

Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, a través de compostaje: Análisis bibliométrico

Use of municipal organic solid waste, through composting

John Alexander Castañeda García¹; Gloria María Restrepo Franco^{2*} Ph. D

¹Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales, Colombia

² Universidad de Manizales, Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales, Colombia

*Correspondencia: grestrepo@umanizales.edu.co

Resumen

Contextualización. Los municipios y las empresas de servicios públicos a nivel Nacional realizan diferentes estrategias para contribuir al Manejo integral de los residuos sólidos urbanos, empleando prácticas como técnicas para la elaboración de compost. En el caso del departamento de Caldas, en algunos municipios, se cuenta con la voluntad administrativa de realizar un óptimo proceso de producción de compost, sin embargo, los municipios de sexta y quinta categoría, cuentan con presupuestos que se limitan a su funcionamiento, generando falta de oportunidad para tener dentro de su nómina, profesionales que tengan conceptos que apunten a modelos de producción de compost de manera sustentable y que contribuyan en la identificación de una producción óptima y limpia.

Objetivo. Analizar el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, a través de bibliometría. **Materiales y métodos.** Inicialmente se realizó la identificación del comportamiento bibliométrico en las investigaciones realizadas en compostaje como estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. El cual se basó en un análisis bibliométrico retrospectivo, a partir de artículos publicados en Scopus. Se determinaron los indicadores bibliométricos: productividad y tendencia por años, número de artículos publicados en la base de datos por autor, frecuencia de citas recibidas por título, país de origen de los autores, principales tendencias de investigación, entidades financiadoras de la investigación. Posteriormente se realizó la definición de los enfoques de las investigaciones realizadas en compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Los enfoques considerados fueron: análisis microbiológico del compost, métodos de compostaje, métodos de optimización del compostaje y procesos de implementación del compostaje. Finalmente, se determinaron las perspectivas de

investigación que se proyectan en el compostaje para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. **Resultados.** En el desarrollo del primer objetivo, se analizaron 766 artículos de la base de datos Scopus; se evidenció el 2021 con el mayor número de publicaciones. El autor con mayor número de artículos fue Moral R. China, España e India, aportan la mayor producción. La entidad que más aporta en la financiación del tema es National Natural Science Foundation of China. Dentro de los enfoques analizados se encontró que el 15,54% correspondió a análisis microbiológico del compostaje, el 13,32% a métodos de compostaje, el 57,18% a métodos de optimización del compostaje, el 1,96% a proceso de implementación del compostaje y el 12,01% corresponde a otras tendencias. Como resultado se evidenció que la actividad microbiana a partir de la integración al proceso de los lixiviados producto de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos acelera la actividad microbiana para la disminución de tiempos de producción y genera solución para la disposición final de los desechos líquidos. Los procesos aeróbicos y el vermicompostaje realizados técnicamente, son procesos que reducen costos y son altamente productivos. Finalmente, el producto obtenido de la descomposición de residuos sólidos orgánicos urbanos, con la aplicación de las perspectivas halladas puede ser utilizado como enmienda a suelos improductivos para la agricultura.

Palabras clave: análisis bibliométrico, compostaje, residuos sólidos orgánicos, gestión de residuos.

Abstract

Contextualization. Municipalities and public service companies at the national level carry out different strategies to contribute to the comprehensive management of urban solid waste, using non-technical practices for composting. In the case of the department of Caldas, in some municipalities, there is the administrative will to carry out an optimal compost production process, however, the sixth and fifth category municipalities have budgets that are limited to their operation, generating lack of opportunity to have within their payroll, professionals who have concepts that point to organic compost production models in a sustainable manner, which contribute to the identification of fast, optimal and clean production. **Objective.** Analyze the use of municipal organic solid waste, through bibliometrics. **Materials and methods.** Initially, the bibliometric behavior was identified in the investigations carried out on composting as a strategy for the use of organic solid waste. Which was based on a retrospective bibliometric analysis, from articles published in Scopus.

