lombricompost tiene efectos profundos sobre las propiedades químicas del suelo que van mucho más allá del simple aporte de macronutrientes. Su capacidad de modificar el

pH, incrementar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aumentar el contenido de carbono orgánico y mejorar la disponibilidad de micronutrientes lo convierte en una enmienda de amplio espectro (Edwards y Arancon, 2022; Lazcano y Domínguez, 2011).

El aporte de nitrógeno por parte del lombricompost es cuantioso y, lo que es más importante, se produce en formas de liberación lenta que minimizan las pérdidas por volatilización, desnitrificación y lixiviación. Por su parte, Domínguez y Edwards (2011) demostraron que el nitrógeno del lombricompost se mineraliza de manera más gradual y uniforme que el del compost convencional, proporcionando un suministro sostenido a los cultivos a lo largo de la temporada. Esta característica permite reducir significativamente la frecuencia y cantidad de fertilizaciones nitrogenadas, con el consiguiente ahorro económico y ambiental.

En cuanto al fósforo, el lombricompost no solo aporta este nutriente en formas orgánicas e inorgánicas, sino que también mejora su disponibilidad mediante el incremento de la actividad de la enzima fosfatasa, producida por los microorganismos del suelo. En consecuencia, Ayala-Tafoya et al. (2025) demostraron que la aplicación del lombricompost en chile jalapeño permitió reducir entre un 25% y un 75% el uso de fertilizantes fosfatados sintéticos sin afectar el rendimiento del cultivo, evidenciando la capacidad del lombricompost para mejorar la eficiencia de uso del fósforo edáfico. Resultados similares han sido reportados por Gutiérrez-Miceli et al. (2007) en cultivos de tomate y por Yadav y Garg (2011) en estudios de reciclaje de residuos orgánicos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, que determina su habilidad para retener cationes nutritivos como calcio, magnesio, potasio y amonio, mejora significativamente con la aplicación del lombricompost. El incremento de la CIC se relaciona con el aumento del contenido de humus y ácidos húmicos, que tienen una alta densidad de cargas negativas superficiales capaces de adsorber cationes del suelo (Canellas et al., 2002; Tognetti et al., 2007). Asimismo, Ramos Oseguera et al. (2019) reportaron incrementos de hasta cuatro cmol(+)/kg en la CIC de suelos franco-arenosos tratados con lombricompost de cacahuate, lo que se tradujo en mejoras significativas en la eficiencia de absorción de nutrientes por las plantas. Este hallazgo es de particular importancia en suelos tropicales latinoamericanos, en los cuales la baja CIC natural es uno de los factores limitantes más frecuentes de la productividad agrícola.

Respecto a la corrección del pH, el lombricompost ejerce un efecto buffer que tiende a estabilizar el pH del suelo en rangos próximos a la neutralidad, independientemente de si el suelo es ácido o alcalino. Esta capacidad de taponamiento es especialmente valiosa en suelos con problemas de acidez o alcalinidad extrema, en los que la disponibilidad de nutrientes se ve comprometida (Azim et al., 2018; García-Herrera et al., 2019).

2.4 Efectos sobre la microbiota y actividad biológica del suelo

La vida en el suelo es fundamental para el funcionamiento de los agroecosistemas. Los microorganismos del suelo son responsables de los procesos críticos como la mineralización

de la materia orgánica, la fijación biológica del nitrógeno, la solubilización del fósforo, la degradación de contaminantes y la supresión natural de patógenos. La agricultura convencional, con su dependencia de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, ha causado una dramática reducción de la diversidad y actividad microbiana en los suelos agrícolas (Blouin et al., 2013; FAO, 2019).

El lombricompost, al aportar al suelo una comunidad microbiana diversa y activa, contribuye a restaurar la biota edáfica degradada. En consonancia a esto, Bioproi (2024) reporta que la aplicación de lombricompost puede incrementar la biomasa microbiana del suelo en más del 40 % en comparación con los suelos no enmendados, obteniendo efectos positivos sobre la actividad enzimática total y la respiración del suelo, indicadores de la salud biológica del suelo. La diversidad funcional de la microbiota, evaluada mediante análisis de perfiles Biolog, también mejora significativamente con el uso de lombricompost (Fernández-Gómez et al., 2011).

