

ESTRATEGIA DE QUÍMICA VERDE PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA AGRICULTURA ECUATORIANA: UN ENFOQUE ECOLÓGICO Y TÉCNICO DE LOMBRICULTURA

GREEN CHEMISTRY STRATEGY FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF ORGANIC WASTES FROM ECUADORIAN AGRICULTURE: AN ECOLOGICAL AND TECHNICAL APPROACH TO VERMICULTURE

Juan Carlos Tapia Molina¹, Clever Gilberto Castillo de la Guerra²,

{juan.tapia0154@utc.edu.ec¹, clever.castillo@utc.edu.ec²}

Fecha de recepción: 20/02/2025 / Fecha de aceptación: 01/03/2025 / Fecha de publicación: 03/03/2025

RESUMEN: La creciente preocupación por la sostenibilidad medioambiental de la agricultura exige planteamientos innovadores para reducir la producción de residuos peligrosos. La química verde está demostrando ser una solución importante que promueve prácticas responsables en la producción química y agrícola al minimizar la producción de residuos nocivos mediante métodos de síntesis más limpios y el uso de recursos renovables. El objetivo de este estudio es presentar una estrategia de química verde para la gestión adecuada de los residuos orgánicos, centrada en la lombricultura ecológica para el desarrollo sostenible, utilizando la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) para transformar la materia orgánica en humus. Se realizó una revisión bibliográfica para determinar las condiciones óptimas del proceso de lombricultura, teniendo en cuenta factores como la temperatura, el pH y la humedad óptimos. Los resultados muestran que la lombricultura puede transformar hasta el 30% de los residuos orgánicos en humus en 90 días. Los factores clave para el éxito de la lombricultura fueron unas temperaturas ideales de entre 18 y 25 °C, un pH de entre 6 y 7 y una humedad de entre el 50 y el 70%. El humus producido era rico en nutrientes y mejoraba la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua. Este estudio confirma que la lombricultura es una técnica eficaz para gestionar los residuos orgánicos y que contribuye a la sostenibilidad agrícola.

Palabras clave: Química verde, agricultura, residuos orgánicos, lombricultura

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0008-3777-7901>

²Universidad Técnica de Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0006-5080-7074>

ABSTRACT: The growing concern for environmental sustainability in agriculture calls for innovative approaches to reduce the production of hazardous waste. Green chemistry is proving to be an important solution that promotes responsible practices in chemical and agricultural production by minimizing the production of harmful waste through cleaner synthesis methods and the use of renewable resources. The objective of this study is to present a green chemistry strategy for the proper management of organic waste, focusing on ecological vermiculture for sustainable development, using the California red earthworm (*Eisenia foetida*) to transform organic matter into humus. A literature review was conducted to determine the optimum conditions for the vermiculture process, taking into account factors such as optimum temperature, pH and humidity. The results show that vermiculture can transform up to 30% of organic waste into humus in 90 days. Key factors for successful vermiculture were ideal temperatures between 18 and 25 °C, pH between 6 and 7, and humidity between 50 and 70%. The humus produced was rich in nutrients and improved soil fertility and water holding capacity. This study confirms that vermiculture is an effective technique for managing organic waste and contributes to agricultural sustainability.

Keywords: *Green chemistry, agriculture, organic waste, vermiculture*

INTRODUCCIÓN

La química verde es un camino crucial para encontrar soluciones sustentables a los desafíos medioambientales presentes (1). Uno de sus objetivos fundamentales es disminuir la generación de desechos peligrosos a través de técnicas de síntesis más ecológicas, la utilización de recursos renovables, la implementación de condiciones de reacción alternativas y la creación de combinaciones químicas no tóxicas que se degraden eficientemente en el entorno. Esta propuesta no solo busca salvaguardar la salud humana y el entorno natural, sino también fomentar una producción química más responsable y sustentable en el sector agrícola (2).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el valor del comercio agrícola global ha aumentado en tres veces en las dos décadas recientes. No obstante, esta expansión conlleva una serie de desafíos críticos. El Banco Mundial calcula que la industria agrícola aporta aproximadamente el 70% de las extracciones globales de agua dulce y el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este escenario, Ecuador se topa con los mismos desafíos, donde la implementación de prácticas de agricultura sustentable es crucial para disminuir el efecto en el medio ambiente y fomentar un crecimiento más balanceado (3).