Bibliometric indicators were determined: productivity and trends per year, number of articles published in the database per author, frequency of citations received per title, country of origin of the authors, main research trends, research funding entities. Subsequently, the definition of the research approaches carried out in composting for the use of organic solid waste was carried out. The approaches considered were: microbiological analysis of the compost, composting methods, composting optimization methods and composting implementation processes. Finally, the research perspectives that are projected in composting for the use of organic solid waste were determined. **Results.** In the development of the first objective, 766 articles from the Scopus database were analyzed; evidencing the year 2021 with the highest number of publications. The author with the largest number of articles was Moral R. China, Spain and India provide the largest production. The entity that contributes the most in financing the subject is the National Natural Science Foundation of China. Among the approaches analyzed, it was found that 15,54% corresponds to a microbiological analysis of composting, 13.32% to composting methods, 57.18% to composting optimization methods, 1,96% to process implementation of composting and 12,01% correspond to other trends. As a result, we obtain that the microbial activity from the integration into the process of the leachates resulting from the destruction of organic solid waste accelerates the microbial activity to reduce production times and generates a solution for the final disposal of liquid waste. Aerobic processes and vermicomposting carried out technically are processes that reduce costs and are highly productive. Finally, the product obtained from the insufficiency of urban organic solid waste, with the application of the perspectives found, can be used as an amendment to unproductive soils for agriculture.

Keywords: bibliometric analysis, composting, organic solid waste, waste management.

1. Introducción

El País genera un alto porcentaje de residuos sólidos orgánicos, que después de verterlos en los sitios autorizados para la disposición final, resultan ser una importante fuente de gases de efecto invernadero; esto, producto de las cifras crecientes a nivel demográfico y desarrollo económico que se presenta a nivel nacional (Conpes 3874, 2016).

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, ha estimado que entre el 60 y 70% de los residuos sólidos que se generan en el país, puedan ser aprovechados por medio de compostaje (Asmar, 2020). El

tratamiento de desechos orgánicos a través del compostaje es aceptado a nivel mundial dada la alternativa que presenta para la preservación del medio ambiente y la contribución que realiza el producto a la generación agrícola sostenible. Por su parte, la FAO define el compost como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo (FAO, 2013).

La economía circular propone un cambio de paradigma “reducir, reutilizar y reciclar”, por una transformación más profunda que permita disminuir el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente; otorgando al residuo un papel dominante sustentado en la reutilización inteligente del desperdicio en un modelo cíclico que imita la naturaleza y se conecta con ella.

En el departamento de Caldas, ubicado en la región andina, algunos municipios realizan esfuerzos para el cumplimiento de sus programas de aprovechamiento a través de la transformación de residuos sólidos orgánicos en compost; alternativa que ha tenido aceptación por los beneficios económicos y contribución al medio ambiente. Sin embargo, esta práctica presenta aspectos por mejorar en la estrategia de producción y aplicación de las tendencias que se presentan a nivel mundial sobre el tema de estudio.

La solución a la problemática planteada se puede indagar en las diferentes investigaciones que se plantean a nivel mundial sobre la adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, permitiendo proponer alternativas a implementar para optimizar los procesos de producción de compost (Lett, 2014).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo es analizar el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, a través de bibliometría

2. Marco teórico

El aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en Colombia, lo reglamenta el documento CONPES 3874 “Política Nacional para la gestión integral de residuos; donde señala el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino a los rellenos sanitarios. Igualmente, define puntualmente la categoría de residuos sólidos aprovechables, para obtener la minimización de los riesgos para el medio ambiente que produce la inadecuada gestión de los mismos y proyecta la reducción en volumen de disposición final.

2.1. Economía circular

La Economía Circular se define como un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción/ distribución y consumo, operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, que implica crear calidad ambiental, prosperidad económica y la equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras (Seguí, Medina, Guerrero, 2014). El alcance es generar un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimizando los rendimientos de los recursos, minimizando los riesgos del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables (Cerdá, Khalilova, s.f.).