Por su parte, Álvarez-Solis et al. (2010) documentaron aumentos significativos en las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum, Rhizobium*), hongos micorrícicos y bacterias solubilizadoras de fósforo en suelos de maíz tratados con lombricompost en México. Estos microorganismos benéficos no solo mejoran la nutrición de las plantas, sino que también protegen las raíces frente a patógenos del suelo mediante la competencia por nutrientes y espacio, la producción de antibióticos naturales y la inducción de resistencia sistémica en las plantas.

La supresión de enfermedades es uno de los efectos más documentados del lombricompost. Distintas investigaciones en cultivos de hortalizas, café y fresa reportan reducciones significativas en la incidencia de enfermedades causadas por *Fusarium oxysporum*, *Pythium* spp., *Phytophthora* spp. y otros patógenos del suelo, en parcelas tratadas con lombricompost (Andrade Ramírez, 2024; Céspedes, 2019). Esta capacidad de supresión biológica es atribuida tanto a los microorganismos aportados por el lombricompost como a los compuestos fenólicos y ácidos orgánicos presentes en el humus, los cuales actúan como fungistáticos naturales (Contreras-Ramos et al., 2006; Rodríguez-Canché et al., 2010). Desde el punto de vista del manejo integrado de las plagas y las enfermedades, este efecto tiene implicaciones económicas significativas, ya que puede reducir los costos asociados al uso de fungicidas sintéticos y disminuir los riesgos de resistencia de los patógenos a los plaguicidas convencionales.

Un aspecto particularmente interesante es el efecto del lombricompost sobre las poblaciones de lombrices de tierra nativas del suelo. Por su parte, Blouin et al. (2013), en su exhaustiva revisión del impacto de las lombrices sobre las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos, concluyeron que la presencia de lombricompost puede atraer y mantener mayores poblaciones de lombrices nativas, creando un círculo virtuoso de mejora de la biota edáfica y la calidad del suelo.

2.5 Aplicaciones en cultivos y resultados productivos

La eficacia del lombricompost ha sido evaluada en una amplia gama de cultivos bajo diferentes

condiciones edafoclimáticas. Los resultados, en conjunto, demuestran que la aplicación del lombricompost puede igualar o superar el rendimiento obtenido con fertilizantes químicos en la mayoría de los cultivos, con beneficios adicionales en la calidad de los productos cosechados y la salud del suelo (Atiyeh et al., 2000; Blouin et al., 2019; Duan et al., 2021; Joshi et al., 2015).

En cultivos hortícolas, Gutiérrez-Miceli et al. (2007) demostraron que la aplicación del lombricompost en dosis de 5 ton/ha en cultivos de tomate produjo rendimientos iguales a los obtenidos con la fertilización química convencional, con mejoras significativas en la calidad de los frutos (mayor contenido de sólidos solubles, mejor coloración y mayor tiempo de vida en anaquel). Por su parte, García-Herrera et al. (2019) reportaron resultados similares en tomate bajo invernadero en México, con aumentos en el rendimiento del 12-18 % respecto al testigo sin enmienda orgánica y reducciones del 30 % en la incidencia de enfermedades foliares.

En los cereales, Chan y Griffiths (1988) y Hartenstein et al. (1979), pioneros en el estudio del vermicompostaje, establecieron las bases para entender la disponibilidad de nutrientes del lombricompost en cultivos de alto requerimiento nutricional. Asimismo, las investigaciones más recientes en cultivos de maíz (Álvarez-Solis et al., 2010) y arroz han confirmado que la sustitución del 50-75 % de la fertilización nitrogenada sintética por lombricompost no reduce el rendimiento y mejora la eficiencia de uso del nitrógeno.

