

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL VALLE DE TEOTIHUACÁN

Technological innovation for the sustainable use of organic solid waste in the teotihuacan valley

Hortencia Guarneros Manóatl^{1*}, Aníbal Quispe Limaylla², Enriqueta Tello García³

*Autor de correspondencia

DOI: [10.56643/rcia.v5i1.251](https://doi.org/10.56643/rcia.v5i1.251)

Como citar este artículo: Guarneros Manóatl, H., Quispe Limaylla, A. y Tello García, E. (2026). Innovación tecnológica para el aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en el Valle de Teotihuacán. Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura. 5(1). 190-205. <https://doi.org/10.56643/rcia.v5i1.251>

Resumen

El manejo de residuos sólidos orgánicos mediante procesos de compostaje constituye una alternativa para generar abonos de alta calidad, a la vez que permite la recuperación de suelos y la optimización de recursos económicos en el caso de los agricultores(as). El objetivo de este estudio es presentar el prototipo de un sistema de compostaje a gran escala implementado en el Valle de Teotihuacán. La metodología utilizada emplea la Investigación Acción Participativa (IAP) e incluyó grupos focales y talleres participativos a los que asistieron miembros de la cooperativa Ecotlalokan (n=25). El estudio se realizó en tres fases, a saber: diagnóstico, vinculación comunitaria y monitoreo. La información recabada permitió diseñar los componentes operativos y realizar análisis fisicoquímicos de los productos de compostaje siguiendo las normas NOM-NMX-FF-109-SC-FI-2008 y NOM-021-Semarnat 2000. Los resultados obtenidos muestran que dicha infraestructura puede facilitar el tratamiento de aproximadamente nueve toneladas de residuos orgánicos en cuatro meses. Además, la calidad nutricional de la composta y el lixiviado se adecua a las normas descritas. Se concluye que el componente participativo puede favorecer alternativas para optimizar la agricultura, la recuperación de suelos y fomentar el establecimiento de centros de recolección y gestión de residuos sólidos orgánicos en el Valle de Teotihuacán.

¹ Maestra en Ciencias de la Sostenibilidad. Investigadora Asociada, Posgrado en Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de postgraduados, Campus Montecillo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-3916>. Correo electrónico: guarneros.hortencia@colpos.mx

² Doctor en Educación y Extensión Agrícola. Profesor-investigador titular, Posgrado en Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de postgraduados, Campus Montecillo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0175-8318>. Correo electrónico: anibalq@colpos.mx

³ Doctora en Ciencias en Recursos Naturales y Gestión Sostenible. Profesora-investigadora titular, Posgrado en Estudios del Desarrollo Rural, Colegio de postgraduados, Campus Montecillo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0048-3551>. Correo electrónico: tello.enriqueta@colpos.mx.

Recibido: 27/01/2026 | Aceptado: 03/03/2026 | Publicado: 15/06/2026

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue financiada con recursos de los autores.

Palabras clave: Agricultura, fertilidad de suelos, ecotecnias, composta, lixiviado.

Abstract

The management of organic solid waste through composting processes is an alternative for generating high-quality fertilizers, while allowing for soil recovery and optimizing economic resources for farmers. The objective of this study is to present the prototype of a large-scale composting system implemented in the Teotihuacán Valley. The methodology focuses on Participatory Action Research (PAR) through focus groups and participatory workshops with members of the Ecotlalokan cooperative (n=25). The study was conducted in three phases: diagnosis, community engagement, and monitoring. The information gathered allowed for the design of operational components and physicochemical analysis of compost products using NOM-NMX-FF-109-SCFI-2008 and NOM-021-Semarnat 2000 standards. The results show that the infrastructure can facilitate the treatment of approximately 9 tons of organic waste in 4 months. In addition, the nutritional quality of the compost and leachate meets the standards described above. It is concluded that the participatory component can favor alternatives to optimize agriculture, soil recovery and promote collection and management centers for organic solid waste in the Teotihuacan Valley.

Keywords: Agriculture, soil fertility, ecotechnologies, compost, leachate.