2.2. Separación en la fuente

Para la obtención del sustrato o materia prima que produce el compost orgánico, es necesario la implementación de buenas prácticas de separación en la fuente. Esta se define como la clasificación de los residuos sólidos, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, para ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso (CONPES 3874, 2016).

Los residuos sólidos orgánicos de las áreas urbanas aproximadamente constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos producidos (Penagos, Adarraga, Aguas, 2011), por tal motivo es fundamental buscar alternativas que puedan contribuir al manejo con resultados exponencialmente efectivos de productos finales como el compost y subproductos como la captura de CO₂, que además permiten la disminución de impactos que apuntan a la sostenibilidad de los recursos naturales.

2.3. Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición oxidativa de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se lleva a cabo bajo condiciones controladas y origina un producto que representa grandes beneficios cuando es adicionado al suelo (Varela, Basil, 2011).

2.4. Bibliometría

La bibliometría es la aplicación de las matemáticas y métodos estadísticos a toda fuente escrita que esté basada en las facetas de la comunicación y que considere los elementos tales como autores, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras claves o descriptores (Solano, Castellanos, López, Hernández, 2009).

3. Materiales y métodos

Se realizó un análisis bibliométrico retrospectivo y descriptivo, utilizando la revisión de publicaciones en la base de datos bibliográficas Scopus, específicamente en el tema de estudio de los últimos 10 años.

3.1. Identificación del comportamiento bibliométrico en las investigaciones realizadas en compostaje como estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Se realizó la búsqueda de las investigaciones a nivel mundial, objeto de este estudio, utilizando las ecuaciones de búsqueda estructuradas a partir de los descriptores definidos en el rastreo realizado en Google académico y que estuvieran relacionados con artículos en el tema de interés. En las ecuaciones estructuradas se utilizaron los operadores booleanos (OR – AND - ()), y se delimitaron los años de interés (2011-2021) para identificar las últimas tendencias investigadas registradas en artículos de investigación. Posteriormente se realizó la generación de registros.

Se trabajó con el 100% de los datos arrojados los cuales fueron sistematizados en Excel, identificando en la información de productividad y tendencia por años, número de artículos publicados en la base de datos por autor, frecuencia de citas recibidas por título, país de origen de los autores, principales tendencias de investigación, entidades financiadoras de la investigación.

3.2. Definición de los enfoques de las investigaciones realizadas en compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

La información de los documentos obtenidos en Scopus se sistematizó en Excel, recuperando la información general de cada documento como título, revista, datos de publicación y resumen. En esta matriz se definió el enfoque de cada documento, así:

Análisis microbiológico del compost: corresponde al enfoque basado en el análisis del comportamiento microbiológico del proceso de compostaje. Este enfoque incluye análisis metagenómico, caracterización de especies de microorganismos mediante microbiología tradicional o estudios basados en herramientas de la biología molecular, estudios de resistencia microbiana, entre otros.

Métodos de compostaje: se basa en estudios en los cuales se evalúan diferentes procesos de compostaje de acuerdo con la procedencia de los organismos empleados. Incluye: vermicompostaje, compostaje mediado por microorganismos nativos, compostaje mediado por microorganismos provenientes en inoculantes, compostaje mediado por heces animales, compostaje mediado por heces humanas, y otros.

Métodos de optimización del compostaje: este enfoque incluye estudios en los que se evalúan adecuaciones que buscan mejorar las condiciones del compostaje para incrementar los rendimientos. Se incluye el uso de suplementos, el uso de diferentes sustratos, adaptaciones de temperatura, pH, entre otros.

Procesos de implementación del compostaje: se relaciona con estudios de implementación en una región o localidad determinada como alternativa de uso de los residuos y como promotor del desarrollo territorial.

Finalmente, se identificó en cada estudio el sustrato utilizado en el compostaje.