En la caficultura, el uso del lombricompost producido a partir de la pulpa de café y otros residuos del procesamiento ha demostrado un unpotencial para reducir los costos de fertilización y mejorar la calidad del grano (Bonilla-Hermosa et al., 2014; Reyes- Reyes et al., 2021). Por su parte, Andrade Ramírez (2024) reporta que en las fincas cafeteras de Colombia y Costa Rica, la aplicación combinada de lombricompost sólido y humus líquido mejoró el vigor de las plantas, redujo la incidencia de broca y roya, e incrementó el peso de los granos en un 15-22 % respecto a las parcelas con fertilización convencional exclusiva.

Por otro lado, Ramos Oseguera et al. (2019) evaluaron el efecto del lombricompost producido a partir de cacahuate sobre la fertilidad de los suelos franco-arenosos en México, encontrando incrementos significativos en el contenido de materia orgánica (2,1 a 3,4 %), nitrógeno disponible y fósforo extractable, con incrementos en el rendimiento del cultivo del 18 % respecto al testigo. De igual forma, Mora-Mata et al. (2021) documentaron efectos positivos del lombricompost en el cultivo de rábano en condiciones de invernadero en Costa Rica, incluyendo un mayor desarrollo aéreo y radicular, mayor peso fresco de raíces y la reducción del ciclo de producción.

En cultivos de café y frutales perennes, Mendoza et al. (2024) reportaron mejoras en la calidad del suelo tras tres años de aplicaciones anuales de lombricompost, con incrementos sostenidos en la materia orgánica, la CIC y la actividad enzimática del suelo, evidenciando los beneficios acumulativos de esta práctica a largo plazo. Este aspecto es fundamental para entender el lombricompost no solo como un fertilizante puntual, sino como una herramienta de mejoramiento continuo del capital natural del suelo. Desde la experiencia de

los investigadores, la consistencia de estos resultados mediante distintos cultivos, suelos y condiciones climáticas constituye una de las evidencias más sólidas del potencial del lombricompost como estrategia para la restauración de la fertilidad edáfica, superando las limitaciones de los fertilizantes sintéticos que, si bien generan respuestas productivas inmediatas, no contribuyen a la recuperación estructural ni biológica del suelo.

2.6 Limitantes y riesgos asociados al uso del lombricompost

Si bien la evidencia científica respalda ampliamente los beneficios del lombricompost, su implementación no está exenta de los limitantes y los riesgos que deben ser considerados para una adopción responsable. Uno de los aspectos más relevantes es la calidad del sustrato utilizado en el proceso de vermicompostaje: cuando los materiales de partida provienen de fuentes contaminadas con metales pesados, como lodos de aguas residuales industriales o residuos de procesos mineros, el producto final puede acumular concentraciones de plomo, cadmio, cromo u otros elementos potencialmente tóxicos, con efectos adversos sobre la biota del suelo y la inocuidad de los alimentos producidos (Cai et al., 2007; Contreras-Ramos et al., 2006; Ratnasari et al., 2023). Por ello, el control de la procedencia y la caracterización química de los sustratos representa un paso crítico en cualquier sistema de producción de lombricompost a escala comercial.

Otro riesgo asociado es la presencia de organismos patógenos cuando el proceso de vermicompostaje no se desarrolla en condiciones óptimas de temperatura, humedad y tiempo de residencia. Estudios han reportado que los procesos incompletos pueden no eliminar de forma suficiente bacterias como Salmonella spp. o los huevos de helmintos presentes en estiércoles y lodos, lo que representa un riesgo sanitario si el producto se aplica en cultivos de consumo directo (Rodríguez-Canché et al., 2010; Sinha et al., 2008). Asimismo, la variabilidad en la composición química del lombricompost determinada por el tipo de sustrato, la especie de lombriz empleada y las condiciones de manejo dificulta la estandarización de dosis y puede generar resultados inconsistentes entre distintas unidades productivas (Azim et al., 2018; Lim et al., 2016). Desde el punto de vista del escalamiento, la producción de lombricompost en volúmenes suficientes para cubrir grandes extensiones requiere inversiones en infraestructura, mano de obra especializada y logística de distribución que pueden resultar prohibitivas para productores sin acceso a financiamiento o asistencia técnica, limitando su adopción a pequeña y mediana escala (Bhat et al., 2015; Ramos Oseguera et al., 2019).