La química verde, como disciplina interdisciplinaria, se adapta continuamente a los nuevos conocimientos y a las normativas internacionales. Su enfoque sostenible demanda un cambio en la forma en que percibimos las prácticas químicas, al mismo tiempo que impulsa el desarrollo de tecnologías que buscan minimizar o eliminar el uso de sustancias peligrosas (4). Entre sus objetivos se encuentran la reducción de la contaminación, la prevención del consumo y

desperdicio de materias primas no renovables, así como la eliminación del uso de sustancias peligrosas en la producción agrícola (5).

Este estudio se enfoca en la gestión de residuos orgánicos a través de estrategias de química verde que son respetuosas tanto con el medio ambiente como con la salud humana. Su objetivo es reducir al máximo los efectos adversos de estos residuos orgánicos y evaluar su capacidad para favorecer el desarrollo agrícola sostenible. A través de esta investigación, se busca fortalecer el desarrollo sostenible y abordar los desafíos alimentarios que enfrenta la población (6).

Objetivos específicos:

- Gestionar los residuos orgánicos y animales mediante estrategias de Química Verde que implementan acciones sostenibles en la agricultura y el medio ambiente.
- Evaluar los procesos de lombricultura como una alternativa ecológica viable en la producción agrícola para el desarrollo sustentable.

Esta investigación no solo busca abordar la problemática de la gestión de residuos, sino que también tiene como objetivo contribuir a la creación de un modelo agrícola que integre sostenibilidad y responsabilidad medioambiental, beneficiando así tanto a la sociedad como a nuestro entorno natural. En este sentido, la química verde se erige no solo como una solución a los desafíos actuales, sino también como una orientación valiosa para el futuro de la agricultura (7).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se enfocó en realizar una búsqueda bibliográfica con el propósito de evaluar la gestión de residuos orgánicos a través de estrategias de química verde. Se dio especial relevancia a la lombricultura, considerada una técnica efectiva para transformar los residuos en abono orgánico. La investigación se sustentó en la literatura existente que respalda la efectividad de la lombricultura y el compostaje como métodos para manejar residuos orgánicos y promover una agricultura más sostenible.

La investigación se fundamenta en una exhaustiva revisión bibliográfica que abarca datos y estudios previos sobre la gestión de residuos orgánicos en diversos contextos, como el agrícola, ganadero, agroindustrial y urbano. La principal referencia utilizada es el libro "Química Verde: Aporte al Desarrollo Sostenible", publicado por la UNACH en Ecuador, el cual, aunque no se empleó en su totalidad, proporcionó una guía básica valiosa. Para llevar a cabo el análisis y revisión, se consultaron motores de búsqueda y bases de datos destacadas como Research Gate, Scopus, Web of Science y Google Scholar, seleccionando documentos en función de su relevancia y priorizando artículos científicos de los últimos cinco años.

La lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) se ha reconocido como un organismo fundamental en la lombricultura, dado su talento para descomponer la materia orgánica y convertirla en humus (8).

El estudio revela que la lombricultura es una práctica que puede implementarse tanto en pequeñas granjas como en sistemas industriales. Además, se enfoca en identificar las condiciones óptimas para su desarrollo, tales como la temperatura, la humedad y el pH, las cuales son factores clave que determinan el éxito en el compostaje y en la producción de humus (9).

Las variables clave que es necesario monitorear durante el proceso de compostaje y lombricultura incluyen la temperatura, que debe situarse idealmente entre 18 y 25 grados Celsius, el pH, que debe mantenerse entre 6 y 7, y la humedad, que debe estar en un rango del 50 al 70% en peso (10).

Se complementa con un análisis de estudios previos que evidencian los beneficios de la lombricultura en la producción de humus y compost. Se espera que los hallazgos de este enfoque teórico respalden la efectividad de la lombricultura como una alternativa sostenible para la gestión de residuos orgánicos, contribuyendo de esta manera a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad ambiental (11).

Este estudio ofrece una base sólida para entender la gestión de residuos orgánicos mediante la aplicación de la química verde y la lombricultura. Al incorporar prácticas sostenibles en esta gestión, no solo se fomenta la reducción de residuos, sino que también se contribuye a la producción de fertilizantes orgánicos que son favorables tanto para el medio ambiente como para la agricultura. La investigación y el análisis continuos en este ámbito son fundamentales para avanzar hacia sistemas agrícolas más sostenibles (12).