En cada enfoque se determinó la frecuencia de estudios relacionados, y se analizaron particularidades en el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

3.3. Determinación de las perspectivas de investigación que se proyecta en el compostaje para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Realizado el análisis de los documentos sistematizados en Excel acorde con las tendencias seleccionadas, se realizó revisión manual del 100%, identificando las recomendaciones que ofrecen los artículos, y los vacíos de conocimiento en el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos municipales, para definir las perspectivas de investigación que aporten a la línea de Biosistemas Integrados de la Universidad de Manizales.

4. Resultados y discusión

Inicialmente se seleccionó la ecuación con base en la aproximación a los resultados esperados (Ecuación 1), con la cual se lograron obtener 767 artículos relacionados con el tema.

(TITLE (composting) OR TITLE (compostaje) AND TITLE-ABS-KEY (organic AND food AND wastes) OR TITLE-ABS-KEY (waste AND management)) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2022 AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) (Ecuación 1)

4.1. Identificación del comportamiento bibliométrico de las investigaciones realizadas en compostaje como estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

En la Figura 1 de producción de artículos en el tema por año, se evidencia que las investigaciones de aplicación del compostaje como estrategia para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos ha tenido un constante crecimiento tomando como referencia los periodos comprendidos entre el año 2011 al 2021; el principal pico de producción se observa en el año 2021 con 92 publicaciones. Este incremento en el número de publicaciones se puede referir al interés a nivel mundial de generar soluciones en la gestión de los residuos sólidos, a través de estrategias como la eliminación de vertederos tradicionales y transformación de los materiales orgánicos a compostaje que aporten en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y por tanto, en la producción agrícola sostenible (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Estos avances han permitido la consolidación de estrategias de transformación, financieramente autónomas, técnicamente factibles, legal y socialmente aceptables y respetuosas con el medio ambiente.

En la Figura 2 se aprecian los 10 autores con mayor número de artículos publicados en el tema en la base de datos Scopus. El autor con más artículos publicados fue Moral, R con 17 artículos; seguidamente se encuentra a Bustamante, M.A. con 14 publicaciones. Los dos autores coinciden en varias publicaciones en busca de métodos de producción de compost, utilizando residuos sólidos municipales (Orgánicos), de origen vegetal y agroindustrial que aportan a las técnicas de disminución de gases de efecto invernadero.

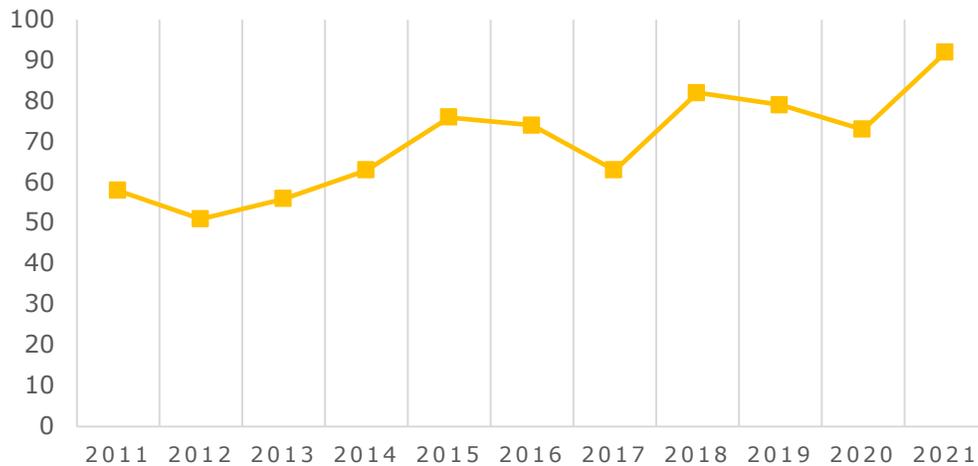


Figura 1. Productividad y tendencia por años de publicación, en la base de datos Scopus (2011-2021).