2.7 Respuesta del lombricompost según el tipo de suelo

Los efectos del lombricompost no son uniformes en todos los tipos de suelo, y esta variabilidad constituye uno de los aspectos que la literatura aún no ha abordado con suficiente profundidad. En suelos arenosos, con baja capacidad de retención hídrica y escaso contenido de materia orgánica, la aplicación de lombricompost produce respuestas especialmente pronunciadas en la mejora de la estructura y la retención de agua, dado que el humus actúa como un agente coloidal que incrementa la cohesión entre partículas

(Andrade Ramírez, 2024; Meena et al., 2018; Suthar, 2009). En suelos arcillosos, en cambio, la mejora más significativa se observa en la aireación y la reducción de la plasticidad, condiciones que favorecen el desarrollo radicular y la actividad biológica (Mora-Mata et al., 2021). En suelos franco-arcillosos de alta productividad, la respuesta al lombricompost tiende a ser más moderada en términos de rendimiento inmediato, pero se mantienen los beneficios acumulativos sobre la biota edáfica y el carbono orgánico (Mendoza et al., 2024).

En suelos ácidos tropicales, frecuentes en gran parte de América Latina, el lombricompost ejerce un efecto *buffer* que tiende a elevar el pH hacia rangos de mayor disponibilidad de nutrientes, lo que resulta especialmente valioso en regiones donde la acidez limita la productividad agrícola (Azim et al., 2018; Canellas et al., 2002; Gong et al., 2023). Por el contrario, en suelos alcalinos o sódicos, su acción tampón puede contribuir a reducir el pH excesivo y mejorar la disponibilidad de micronutrientes como el hierro y el zinc (García-Sánchez et al., 2015).

Estas diferencias de respuesta evidencian la necesidad de desarrollar protocolos de aplicación diferenciados por tipo de suelo, en los que se ajusten las dosis, la frecuencia de aplicación y la fuente del lombricompost a las características edáficas locales, en lugar de adoptar recomendaciones generalizadas que pueden subestimar o sobreestimar los requerimientos de enmienda en contextos específicos. En consecuencia, la investigación futura debería orientarse a generar tablas de referencia regional que faciliten la toma de decisiones a escala de finca, incorporando variables como la textura, el pH inicial, el contenido de materia orgánica de base y el historial de uso del suelo.

2.8 Aspectos económicos y adopción por pequeños productores

Desde una perspectiva económica, el lombricompost presenta ventajas importantes para los pequeños y medianos productores. La producción *on-farm* (en la propia finca) permite transformar residuos orgánicos que de otra forma representarían un costo de disposición en un insumo de alto valor, lo que reduce la dependencia de insumos externos y disminuye los costos de producción (Bhat et al., 2015; Lim et al., 2016). Por su parte, Ayala-Tafoya et al. (2025) estimaron que la sustitución del 50 % de la fertilización química por lombricompost producido en finca puede reducir los costos de fertilización entre un 20 % y un 40 %, según el tamaño de la operación y los precios de mercado.

La inversión inicial en infraestructura para la producción de lombricompost es relativamente baja: los requerimientos básicos incluyen una estructura para proteger las camas de vermicompostaje, un *stock* inicial de lombrices y los residuos orgánicos como sustrato. Asimismo, Ramos Oseguera et al. (2019) calcularon que, en sistemas de producción de maíz y cacahuate en México, la inversión en lombricompostaje se recupera en el primer ciclo productivo, con beneficios netos positivos a partir del segundo año. Sin embargo, la adopción masiva de esta tecnología enfrenta barreras relacionadas con la falta de asistencia técnica, la ausencia de estándares de calidad certificados y la limitada integración de esta práctica en los programas de extensión agrícola.