RESULTADOS

La lombricultura surge como una opción ecológica y sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos, enfocándose en transformar los desechos en fertilizantes orgánicos a través de técnicas de oxidación biológica. El propósito de este estudio es analizar la efectividad de la lombricultura en el reciclaje de residuos orgánicos y en la mejora de la calidad de los suelos agrícolas (13). A continuación se presentan los resultados obtenidos, seguidos de una discusión que los integra en el contexto de la sostenibilidad agrícola. La Tabla 1 ilustra el proceso de compostaje, así como los problemas, causas y soluciones asociados (14).

Tabla 1. Problemas, causas y soluciones en el proceso de compostaje.

Problema	Causa	Solución
Olor desagradable	Falta de oxígeno	Involucrarse en voltear el montón o vaciar su contenido, y posteriormente repetir el proceso incorporando materiales leñosos.

**ESTRATEGIA DE QUÍMICA VERDE PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA AGRICULTURA
ECUATORIANA: UN ENFOQUE ECOLÓGICO Y TÉCNICO DE LOMBRICULTURA**

	Exceso de agua	Incorporar hojas secas, restos de poda triturados o paja.
	Cantidad considerable de material verde	Agregar junto con materiales leñosos, hojas secas, paja para acolchado y ramas de poda trituradas.
	Si el montón está demasiado compactado o es de gran tamaño	Es recomendable voltear y rehacerlo, reduciendo su volumen.
Centro muy seco	Hay una falta de agua	Es importante voltear y humedecer el material mientras se reorganiza el montón.
	El montón es muy pequeño	Agregar materia prima.
La temperatura no sube	Hay una falta de material verde	Incorpora trozos de plantas verdes o recortes frescos de césped.
	En épocas de frío	Es recomendable mejorar el aislamiento de los lodos y añadir purín, orín o agua azucarada.
Montones excesivamente húmedos	Exceso de lluvia	Protege la parte superior con plástico, asegurándote de que haya una buena circulación de aire a través de los orificios del compostero o del acolchado de paja en el montón.
	Hay un exceso de riego	Para limitar los riegos, se recomienda incorporar materiales secos como hojas, virutas de poda o paja. Además, es importante remover el compost o darle la vuelta para airearlo adecuadamente.
Presencia de mosquitos e insectos	Demasiados restos de cocina frescos	Es aconsejable cubrir los restos de cocina frescos con tierra, paja o hojas secas para evitar este problema.

En la tabla se presentan los datos relacionados con los problemas, causas y soluciones que pueden surgir durante el proceso de compostaje. Entre estos aspectos se incluyen el olor, el nivel de humedad (especialmente en condiciones secas), la temperatura y la presencia de insectos. Tomado de (14).

Las variables clave para el éxito del proceso de lombricultura abarcan:

- **Temperatura:** Se puede notar que la lombriz californiana alcanza su actividad óptima en un rango de 18 a 25 °C. A temperaturas inferiores, su actividad metabólica se reduce de manera significativa.

- La medición del pH del sustrato reveló que un rango ideal entre 6 y 7 es fundamental para el crecimiento y la salud de las lombrices. Un pH ácido puede interferir en su alimentación y, en consecuencia, aumentar el riesgo de mortalidad.
- La humedad del compost se mantuvo entre el 50% y el 70%. Se observó que niveles excesivos de humedad generan malos olores y crean condiciones anaeróbicas, mientras que una falta de humedad limita la actividad de los microorganismos (15).

Las características del humus generado revelaron:

- El humus de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) cuenta con una composición nutricional muy beneficiosa para mejorar la fertilidad del suelo. Si bien los porcentajes pueden variar dependiendo de las condiciones de cultivo y del tipo de residuos empleados, en términos generales se observan las siguientes concentraciones: nitrógeno (N) entre el 1,5% y el 3,0%, fósforo (P) entre el 0,5% y el 1,5%, y potasio (K) entre el 1,0% y el 2,5% (16).
- Efectos en el suelo: Se notará una mejora considerable en la estructura del suelo, lo que resultará en una mayor capacidad para retener agua y una reducción en la erosión. Además, las propiedades fisicoquímicas del suelo presentarán mejoras destacables después de aplicar humus (17).
- El número de lombriz californiana se considera de alta calidad. Según la investigación, el proceso de compostaje debe durar al menos 90 días. En cuanto a la cantidad de materia orgánica, esta debe superar el 50%, evaluándose mediante la metodología de pérdida de ceniza por calcinación. Además, se estima que la conductividad eléctrica promedio debe rondar los 2.13 ds/m (18).