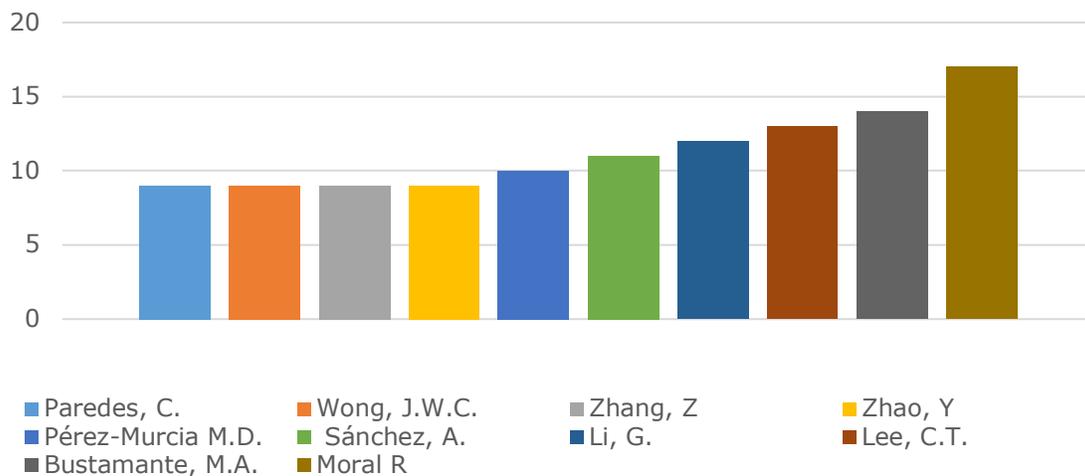


Figura 2. Número de artículos por autor (10 más importantes), en la base de datos Scopus (2011-2021).

Adicionalmente, se identificaron los diez artículos más citados con relación a la búsqueda realizada (Tabla 1). El artículo con más citas se refiere al estudio de la Dinámica de la microbiota bacteriana durante el compostaje de residuos lignocelulósicos, con 214 citaciones.

Tabla 1. Relación de los 10 artículos más citados, en la base de datos Scopus (2011-2021).

| ITEM | AUTOR | TITULO | N. DE CITAS | AÑO |
|------|--|---|-------------|------|
| 1 | López-González J.A., Suárez-Estrella F., Vargas-García M.C., López M.J., Jurado M.M., Moreno J., | Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: Studies upon its structure, functionality and biodiversity | 214 | 2015 |
| 2 | Zhou Y., Selvam A., Wong J.W.C., | Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues | 177 | 2014 |
| 3 | Yang F., Li G.X., Yang Q.Y., Luo W.H., | Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting | 177 | 2013 |
| 4 | Liao H., Lu X., Rensing C., Friman V.P., Geisen S., Chen Z., Yu Z., Wei Z., Zhou S., Zhu Y., | Hyperthermophilic Composting Accelerates the Removal of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Sewage Sludge | 176 | 2018 |
| 5 | Wei Y., Zhao Y., Shi M., Cao Z., Lu Q., Yang T., Fan Y., Wei Z., | Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation | 140 | 2018 |
| 6 | Zhang L., Sun X., | Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste | 135 | 2016 |
| 7 | Saer A., Lansing S., Davitt N.H., Graves R.E., | Life cycle assessment of a food waste composting system: Environmental impact hotspots | 134 | 2013 |
| 8 | Yuan J., Chadwick D., Zhang D., Li G., Chen S., Luo W., Du L., He S., Peng S., | Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting | 130 | 2016 |
| 9 | Jindo K., Sonoki T., Matsumoto K., Canellas L., Roig A., Sanchez-Monedero M.A., | Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures | 128 | 2016 |
| 10 | Jiang J., Liu X., Huang Y., Huang H., | Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting | 128 | 2015 |

El país con mayor producción de documentos en el tema de estudio es China (174 publicaciones), seguido de España e India con 79 y 60 publicaciones respectivamente (Figura 3). Demostrando que, dentro de las naciones, existen investigadores de las diferentes ciencias que se apropian de la gestión de residuos sólidos, buscando métodos no convencionales para disminuir la carga a vertederos tradicionales y contribuyendo a la gestión integral de los diferentes tipos de residuos.