2.9 Contribución a la mitigación del cambio climático

El lombricompost contribuye a la mitigación del cambio climático por medio de múltiples vías: (a) el incremento del carbono orgánico del suelo, que actúa como sumidero de CO_2; (b) la reducción de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4) asociadas al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos; (c) la reducción de la huella de carbono de la producción agrícola al reducir la demanda de fertilizantes químicos cuya fabricación es intensiva en energía; y (d) el aprovechamiento de residuos orgánicos que de otra forma emitirían gases de efecto invernadero en su descomposición anaeróbica (FAO, 2021; Kumar et al., 2018; Lim et al., 2016; Ramos Oseguera et al., 2019).

La capacidad del lombricompost para incrementar el carbono orgánico del suelo es especialmente relevante en el contexto de los compromisos internacionales de mitigación del cambio climático. La iniciativa "4 x 1000", lanzada en el marco del Acuerdo de París, propone que un incremento anual del 0,4 % en el carbono orgánico del suelo mundial compensaría el total de las emisiones antropogénicas de CO_2. Por lo tanto, el uso sistemático de lombricompost y otras enmiendas orgánicas en los suelos agrícolas puede contribuir significativamente a alcanzar este objetivo, al tiempo que mejora la productividad y la resiliencia de los sistemas agroalimentarios (FAO, 2019, 2021).

CONCLUSIONES

El lombricompost mejora de manera integral la fertilidad y la salud del suelo. La incorporación de lombricompost incrementa la disponibilidad de nutrientes esenciales (N, P, K) en formas biodisponibles y de liberación gradual, mejora la textura, la estructura y la humedad del suelo, y aumenta la capacidad de intercambio catiónico. Estos efectos acumulativos contribuyen a la regeneración de suelos degradados y a la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (Edwards y Arancon, 2022; Mendoza et al., 2024).

Asimismo, la aplicación de lombricompost reduce significativamente la dependencia de fertilizantes químicos. Distintos estudios en cultivos como chile jalapeño, tomate, maíz y cacahuate demuestran que la aplicación de lombricompost permite reducir entre un 25 % y un 75 % el uso de fertilizantes sintéticos sin afectar el rendimiento, lo que disminuye costos de producción y el impacto ambiental de la agricultura convencional (Ayala-Tafoya et al., 2025; Gutiérrez-Miceli et al., 2007).

Por otro lado, el lombricompost estimula la biota edáfica y suprime enfermedades del suelo. La diversa comunidad microbiana aportada por el lombricompost incrementa la actividad enzimática, favorece la mineralización de nutrientes y suprime patógenos del suelo de manera natural, reduciendo la necesidad de plaguicidas químicos y mejorando la sanidad vegetal (Blouin et al., 2013; Céspedes, 2019; Fernández-Gómez et al., 2010).

Adicionalmente, el lombricompost contribuye a la mitigación del cambio climático y a la economía circular. Al incrementar el carbono orgánico del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de fertilizantes sintéticos, el lombricompost se posiciona como una herramienta clave para la transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes al cambio climático (FAO, 2021; Lim et al., 2016; Ramos Oseguera et al., 2019).

Finalmente, se requieren políticas públicas y programas de extensión que promuevan la adopción del lombricompost. A pesar de la abundante evidencia científica sobre sus beneficios, la adopción masiva del lombricompost en la agricultura latinoamericana aún enfrenta barreras institucionales, técnicas y de mercado que deben ser abordadas mediante inversión pública en investigación, extensión y certificación de calidad de los productos orgánicos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: conceptualización del tema, diseño metodológico de la revisión, búsqueda y selección de literatura, análisis crítico de la información y redacción del borrador original del manuscrito.

Segundo autor: supervisión académica del trabajo, orientación metodológica, validación del enfoque conceptual y revisión crítica del contenido del manuscrito.