Introducción

En México, el reciclaje de residuos orgánicos mediante compostaje se presenta como una estrategia ambiental fundamental para promover la sostenibilidad agrícola. La aplicación de composta mejora significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que se traduce en mayor capacidad de retención de humedad, así como en fertilidad y reducción de la erosión, además de representar un ahorro para los agricultores (Vega-Armenta et al., 2025). El aprovechamiento de este tipo de residuos hace posible que más de 50% de los desechos puedan ser utilizados, lo que reduce las problemáticas ambientales y de salud que éstos implican, como son la producción de lixiviados que se infiltran en acuíferos y las enfermedades causadas por la descomposición de residuos en los vertederos. Este proceso se expresa en acciones asociadas a los objetivos del desarrollo sostenible, entre ellos, la acción por el clima, la producción y el consumo responsable (López-Hernández et al., 2025). Además, ofrece opciones que fortalecen tanto los procesos organizativos inherentes a

la gestión de residuos como la agricultura de subsistencia en comunidades del Valle de Teotihuacán.

La producción de compostas a partir de RSO subraya el potencial innovador de la transformación de desechos, los cuales pueden ser utilizados en insumos agrícolas de alto valor. Desde una perspectiva de gestión de residuos y cambio climático, el compostaje constituye una alternativa eficiente y viable para disminuir los impactos ambientales derivados del manejo convencional de basura (Castro et al., 2022). En el Estado de México se producen 16, 639 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, pero sólo 286 toneladas/ día son separadas conforme las categorías FIRSU (Fracción Inorgánica del Residuo Sólido Urbano) y FORSU (Fracción Orgánica del Residuo Sólido Urbano). Además, sólo 0.7% recibe algún tratamiento, 1.3% es acopiado y el resto se desaprovecha en los rellenos sanitarios. El Plan municipal del Valle de Teotihuacán menciona que se producen 42 toneladas/ día de residuos sólidos, es decir, se estima que entre 12.6 y 21 toneladas diarias de residuos orgánicos podrían ser utilizadas para la elaboración de compostas (Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra del Estado de México, 2023). Las cifras mencionadas dan cuenta de las oportunidades que esto representa en términos de abonos orgánicos producidos diariamente. En este sentido, resaltamos la necesidad de implementar prácticas innovadoras para su tratamiento, como también de desarrollar prototipos de infraestructura que permitan optimizar su descomposición y lograr rentabilidad económica a gran escala. De esta forma se pueden controlar variables críticas como temperatura, oxígeno, humedad y emisiones, lo que disminuye los riesgos sanitarios y ambientales (Lim et al., 2017). Las propuestas de compostaje más conocidas incluyen el diseño de los sistemas tipo windrow (compostaje en hileras) y tipo in-vessel composting (pilas estáticas aireadas o instalaciones cerradas) (Gómez, 2024). Ambos sistemas describen la parte operativa y técnica en función de las condiciones del contexto, ya que los primeros son aptos para espacios abiertos y los segundos para espacios con poca ventilación. Sin embargo, en estos diseños no se mencionan los componentes organizativos necesarios para llevar a cabo el proceso, lo que ha restringido la gestión al sector privado. Aunado a esto, es importante visualizar que la creciente acumulación de residuos y la degradación ambiental ponen en evidencia las limitaciones derivadas del modelo económico capitalista. La economía circular muestra que, además del tratamiento de los residuos, es importante generar estrategias para mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible, así como extraer su máximo valor antes de recuperarlos y regenerarlos al final de su vida útil (Enríquez-Montero, 2025).

La economía circular se sustenta en tres pilares fundamentales: el diseño sin residuos, la prolongación del uso de materiales y la regeneración de sistemas naturales (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Este modelo promueve prácticas sostenibles como la reutilización de residuos orgánicos mediante el compostaje, lo que fomenta la autosuficiencia de los suelos y disminuye su dependencia de insumos químicos (Kirchherr et al., 2018). El compostaje comunitario e industrial reduce el impacto ambiental, además de generar beneficios sociales y educativos. Asimismo, contribuye a disminuir la huella de carbono de las ciudades, pues aminora el transporte de residuos y la dependencia de fertilizantes sintéticos (Al-Rumaihi et al., 2020).