Dentro de las instituciones financiadoras de las investigaciones que guardan relación con el tema estudiado, principalmente se encuentra *National Natural Science Foundation of China* con 70 publicaciones patrocinadas, seguido con una diferencia de 39 publicaciones por la *European Comission* (29 documentos) (Figura 4).

En las áreas de estudio en las cuales se encuentran clasificados los artículos publicados durante el periodo 2011-2021, se resalta las Ciencias medioambientales con un 50%, seguido por el tema de Energía con el 12% y las Ciencias Agrícolas y biológicas con el 10% (Figura 5). De esta manera, se puede deducir que la tendencia de las investigaciones abordadas, buscan la minimización de los impactos que atrae consigo la inadecuada gestión de los residuos sólidos.

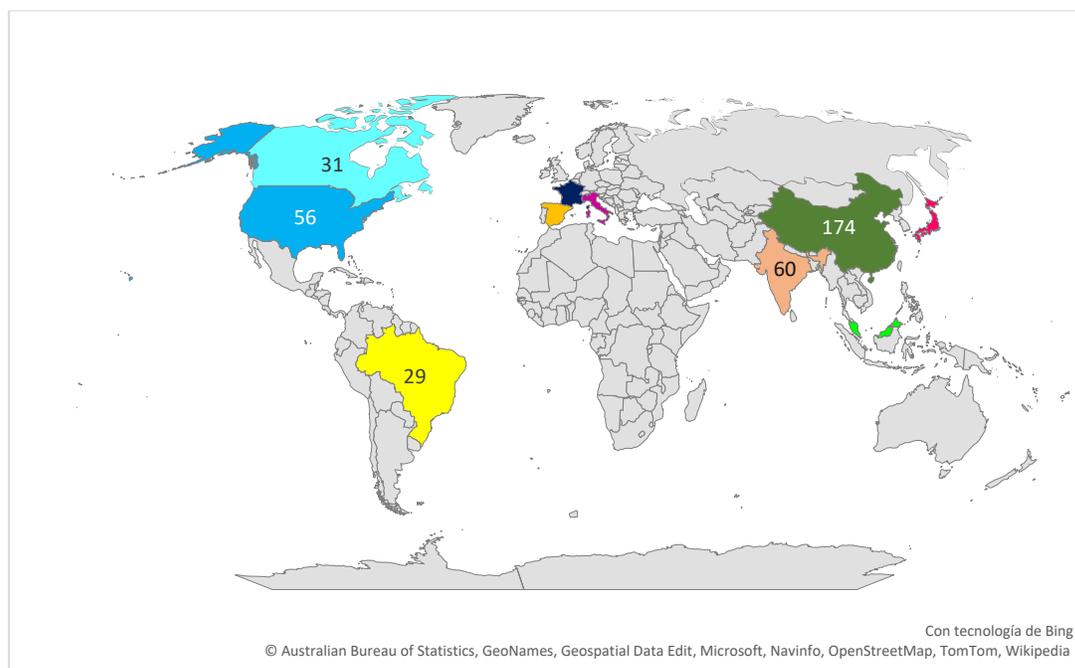


Figura 3. Países de procedencia de los autores con mayor producción de artículos, en la base de datos Scopus (2011-2021).