Tercer autor: apoyo en la búsqueda y organización de la literatura, revisión y edición del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Abierta y a Distancia (UNAD), por brindarnos la oportunidad de formación profesional y por el acompañamiento académico recibido durante nuestro proceso formativo. Expresamos nuestro agradecimiento a los docentes de esta institución por su dedicación y por los conocimientos compartidos, los cuales constituyen un pilar fundamental en nuestro desarrollo profesional.

De manera especial, agradecemos a la magíster en Ciencias Agrarias, Yenny Camacho Torres, por su orientación, asesoría y apoyo constante en la realización del presente trabajo. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional, así como a los revisores pares y editores de la revista por sus valiosos comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron al mejoramiento de este manuscrito.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Chávez, A., Díaz-Rojas, M., Cárdenas-Aquino, M. R., Dendooven, L., y Luna-Guido, M. (2012). Greenhouse gas emissions from wastewater irrigated alkaline saline soil amended with wastewater sludge, urea and carbon. *Applied Soil Ecology*, *61*, 16-23.

Aira, M., Monroy, F., y Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass, activity and functional diversity of pig manure. *Soil Biology and Biochemistry*, *39*(9), 2147-2155. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969707007048

Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Álvarez, R., León-Martínez, N. S., y Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo de integradores biológicos del suelo en la productividad del cultivo de maíz. *Agrociencia*, *44*(5), 575-586.

Andrade Ramírez, A. (2024, 5 de julio). *Lombriz Roja Californiana: Impacto en la Agricultura Sostenible*. El Rincón Verde. https://elrincon-verde.com/lombriz-roja-californiana-impacto-en-la-agricultura-sostenible/

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., y Shuster, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in greenhouse media. *Bioresource Technology*, *75*(2), 111-113. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031405604700736

Ayala-Tafoya, F., Valdez-Islas, J. C., Rosales-Avitia, J. V., Parra-Delgado, J. M., Valenzuela-López, M., y Yáñez-Juárez, M. G. (2025). Uso de lombricomposta para reducir fertilizantes sintéticos en el cultivo de chile jalapeño. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *12*(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282025000200014

Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., y Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, *8*(2), 141-158. https://link.springer.com/article/10.1007/s13165-017-0180-z

Benavides-Bolaños, J. A., Pasquel-López, S. A., y Coral-Rios, D. F. (2020). Evaluación del efecto de abonos orgánicos en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, *37*(2), 45-56.

Benítez, E., Sainz, H., y Nogales, R. (2005). Hydrolytic enzymatic activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresource Technology*, *96*(7), 785-790. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852404002731

Bhat, S. A., Singh, J., y Vig, A. P. (2015). Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm Eisenia fetida and production of vermicompost. *SpringerPlus*, *4*(1), 11. https://www.researchgate.net/publication/255786656_Greenhouse_gas_emission_from_wastewater_irrigated_soils

Bioproi. (2024, 22 de noviembre). *Humus de lombriz: El oro negro para la agricultura sostenible*. https://bioproi.com/blog/agricultura/humus-de-lombriz-el-oro-negro-para-la-agricultura-sostenible

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., y Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development, 39*(34), 1-15. https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-019-0579-x

Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J. E., Cluzeau, D., y Brun, J.-J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, *64*(2), 161-182. https://hal.science/hal-00818329

Bonilla-Hermosa, V. A., Duarte, W. F., y Schwan, R. F. (2014). Utilization of coffee by-products obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. *Bioresource Technology*, *166*, 142-150. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414006907

Cai, Q. Y., Mo, C. H., Wu, Q. T., Katsoyiannis, A., y Zeng, Q. Y. (2007). The status of soil contamination by semivolatile organic chemicals (SVOCs) in China. *Science of the Total Environment*, *389*(2-3), 209-224. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969707008704

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Façanha, A. L., y Façanha, A. R. (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H+-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*, *130*(4), 1951-1957. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12481077/

Céspedes, C. (2019). *Elaboración y uso del lombricompost o vermicompost*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Chan, P. L. S., y Griffiths, D. A. (1988). The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes*, *24*(1), 57-69. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0269748388900274

Cifuentes, J. (2023). *Impacto del uso de agroquímicos en la fertilidad del suelo*. Anacafé.