La implementación del compostaje en un contexto de economía circular requiere el respaldo de políticas públicas. En países de América Latina como México, Colombia y Costa Rica ya se han desarrollado normativas que promueven la valorización de los residuos orgánicos mediante el compostaje y otras formas de reciclaje biológico (Domenech y Borrion 2022). En el marco de los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular este proceso reduce significativamente las emisiones de metano, un gas de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global, al tiempo que limita la producción de RSO (Fontalvo Buelvas et al., 2025). El objetivo de la presente investigación es presentar el prototipo de un sistema de compostaje a gran escala implementado en el Valle de Teotihuacán, al tiempo que se destacan los componentes operativos y organizacionales necesarios para su funcionamiento.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El sitio de estudio se localiza en el Valle de Teotihuacán, región ubicada en el Estado de México, en el municipio de Teotihuacán y en parte del municipio San Martín de las Pirámides. Está delimitado por cadenas montañosas, como la sierra de Patlachique al sur y la sierra de Tepozán al norte. El proyecto se desarrolló en el municipio de San Martín de las Pirámides, en las instalaciones del Parque Ecoturístico Tonancatepetl (Paraíso de Tlálóc), en la localidad de Santa María Palapa (coordenadas: longitud 98°50'59.457 W, latitud 19°44'09.806 N, altitud 2,410 ms.n.m.). El sitio cuenta con una población de 2, 457 habitantes y su principal actividad económica es el turismo; sin embargo, la agricultura sigue siendo una actividad relevante en el valle, especialmente en las zonas menos urbanizadas (Navarro-Moya y Leyte Calixto, 2020).

Enfoque metodológico

La investigación se realizó empleando un enfoque mixto, de acuerdo con el marco de la investigación acción participativa (IAP) e incluyó tres etapas: 1) diagnóstico, 2) vinculación comunitaria y 3) monitoreo. En la primera fase se realizó la recopilación de datos para el diseño del prototipo del sistema de compostaje. En la segunda etapa se abordaron los componentes participativos y organizativos que regularon el proceso. En esta fase se llevaron a cabo tres talleres participativos y grupos focales a los que asistió un total de 25 personas por sesión. Entre los actores clave figuran los miembros de la cooperativa Eckotlalocan y pobladores de Santa María Palapa. El rango de edad de los participantes fue de 25 a 55 años, con una distribución por sexo de 60% de mujeres y 40% de hombres. Los talleres y la instalación de la infraestructura se realizaron en el Parque Ecoturístico Tonancatepetl, ubicado en la localidad descrita. Las temáticas de las actividades se centraron en: principios básicos de compostaje, características del diseño de la infraestructura para el tratamiento de RSO y cualidades y usos de la composta. En la tercera etapa se realizó el monitoreo de los productos resultantes del compostaje (composta y lixiviado) considerando parámetros fisicoquímicos, los cuales fueron evaluados conforme las normas NOM-NMX-FF-109-SCFI-2008 y NOM-021-Semarnat 2000. En este caso, el enfoque mixto permitió englobar un proceso participativo de la comunidad y la valoración del método de compostaje y los productos finales (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023).

Resultados y discusión

Diagnóstico: la información fue recopilada en grupos focales en los que participaron integrantes de la cooperativa Ecotlalocan, así como pobladores(as) de Santa María Palapa. Las principales problemáticas detectadas en la producción agrícola de la zona fueron: características del suelo debido a la textura (franca arenosa), escasa materia orgánica y compactación. Las condiciones mencionadas limitan las potencialidades agronómicas para la producción de cultivos. A su vez, se detectó que existe desconocimiento respecto a la producción de compostas a partir de residuos orgánicos, aunque en el sitio existan grandes volúmenes de desperdicios de cultivos de nopal, tanto en las parcelas como en el mercado municipal de San Martín de las Pirámides. Aunado a ello, la región carece de una gestión que permita la clasificación de basura orgánica e inorgánica y tampoco se cuenta con conocimientos técnicos que contribuyan a mejorar los suelos. Si bien en los campos agrícolas se aplican abonos de animales y