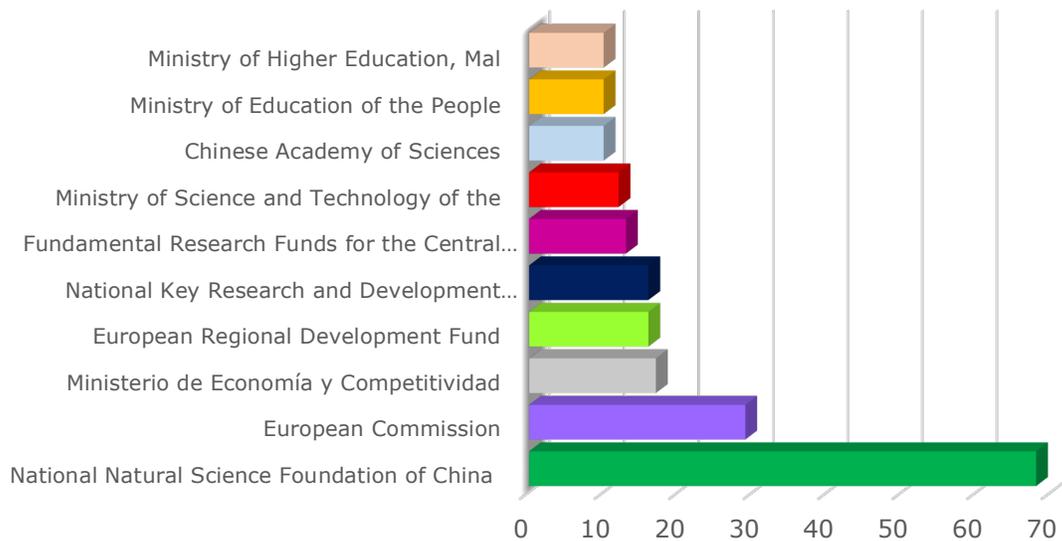


Figura 4. Filiación institucional de los autores (10 principales instituciones), en la base de datos Scopus (2011-2021).

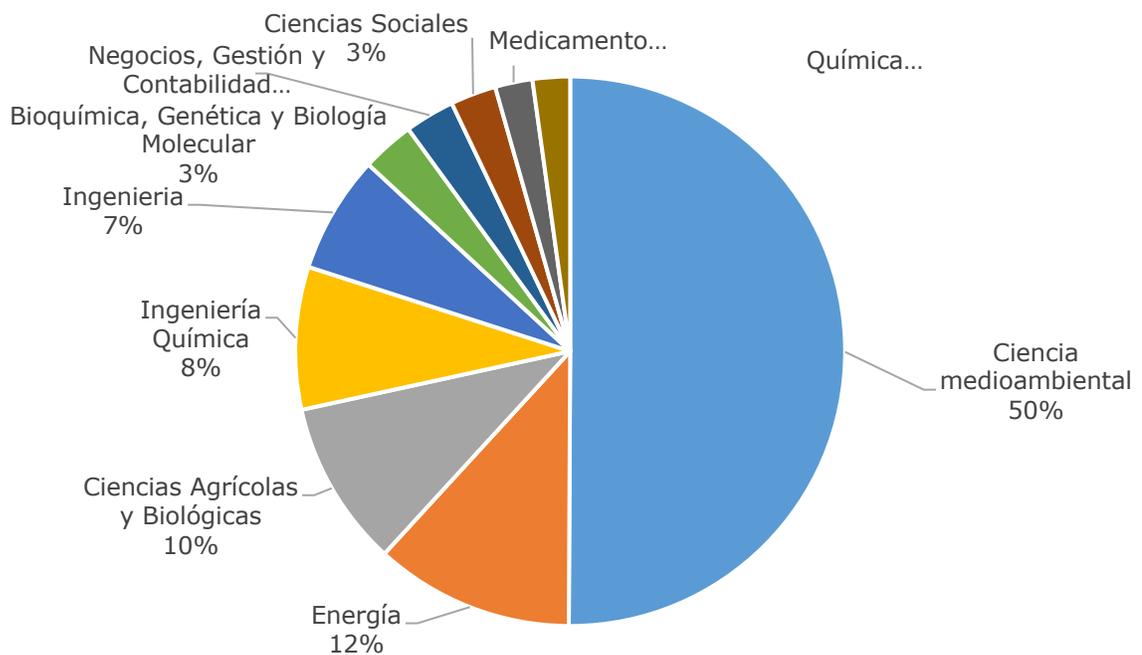


Figura 5. Áreas de estudio de los artículos publicados, en la base de datos Scopus (2011-2021).