Contreras-Ramos, S. M., Álvarez-Bernal, D., y Dendooven, L. (2006). Eisenia fetida increased removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil. *Environmental Pollution*, *141*(2), 396-401. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749105004653

Dees, P. M., y Ghiorse, W. C. (2001). Microbial diversity in hot synthetic compost as revealed by PCR-amplified rRNA sequences from cultivated isolates and extracted DNA. *FEMS Microbiology Ecology*, *35*(2), 207-216. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168649601000927

Domínguez, J. (2004). State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En C. A. Edwards (Ed.), *Earthworm Ecology* (2.ª ed., pp. 401-424). CRC Press.

Domínguez, J., y Edwards, C. A. (2011). Relationships between composting and vermicomposting. En C. A. Edwards, N. Q. Arancon y R. Sherman (Eds.), *Vermiculture Technology* (pp. 11-25). CRC Press.

Duan, Y., Shen, Y., Zhou, X., Xu, F., Liu, Y., Li, Z., y Zhong, S. (2021). Analysis of vermicompost on plant physiology and its mechanism of action. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(11), 13324-13334.

Edwards, C. A., y Arancon, N. Q. (2022). *Biology and ecology of earthworms* (4.ª ed.). Springer.

Edwards, C. A., y Lofty, J. R. (1977). *Biology of earthworms* (2.ª ed.). Chapman and Hall.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *El estado mundial de los suelos: Recursos de suelo para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas*.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *Agricultura climáticamente inteligente: Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*.

Fernández-Gómez, M. J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., y Goberna, M. (2011). Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *European Journal of Soil Biology*, *47*(5), 333-342. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21865033/

García-Herrera, E., García-Herrera, J., y Hernández-Herrera, R. (2019). Aplicación de lombricomposta en la producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo condiciones de invernadero. *Terra Latinoamericana*, *37*(4), 413-421.

García-Sánchez, M., García-Romera, I., Száková, J., Kaplan, L., y Tlustoš, P. (2015). The effectiveness of various treatments in changing the nutrient status and bioavailability of risk elements in multi-element contaminated soil. *Plant, Soil and Environment*, *61*(5), 186-194. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4678-1

Gong, X., Zou, L., Wang, L., Zhang, B., y Jiang, J. (2023). Biochar improves compost humification, maturity and mitigates nitrogen loss during the vermicomposting of cattle manure-maize straw. *Journal of Environmental Management*, *325*, Artículo 116432. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116432

Gutiérrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M. A., Rincón-Rosales, R., y Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato. *Bioresource Technology*, *98*(15), 2781-2786.

Hartenstein, R., Neuhauser, E. F., y Kaplan, D. L. (1979). Reproductive potential of the earthworm Eisenia foetida. *Oecologia*, *43*(3), 329-340. https://link.springer.com/article/10.1007/BF00344959

Ingham, E. R. (2009). The soil food web. En P. Lavelle y A. V. Spain (Eds.), *Soil Ecology* (pp. 1-16). Springer.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf

Joshi, R., Singh, J., y Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 14*(3), 379-395. https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-014-9347-1

Kolbe, A. R., y Juma, N. G. (1989). Microbial biomass and activity in soil amended with earthworm compost or inorganic fertilizers. *Soil Biology and Biochemistry*, *21*(8), 1065-1070.

Kumar, S., Meena, R. S., Lal, R., Singh Yadav, G., Mitran, T., Meena, B. L., Dotaniya, M. L., y El-Sabagh, A. (2018). Role of legumes in soil carbon sequestration. En R. S. Meena, A. Das, G. Singh, y R. C. Yadav (Eds.), *Legumes for soil health and sustainable management* (pp. 109-138). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_4

Lazcano, C., y Domínguez, J. (2011). The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility. En M. Miransari (Ed.), *Soil Nutrients* (pp. 230-254). Nova Science Publishers.