residuos vegetales, éstos no son sometidos a tratamientos previos que mejoren la biodisponibilidad de nutrientes. Delgado-Arroyo et al. (2019) mencionan que la gestión integral de residuos sólidos urbanos no sólo reduciría la carga sobre los rellenos sanitarios y la dependencia de energías fósiles, sino que también podría ahorrar costos municipales y fomentaría una mayor conciencia ciudadana en el sentido de realizar prácticas más sostenibles. Cabe resaltar que un modelo de compostaje comunitario puede ser una estrategia adecuada para mitigar el cambio climático, enriquecer los suelos de la región y transitar hacia una economía con menores impactos ambientales (EPA, 2021). En la tabla 1 se describen los componentes organizacionales que deben fortalecerse dentro de esta iniciativa.

Tabla 1.

Componentes organizacionales desarrollados en el centro de tratamiento de RSO

Componente	Importancia
Conocimiento técnico	Fue necesaria la formación en capacidades relativas a los principios básicos de compostaje y las fases que implica, como también en la clasificación de los residuos y los usos potenciales de la composta a nivel de agricultura familiar.
Vinculación comunitaria	Participación de actores clave, como la cooperativa Ecotlalokan, pobladores de la comunidad de Santa María Palapa, Asociación Civil Caritas Teotihuacán, autoridades municipales e investigadores del Colegio de Postgraduados. En esta etapa se distinguieron metas comunes, aunque la naturaleza operativa de las organizaciones sea distinta.
Canales de difusión de información	Canales de información acordes al contexto, que faciliten la comunicación y la promoción de actividades realizadas dentro de la comunidad.

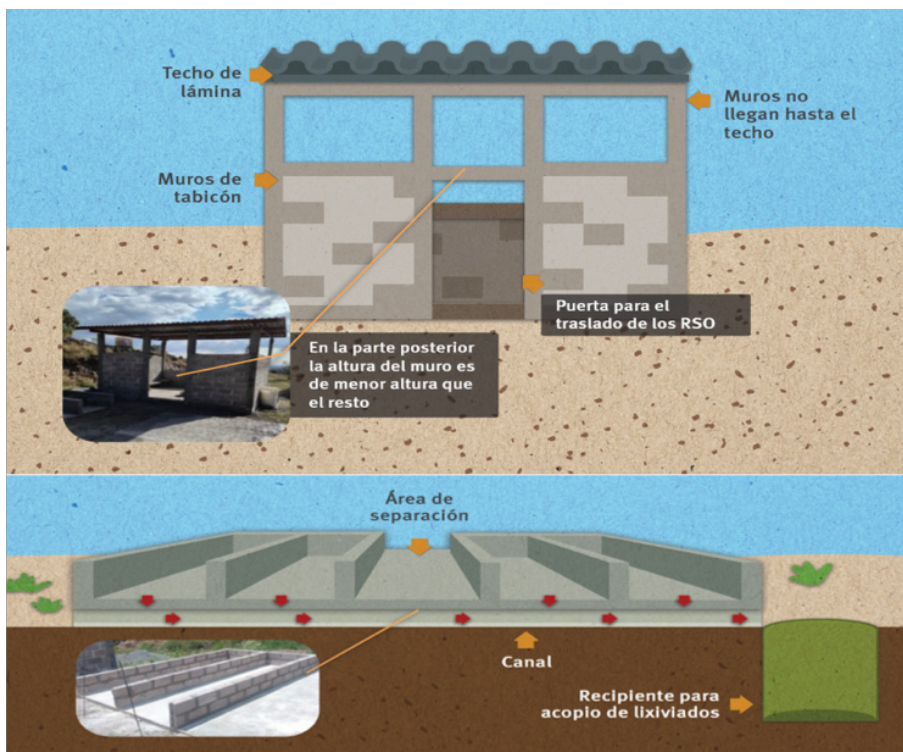
Estrategias de sostén económico	Se plantearon estrategias para que los aportes económicos necesarios fueran compartidos por las instituciones involucradas. Esto permite optimizar las actividades de sostén económico a largo plazo con el apoyo de distintos fondos gubernamentales, no gubernamentales y provenientes de la población civil participante. Dichas estrategias incorporan bienes materiales, no materiales y recursos humanos.
Agenda de actividades	Planificación de actividades acordes a las agendas e intereses de los participantes, además de acompañamiento técnico, monitoreo de las actividades y establecimiento de rutas de acopio.