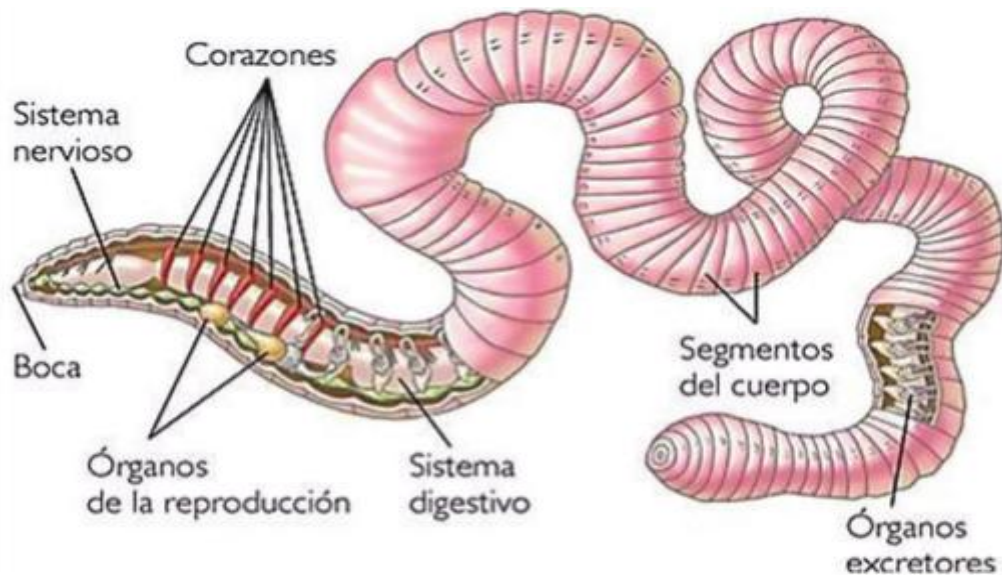


Figura 1. Anatomía de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Fuente: (19).

La lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) presenta una composición nutricional que potencia la fertilidad del suelo y no necesita ser cultivada. Asimismo, contribuye a acelerar la descomposición del molibdeno lábil, lo que la convierte en una opción altamente recomendable para la producción de humus.

En el ámbito de la lombricultura, se pueden identificar diversas ventajas y desventajas asociadas a este proceso, las cuales se detallan en la Tabla 2 (20).

Tabla 2. Las principales ventajas y desventajas de la lombricultura utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Ventajas	Desventajas
Ofrece una solución eficaz para el reaprovechamiento de residuos orgánicos.	La inversión inicial en equipos y en establecer condiciones adecuadas puede ser bastante significativa.
Mejora la calidad del suelo y la productividad agrícola.	Además, cabe mencionar que el proceso de absorción de nutrientes del compost es más gradual en comparación con el de los fertilizantes químicos.
Contribuye a la disminución de residuos sólidos urbanos y a la mitigación de la contaminación ambiental.	

Nota: En la tabla se exponen tres ventajas fundamentales y dos desventajas del proceso de compostaje utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Fuente: (20).

La lombricultura se presenta como una estrategia efectiva para el manejo de desechos orgánicos, alineándose con los principios de la química verde. Los resultados de este estudio evidencian la capacidad de la lombricultura para transformar residuos en fertilizantes orgánicos, lo que contribuye significativamente a la sostenibilidad de la agricultura. Entre los aspectos fundamentales del proceso se encuentran el manejo de la humedad, el control de la temperatura, la regulación del pH y la optimización de la producción de humus y compost. La integración de la lombricultura en las prácticas agrícolas convencionales podría establecer un modelo a seguir para otros sistemas de producción sostenibles (21), (22).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que la lombricultura es una técnica altamente efectiva para transformar residuos orgánicos en fertilizantes, especialmente en forma de humus. Este hallazgo se alinea con lo que indica la literatura existente, que también reporta conversiones significativas de materia orgánica en humus a través de lombrices como la (*Eisenia foetida*). La habilidad de estos gusanos para transformar desechos biodegradables en compuestos que los

cultivos pueden aprovechar refuerza la noción de que la lombricultura no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también mejora la salud del suelo.