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., y Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, *72*(7), 1013-1019. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653508004797

Lim, S. L., Lee, L. H., y Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, *111*, 262-278. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615011749

Mapako, G. P., Mutema, M., Nyamangara, J., y Chiduza, C. (2020). Effects of vermicompost on soil properties and crop production: A review. *South African Journal of Plant and Soil*, *37*(3), 163-175.

Mendoza, D. A., Mero, V. F., y Alcívar, B. R. (2024). Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: un estudio de caso*. Didasc@lia: Didáctica y Educación*, *15*(3), 388-404. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9692644

Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., y Meena, R. S. (2018). Impact of organic amendments on soil health and crop productivity in semi-arid regions. *Applied Soil Ecology*, *125*, 45-53.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., y The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLOS Medicine*, *6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Mora-Mata, J., Rojas Vargas, J. A., y Madriz-Martínez, M. (2021). Efecto del lombricompost en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus L.*) para favorecer la producción sostenible bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia. *Ambientico*, (280), 59-66. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/37306/011-Mora-Rojas-Madriz.pdf

Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., y Nardi, S. (1999). Earthworm humic matter produces auxin-like effects on Daucus carota cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(9), 1303-1311. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071799000498

Mulatu, G., y Bayata, A. (2024). Vermicompost as organic amendment: Effects on some soil physical, biological properties and crops performance on acidic soil: A review. *Frontiers in Environmental Microbiology*, *10*(4), 66-73. https://doi.org/10.11648/j.fem.20241004.11

Rodas Cifuentes, A. (2023). *Manual técnico de recomendaciones para la elaboración y uso de lombricompost*. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). https://icta.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2023/12/Manual-Tecnico-Lombricompost-ICTA-2023.pdf

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). *World population prospects 2019: Highlights*. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019_Highlights.pdf

Parkin, T. B., y Berry, E. C. (1994). Nitrogen transformations associated with earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, *26*(9), 1233-1238. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071794901481

Ramos Oseguera, C. A., Castro Ramírez, A. E., León Martínez, N. S., Álvarez Solís, J. D., y Huerta Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate. *Terra Latinoamericana*, *37*(1), 45-55. https://www.redalyc.org/journal/573/57359439006/html/

Ratnasari, A., Syafiuddin, A., Mehmood, M. A., y Boopathy, R. (2023). A review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: Additives effects, bioconversion process, and recommendations. *Bioresource Technology Reports*, *21*, Artículo 101332. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332

Reyes-Reyes, B. G., Fernández-Luqueño, F., y Ceballos-Ramírez, J. M. (2021). Organic amendments as a sustainable strategy for soil restoration and crop production in coffee systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 684201.

Rodríguez-Canché, L. G., Cardoso-Vigueros, L., Maldonado-Montiel, T., y Martínez-Sanmiguel, M. (2010). Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using Eisenia fetida. *Bioresource Technology*, *101*(10), 3548-3553. https://www.researchgate.net/publication/41111130_Pathogen_reduction_in_septic_tank_sludge_through_vermicomposting_using_Eisenia_fetida

Sinha, R. K., Bharambe, G., y Chaudhari, U. (2008). Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: the eijkelkamp 'sludge treatment bed' system using eisenia fetida. *The Environmentalist*, *28*(4), 409-420. https://ideas.repec.org/a/spr/envsyd/v28y2008i4d10.1007_s10669-008-9162-8.html

Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using Eisenia fetida: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering, 35*(5), 914-920. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857409000135

Tognetti, C., Mazzarino, M. J., y Laos, F. (2007). Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*, *98*(6), 1067-1076. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852406001805

Torres-García, A., Héctor-Ardisana, E. F., León-Aguilar, R., Zambrano-Gavilanes, F. E., y Fosado Téllez, O. A. (2024). Bioestimulante a base de lixiviados de vermicompost y sus efectos en variables fisiológicas y rendimiento de diferentes cultivos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *25*(1), e3388. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3388

Yadav, A., y Garg, V. K. (2011). Recycling of organic waste by employing Eisenia fetida. *Bioresource Technology*, *102*(3), 2874-2880. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410017396