Vinculación comunitaria. En esta fase se plantearon el diseño y la planificación de las áreas del sistema de compostaje: a) área de acopio y precompostaje de los RSO, b) composteras horizontales, c) canales de acopio de lixiviado, d) depósito de lixiviados y e) área de separación de lombrices y harneado (tabla 2 y figura 1). El diseño final de la estructura de compostaje fue de ocho camas, cada una con capacidad para una tonelada de RSO. Los residuos provenían de campos agrícolas cercanos, cultivos de nopal, residuos vegetales de habitantes que residen cerca de las instalaciones del parque ecoturístico, así como residuos provenientes del mercado municipal de San Martín de las Pirámides. Domenech y Borrion (2022) establecen que el conjunto de políticas asociadas al aprovechamiento de residuos y procesos de reciclaje es apto no sólo para fomentar la conciencia sobre los impactos de estos residuos en el medio ambiente, sino también para diseñar estrategias a nivel de política pública que mejoren los alcances en términos de gestión. Este punto es importante, pues, como vemos en este ejemplo, los niveles de residuos generados a nivel municipal deben responder a iniciativas que ligen a los actores locales con planes gubernamentales que faciliten las rutas de acopio, almacenamiento, tratamiento y venta. Aunque la operatividad del prototipo presentado es idónea en el ámbito técnico, es relevante señalar que aún falta estructurar un esquema de gestión comunitario que optimice su alcance.

Tabla 2.*Infraestructura de un centro comunitario de compostaje*

Tipo de área	Características y función
Área de acopio y precompostaje de RSO	Es el lugar donde se reciben los RSO para ser compostados. Se trata de un área cerrada, construida con muros de tabicones, piso de cemento y techo de lámina. En la parte posterior, la altura del muro es menor que en el resto del área, para facilitar el vaciado de los residuos. En la parte frontal hay una puerta que permite el traslado de los RSO hacia las composteras. En esta zona los residuos son colocados en tambos de plástico, lo que hace posible una primera descomposición de los residuos, que posteriormente serán colocados en las composteras.
Composteras horizontales	Los contenedores horizontales pueden ser contruidos con cemento. Las medidas de los muros no deben superar los 40 centímetros de altura; el ancho puede ser de un metro. La longitud sugerida en este caso es de cuatro metros. Para facilitar los trabajos de compostaje, se sugiere construir dos composteras seguidas, dejando un espacio de 1.20 metros para continuar con otras dos y así sucesivamente hasta llegar al número de composteras deseado.
Canales de acopio y lixiviado	El piso de las composteras deberá tener una ligera inclinación, como también canaletas que permitan que el drenaje del lixiviado sea dirigido hacia un área de acopio, la cual debe encontrarse en un extremo de las hileras.
Depósito de lixiviados	El área de acopio de lixiviados debe ser un depósito subterráneo construido con cemento para evitar filtraciones. Las dimensiones dependerán de la frecuencia con que podamos retirar el lixiviado resultante. Se sugiere que este compartimento pueda tener una tapa para que no se filtre el agua de lluvia.
Área de separación de lombrices y harneado	Se puede dedicar un área específica a este sitio o simplemente destinar un espacio donde se pueda harnear la composta resultante.