La originalidad de esta investigación reside en su enfoque sistemático sobre las condiciones óptimas para el cultivo de lombrices, abarcando factores como la temperatura, el pH y la humedad. Estos aspectos son fundamentales, ya que al controlarlos se puede maximizar la efectividad del proceso de compostaje. En consecuencia, se sugiere que futuras investigaciones se concentren en optimizar estas variables en diversos contextos agrícolas.

Identificar y gestionar las variables ambientales es fundamental para lograr el éxito en la lombricultura. Este estudio ha revelado que la temperatura ideal para la actividad de los gusanos se sitúa entre 18 y 25 °C, un rango que coincide con investigaciones anteriores que indican que las temperaturas extremas pueden obstaculizar la actividad biológica (23). Asimismo, el control del pH y la humedad resultaron ser prácticas esenciales para asegurar un ambiente saludable para las lombrices.

Estos datos indican que una gestión eficaz de las condiciones ambientales puede desempeñar un papel fundamental en la efectividad del proceso de compostaje. Realizar un análisis más exhaustivo sobre cómo los distintos tipos de sustratos afectan a estas variables podría ofrecer información valiosa para optimizar la producción de humus (24).

Los resultados indican que el humus obtenido a partir de la lombricultura presenta un alto contenido de nutrientes, lo que respalda su utilización como fertilizante orgánico en la agricultura. Este descubrimiento concuerda con la noción de que el humus no solo enriquece la fertilidad del suelo, sino que también mejora su estructura física y su capacidad para retener agua. No obstante, es importante señalar que la asimilación de nutrientes del compost puede ser más gradual en comparación con la de los fertilizantes químicos, lo que podría suponer un desafío para su implementación en sistemas agrícolas convencionales (25).

Los resultados indican que el humus obtenido a partir de la lombricultura presenta un alto contenido de nutrientes, lo que respalda su utilización como fertilizante orgánico en la agricultura. Este descubrimiento concuerda con la noción de que el humus no solo enriquece la fertilidad del suelo, sino que también mejora su estructura física y su capacidad para retener agua. No obstante, es importante señalar que la asimilación de nutrientes del compost puede ser más gradual en comparación con la de los fertilizantes químicos, lo que podría suponer un desafío para su implementación en sistemas agrícolas convencionales (26).

Los inconvenientes que pueden surgir durante el proceso de compostaje, como los olores desagradables y la presencia de insectos, son situaciones comunes que se pueden manejar con técnicas adecuadas. Este estudio revela que los malos olores, que frecuentemente indican una insuficiencia de oxígeno, pueden mitigarse al voltear el abono o al incorporar materiales de madera. Estos hallazgos coinciden con las sugerencias presentes en la literatura especializada (27).

Los resultados también destacan varias ventajas y desventajas de la lombricultura. Entre los beneficios, se encuentran la disminución del desperdicio y el aumento de la productividad agrícola. No obstante, es esencial considerar algunas desventajas, como la necesidad de una inversión inicial y el tiempo requerido para que los nutrientes sean absorbidos adecuadamente (28).

Estos hallazgos indican que, aunque la lombricultura presenta un gran potencial, es fundamental realizar una evaluación crítica de su viabilidad económica para facilitar su adopción a gran escala. Futuros estudios podrían investigar estrategias para disminuir costos y aumentar la eficiencia de los procesos.

La lombricultura no solo se destaca como una técnica eficaz para la gestión de residuos orgánicos, sino que también tiene un notable potencial para contribuir a la sostenibilidad en la agricultura. No obstante, para aprovechar al máximo su eficacia, es vital adoptar un enfoque sistemático que permita controlar las variables ambientales, así como llevar a cabo un análisis exhaustivo de las prácticas de gestión. La investigación futura en este campo debería enfocarse en optimizar estos procesos y evaluar sus efectos en distintos contextos agrícolas (29).

CONCLUSIONES

Este estudio ratifica que la lombricultura es una técnica eficaz de oxidación biológica que transforma residuos orgánicos en fertilizantes naturales, especialmente humus. Los hallazgos revelan que la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) puede transformar hasta el 30% de la materia orgánica en humus en un período de 90 días, lo que respalda su implementación como una estrategia sostenible y viable para la gestión de residuos. Esta conversión no solo enriquece la calidad del suelo, sino que también contribuye a disminuir la cantidad de residuos municipales.