Figura 1.
Canaletas para compostaje y centro de acopio



Monitoreo: las variables que condicionaron el tiempo de putrefacción fueron la humedad y la textura de los desechos (menor humedad y textura fibrosa = mayor tiempo de descomposición). Sayara et al. (2020) mencionan que los principales parámetros involucrados en el compostaje son temperatura, aireación, humedad, porosidad y relación carbono/ nitrógeno (C/ N), por lo que el control de estas variables resulta crucial para lograr la degradación de RSO de manera efectiva. La recopilación de RSO en el área de acopio se realizó en tambores de plástico, lo que redujo los olores y favoreció el proceso de precompostaje. Los RSO fueron colocados en las camas 1 a 8. Este proceso permitió que cada cama de compostaje desarrollara fases distintas de la descomposición y que los residuos orgánicos que llegaban al centro de acopio fueran distribuidos de manera uniforme. Así, se estableció un ciclo rotativo entre los residuos que llegaban y los residuos que ya habían finalizado el proceso. El volumen final de composta obtenida fue de casi 50% del total de residuos orgánicos colocados, lo que equivale a un total aproximado de nueve toneladas cada cuatro meses.

El aspecto del material resultante era parecido al de la tierra de jardín, además de carecer de olor y presentar textura uniforme. El lixiviado mostraba un color pardo oscuro. En cuanto a la calidad de los productos, fue posible visualizar que tanto la composta como el lixiviado mostraron las especificaciones de las normas NOM-NMX-FF-109-SCFI-2008 y NOM-021-SEMARNAT-2000. Se analizaron por triplicado cuatro muestras de composta y dos de lixiviado (tabla 3). Kranz et al. (2020) hacen hincapié en los beneficios de la composta en los suelos, mencionando que su aplicación favorece la densidad aparente del suelo, la tasa de infiltración, la conductividad hidráulica y el contenido de agua, así como la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados y la porosidad. El proceso de compostaje permite incrementar la actividad microbiana y retener nutrientes de manera de transformarlos en moléculas orgánicas disponibles para las plantas, lo que posibilita el desarrollo idóneo de los cultivos (Cahyo-no et al., 2020). En el caso del lixiviado, Granada y Prada (2015) señalan que para este tipo de compuestos aún falta estandarizar los límites relativos a la calidad de sus nutrientes, pero esto no restringe su capacidad para que sean utilizados como fertilizantes foliares. Los resultados obtenidos muestran de manera satisfactoria que el prototipo presentado es idóneo para el contexto del Valle de Teotihuacán, al tiempo que representa una alternativa económica para la producción de abonos de alta calidad y menor impacto ambiental. Estos factores contribuyen directamente a la agricultura familiar y a la restauración de suelos en la zona.

Tabla 3.
Características físicoquímicas de la composta

Parámetro	Resultado	Niveles	Parámetro	Resultado	Niveles
pH	8.42	5.5 - 8.5	Potasio	38.56 cmol+/ kg	Alto >0.6
Conduc- tividad eléctrica	7.71 dS/m	<4.0	Calcio	26.4 cmol+/kg	Alto > 10
Cenizas	60.82%	N/ A	Magnesio	24.15 cmol+/kg	Alto > 3
Materia orgánica	39.18%	20 - 50	Capacidad de inter- cambio catiónico	106 cmol+/ kg	Muy alta > 40

Carbono	22.73%	N/ A	Hierro	32.1 mg/kg	Adecuado > 4.5
Nitrógeno	1.96 %	1 - 4	Zinc	128.7 mg/ kg	Adecuado > 1
Relación carbono nitrógeno	11.60	10 - 30	Cobre	3.63 mg/kg	Adecuado > 0.2
Fósforo	1,321.2 mg/ kg	Alto > 11	Mangane- so	31.1 mg/kg	Adecuado > 1
Sodio	17.27 cmol+/kg	N/A	Boro	8.70	Adecuado > 2.1
Nota. Elaborada con base en las NMX-FF-109-SCFI-2008 y NOM-021-Semarnat-2000, así como en los parámetros reportados por Quispe et al. (2024).					

Conclusiones

El aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (RSO) mediante compostaje tiene una estrecha relación con la economía circular y el desarrollo sostenible, debido a que optimiza el uso de recursos naturales y minimiza las pérdidas dentro del proceso. El prototipo de infraestructura presentado responde a las características del contexto del Valle de Teotihuacán que facilitan las condiciones para su desarrollo operativo. Respecto a los componentes organizativos es necesario articular un modelo de gestión municipal que posibilite una ruta de acopio y la clasificación de residuos, ya que la organización comunitaria implicada en la gestión aún no carece de una estructura de base que facilite este proceso. Su implementación favorecería la disminución de residuos en la zona y fortalecería los planes de manejo de RSO en el sitio.

Referencias

- Al-Rumaihi, A., McKay, G., Mackey, H. R. y Al-Ansari, T. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la gestión de residuos alimentarios usando dos técnicas de compostaje [Environmental Impact Assessment of Food Waste Management Using Two Composting Techniques]. *Sustainability*, 12(4), 1595. <https://doi.org/10.3390/su12041595>
- Cahyono, P., Loekito, S., Wiharso, D., Afandi, Rahmat, A., Nishimura, N. y Senge, M. (2020). Efectos del compost en las propiedades del suelo y el rendimiento de la piña (*Ananas comosus* L. Merr.) en suelo ácido rojo, Lampung, Indonesia [Effects of compost on soil properties and yield of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) on red acid soil, Lampung, Indonesia]. *International Journal of Geomate*, 19(76), 33–39. <https://doi.org/10.21660/2020.76.87174>
- Castro, O., Rivera Martínez, J. M. y Fontalvo Buelvas, J. C. (2022). Intervenciones y estudios socioambientales: Experiencias interdisciplinarias para la sustentabilidad [Socio-environmental interventions and studies: Interdisciplinary experiences for sustainability]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Delgado Arroyo, M. d. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L. y Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos [Assessment of the composting process of poultry wastes using different substrate mixtures]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
- Domenech, T. y Borrion, A. (2022). Incorporación de principios de economía circular en la regeneración urbana y la gestión de residuos: Marco y métricas [Embedding Circular Economy Principles into Urban Regeneration and Waste Management: Framework and Metrics]. *Sustainability*, 14(3), 1293. <https://doi.org/10.3390/su14031293>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completando el panorama: Cómo la economía circular enfrenta el cambio climático [Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change]. <https://ellenmacarthurfoundation.org>

- Enríquez Montero, D. E. (2025). El aporte de la tecnología a la conformación de un circuito económico solidario en Nariño [The contribution of technology to the formation of a solid economic circuit in Nariño]. *Revista Investigium IRE Ciencias Sociales y Humanas*, 16(01), 111–135. <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.251601.05>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2021). Beneficios de usar compost [Benefits of using compost]. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/benefits-using-com-post>
- Fontalvo Buelvas, J. C., De la Cruz-Elizondo, Y. y Trujillo-Valdivieso, H. (2025). Fundamentos agroecológicos y pedagógicos para la implementación de huertos familiares y educativos [Agroecological and pedagogical foundations for the implementation of family and educational gardens]. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 9(16), 80–103. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog25.06091604>
- Gómez, K. I. (2024). Análisis comparativo de la influencia de la elaboración de compostaje utilizando la técnica en hileras y pila estática en los parámetros químicos, en la provincia de Huamanga-Ayacucho, 2022 [Comparative analysis of the influence of composting using the row and static pile technique on chemical parameters, in Huamanga-Ayacucho province, 2022] [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/39572>
- Granada Torres, C. A. y Prada Millán, Y. (2015). Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos [Characterization of agro-ecological leachate from organic crop residues]. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 169–182. <https://doi.org/10.22490/21456453.1414>
- Kirchherr, J., Reike, D. y Hekkert, M. (2018). Conceptualización de la economía circular: un análisis de 114 definiciones [Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions]. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kranz, C. M., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G. y Heitman, J. L. (2020). Los efectos de la incorporación de compost en las propiedades físicas del suelo en suelos urbanos: una revisión concisa [The effects of compost incorpora-

tion on soil physical properties in urban soils – A concise review]. *Journal of Environmental Management*, 261, 110209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>