Se han identificado variables cruciales como la temperatura, el pH y la humedad que es fundamental controlar para optimizar el proceso de lombricultura. Para asegurar la salud de las lombrices y la eficacia del compostaje, es vital mantener estas variables dentro de rangos óptimos. Los hallazgos subrayan la importancia de un seguimiento y ajuste constantes en la gestión de residuos, con el fin de maximizar la producción de humus y compost, lo cual tiene significativas implicaciones para las prácticas agrícolas sostenibles.

A partir de los resultados obtenidos, se sugiere llevar a cabo una investigación más detallada sobre los efectos a largo plazo del uso de humus de lombriz en diversos tipos de cultivos, así como su impacto en la salud del suelo. También sería conveniente analizar la viabilidad económica de implementar sistemas de lombricultura en distintas escalas de producción, abarcando desde pequeñas granjas hasta sistemas industriales. Estos estudios podrían ofrecer información valiosa que facilite la adopción de la lombricultura como una práctica estándar en la agricultura orgánica.

AGRADECIMIENTOS (OPCIONAL)

Un agradecimiento al Ingeniero Ing. Clever Castillo MSc. Docente ocasional a tiempo completo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por su guía en la realización de este artículo científico

DECLARACIÓN DE INTERÉS (OPCIONAL)

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR (OPCIONAL)

Juan Tapia elaboración y edición de la investigación; Clever Castillo guía y asesoramiento de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rachman LM, Hartono A, Hazra F, Noorwicaksono T, Wasono KB, Adityasari AD, et al. Essence, principle, and technique in utilization and converting vinasse waste to bio-organic fertilizer. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 1 de enero de 2023;1133(1):012023.
2. Murcia Fandiño JS, Esquiaqui Marín LA. Química verde aplicada en los residuos de universidades. *Educación Química.* 8 de abril de 2021;32(2):154.
3. Huang H, Mbanyele W, Fan S, Zhao X. Digital financial inclusion and energy-environment performance: What can learn from China. *Structural Change and Economic Dynamics.* diciembre de 2022;63:342-66.
4. Hernández-Rodríguez OA, López-Díaz JC, Arras-Vota AM, Quezada-Solís J, Ojeda-Barrios D. Quality of Vermicompost Obtained from Residues of Forestry and Livestock. *Sustainable Agriculture Research.* 29 de enero de 2012;1(1).
5. Abboud A, Betz MR. The local economic impacts of the oil and gas industry: Boom, bust and resilience to shocks. *Energy Econ.* julio de 2021;99:105285.
6. Senchuk M, Kharchyshyn V. Development of complex technology for the disposal of organic waste of an animal farm by vermicultivation. *Tehnologîa virobniçtva î pererobki produktiv tvarinnictva.* 25 de mayo de 2023;(1(178)):168-77.
7. Valverde-Orozco V, Gavilanes-Terán I, Idrovo-Novillo J, Ramos- Romero S, Valverde-Quiroz D, Idrovo-Gavilanes J, et al. Approach to the circular economy through agro-livestock waste composting with heat recovery and agricultural use of the resulting compost. *Sustain Chem Pharm.* octubre de 2024;41:101730.
8. Edwards CA, Arancon NQ. The Use of Earthworms in Organic Waste Management and Vermiculture. En: *Biology and Ecology of Earthworms.* New York, NY: Springer US; 2022. p. 467-527.
9. Dada EO. VERMICULTURE AND VERMICOMPOSTING: TWIN EARTHWORM TECHNOLOGIES, SUITABLE FOR HOUSEHOLDS AND SMALLHOLDER FARMERS TO CONVERT WASTES TO