Lim, L., Bong, C., Lee, C., Klemes, J., Sarmidi, M. y Lim, J. (2017). Revisión de las prácticas actuales de compostaje y el potencial de mejora mediante compostaje de dos etapas [Review on the Current Composting Practices and the Potential of Improvement using Two-Stage Composting]. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 1051–1056. <https://doi.org/10.3303/CET1761173>

López Hernández, V., Limón Hernández, R. A. y Morales Moguel, O. E. (2025). Diagnóstico de la generación de residuos en municipios del norte de Veracruz [Diagnosis of waste generation in municipalities of northern Veracruz]. *Revista Investigium IRE Ciencias Sociales y Humanas*, 16(01), 136–158. <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.251601.06>

Navarro Moya, M. A. y Leyte Calixto, H. (2020). Motivaciones turísticas del Corredor del Valle de Teotihuacán; estudio de caso en Zona Arqueológica de Teotihuacán, Estado de México [Touristic motivations of the Teotihuacán Valley Corridor; case study in Teotihuacán Archaeological Zone, State of Mexico]. *Boletín Científico Investigium de la Escuela Superior de Tizayuca*, 5(10), 45–49. <https://doi.org/10.29057/est.v5i10.4981>

Quispe Limaylla, A., Tello Garcia, E. y Guarneros Manoatl, H. (2023). Producción de composta de calidad para la agricultura familiar. Una guía didáctica para el aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos [Production of quality compost for family agriculture. A didactic guide for sustainable use of organic solid waste] [Guía didáctica]. Colegio de Postgraduados. https://www.researchgate.net/publication/387700082_Produccion_de_composta_de_calidad_para_la_agricultura_familiar_Guia_practica_para_el_aprovechamiento_sustentable_de_residuos_solidos_organicos

Quispe Limaylla, A., Tello García, E. y Guarneros Manoatl, H. (2024). Uso apropiado de los productos de compostaje para la producción de cultivos (una guía didáctica) [Appropriate use of composting products for crop production (a didactic guide)] [Guía didáctica]. Colegio de Postgraduados. https://www.researchgate.net/publication/394069804_Uso_apropiado_de_los_productos_de_compostaje_para_la_produccion_de_cultivos_una_guia_didactica

- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawambe, F. y Sánchez, A. (2020). Reciclaje de residuos orgánicos mediante compostaje: desempeño del proceso y aplicación del compost en agricultura [Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture]. *Agronomy (MDPI)*, 10(11), 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra del Estado de México. (2023). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Teotihuacán [Municipal Urban Development Plan of Teotihuacán]. Gobierno del Estado de México. https://sedui.edomex.gob.mx/sites/sedui.edomex.gob.mx/files/files/planes_municipales/Teotihuacan/PMDU_Teotihuac%C3%A1n_JUNIO%2023.pdf
- Secretaría de Economía. (2008). NMX-FF-109-SCFI-2008. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano — Abono orgánico natural — Especificaciones y métodos de prueba [Non-industrialized food products for human consumption — Natural organic fertilizer — Specifications and test methods].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). NOM-021-Semarnat-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis [That establishes the specifications of fertility, salinity and soil classification, study, sampling and analysis]. *Diario Oficial de la Federación*.
- Vega Armenta, R. M., Ruelas Ayala, R. D., Sañudo Torres, R. R. y Félix Herrán, J. A. (2025). Compostaje de residuos sólidos orgánicos y su efecto en especies forestales de importancia económica en el norte de Sinaloa [Composting of organic solid waste and its effect on forest species of economic importance in northern Sinaloa]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 65–75. <https://doi.org/10.20937/RICA.55125>
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J. y Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica [Scientific research methodology: practical guide]. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

Derechos de Autor© 2026 Guarneros Manoatl, Hortencia; Quispe Limaylla, Aníbal; Tello García, Enriqueta.



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0, Attribution 4.0 International. Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.