- WEALTH – A NARRATIVE REVIEW. *FUDMA Journal of Agriculture and Agricultural Technology*. 16 de octubre de 2024;10(1):134-43.
10. Singh G, Rajasekhar ESK, Mounika K, Tulasi KRSK, Dondapati T, Himasaila M, et al. Artificial Intelligence in Green Organic Chemistry: Pathway to Sustainable and Eco-Friendly Chemistry. *Asian Journal of Chemistry*. 30 de noviembre de 2024;36(12):2731-43.
 11. Garamszegi P, Calogiuri T, Hagens M, Vidal A, Van Groenigen JW. A density-based method to objectively quantify earthworm activity. *Applied Soil Ecology*. febrero de 2025;206:105771.
 12. Melgarejo M, Ballesteras M,, Bendeck M. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y compost derivados de diferentes sustratos. *Revista Colombiana de química*.
 13. Salimova HX. AGROCHEMICAL PROPERTIES AND HUMUS RESERVES OF IRRIGATED SOILS OF GIJDUVAN DISTRICT. *The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering*. 1 de noviembre de 2024;6(11):16-21.
 14. Prisa Domenico. Biostimulant based on liquid earthworm humus for improvement quality of basil (*Ocimum basilicum* L.). *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 30 de diciembre de 2019;9(3):020-5.
 15. Chitransh Dixit, Kanchan lata Dixit, Chandra Kumar Dixit, Praveen Kumar Pandey, Shavej Ali Siddiqui. *Advances in Green Chemistry: Sustainable Synthesis of Novel Organic Compounds*. *International journal of Modern Achievement in Science, Engineering and Technology*. 22 de diciembre de 2024;2(1):50-5.
 16. Poyti G. <https://es.slideshare.net/slideshow/anatomia-interna-de-lombriz/234044630>. 2020. p. 1-1 Anatomía interna de lombriz.
 17. Tskhakaia K. Biodegradable Waste Management in Georgia: Problems of the Composting System Introduction. *CONNECT International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies*. 29 de mayo de 2024;124-5.
 18. Masabni J. <https://agrilifeextension.tamu.edu/asset-external/jardineria-facil-compostaje/>. 2022. p. 1-4 Jardinería Fácil: Compostaje.
 19. Gaviria YS, Zapata JE, Miedes D, Alegría A, Cilla A. Cytoprotective Effects of Antioxidant Peptides from Red Californian Worm (*Eisenia foetida*) Hydrolysate on Differentiated Caco-2 Cells. *Nutrients*. 27 de octubre de 2024;16(21):3654.
 20. Zhao B, Wang Y, Sun H, Xu Z. Analysis of humus formation and factors for driving the humification process during composting of different agricultural wastes. *Front Environ Sci*. 19 de agosto de 2022;10.
 21. Sheudzhen AKh, Gutorova OA, Hurum HD, Ashinov YuN. Balance of humus and nutrients in the meadow-chernozem soil of the rice ecosystem. *BIO Web Conf*. 17 de abril de 2024;103:00006.
 22. Palansooriya KN, Dissanayake PD, El-Naggar A, Gayesha E, Wijesekara H, Krishnamoorthy N, et al. Biochar-based controlled-release fertilizers for enhancing plant growth and environmental sustainability: a review. *Biol Fertil Soils*. 11 de enero de 2025.
 23. Jiang Y, Yao Y, Liu H, Zhang S, Bai X, Ma X, et al. Volatile organic compounds conversion pathways and odor gas emission characteristics in chicken manure composting process. *Front Ecol Evol*. 5 de mayo de 2023;11.
 24. Bueno M. Compostadores: tipos y formas de uso. 2025. p. 1-1 Agromática.

25. Carillo L, Bermeo E, Villa S. QUÍMICA VERDE, APOORTE AL DESARROLLO SOSTENIBLE. EDITORIAL UNACH. 29 de junio de 2023;1-254.
26. Álvarez-Chimal R, Arenas-Alatorre JÁ, Marichi-Rodríguez F, Correa-Prado R, Álvarez-Pérez MA. La química verde en la síntesis de nanopartículas y sus propiedades antibacterianas. Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología. 3 de julio de 2024;18(34):1e-20e.
27. Álvarez-Chimal R, Arenas-Alatorre JÁ, Marichi-Rodríguez F, Correa-Prado R, Álvarez-Pérez MA. La química verde en la síntesis de nanopartículas y sus propiedades antibacterianas. Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología. 3 de julio de 2024;18(34):1e-20e.
28. Infante Rivera L de J, Vilca Arana M, Mendivel Geronimo RK, Hurtado Tiza DR, Huamán Gómez E. Integración de la química verde en el currículo educativo: un enfoque sostenible. Revista Colombiana de Química. 29 de enero de 2025;3-12.
29. Cheng J, Dai J, Liu Y, Zhao W. The impact of agricultural trade on green technological innovation in China's agricultural sector. iScience. noviembre de 2024;27(11):111101.