4.2. Definición de los enfoques de las investigaciones realizadas en compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

Análisis microbiológico del compost. En este enfoque se obtuvo el 15,54 % de los documentos. En este enfoque, se definen datos útiles para la toma de decisiones en el establecimiento de las políticas de gestión de residuos ambientalmente sostenibles basado en la ciencia (Paoli *et al.*, 2014); por ejemplo con la definición de especies que afecten de manera progresiva la producción de compost, las nuevas tendencias frente al uso de enmiendas no convencionales frente a la evolución de los estudios realizados.

Métodos de compostaje. En este enfoque se ubicó el 13,32 % de los estudios analizados. La adición de microorganismos al compost, en diferentes etapas de procesamiento es un ayudante para la aceleración de la transformación de los residuos expuestos al proceso. Se analizó la adición de microorganismos a través de biocarbono a una mezcla de residuos sólidos urbanos (orgánicos) con una relación de C/N inicial baja. La abundancia de microorganismos potencialmente patógenos disminuyó claramente durante el proceso de compostaje OFMSW con la adición de biocarbón (Malinowski *et al.*, 2019).

El vermicompostaje puede resultar como una alternativa eficiente para la producción de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos municipales, este método es un proceso de bajo costo que permite la biooxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, obteniendo un producto estabilizado (Villegas, Laines, 2017). De las opciones encontradas este es el método que se ajusta a las condiciones propias de la necesidad a nivel mundial para el manejo de los desechos orgánicos municipales, utilizando combinación con procesos convencionales, encontrando que la revisión se enfoca en la relación C:N balanceada y el suplemento usado con diferentes residuos agroindustriales que han sido probados para biodegradación en antaño como medios para abordar las preocupaciones sobre la contaminación ambiental.

Método de optimización del compostaje. Este enfoque incluye el 57,18 % de los estudios sistematizados. Con el fin de obtener un mejor rendimiento en el proceso, se encontraron diferentes estudios de adaptación de temperatura contra la eficiencia de producción, utilizando un sistema de compostaje aeróbico. En este sentido se encontró que, elevando la temperatura a más de 45 °C mediante el compostaje

energético en invierno, se generó un aumento notable en el pH, nitrógeno total y la capacidad de intercambio catiónico después de 7 días (condiciones para la producción eficiente del compost) (Li *et al.*, 2021). Los materiales de compostaje se descompusieron completamente y maduraron en 10 días; el compostaje energético inició la biodegradación rápidamente en 2 días, se redujo efectivamente la inhibición de algunos compuestos de desecho, se obtuvo descomposición de las sustancias orgánicas y producción de compost maduro (Li *et al.*, 2021).

La producción de humus se refiere al nivel de estabilidad que ha alcanzado la materia orgánica y que finalmente podría ser utilizada como enmienda en el suelo (Román, Martínez, Pantoja, 2013). La obtención del compostaje a un nivel óptimo con relación al tiempo se transforma en ganancias económicas y ambientales abriendo capacidad en las pequeñas plantas para el procesamiento de la materia prima (residuos sólidos urbanos); es por esto que optimizar los perfiles térmicos de compostaje es viable para alcanzar los niveles adecuados de estabilización de materia orgánica (Pérez *et al.*, 2021).

Para mejorar condiciones como la relación Carbono/Nitrógeno, necesaria para la descomposición de la materia orgánica, la adición de residuos vegetales y aserrín, arrojan efectividad a sustratos como (frutas, verduras, desechos de jardín), dando índices que afectan de manera positiva, la estabilidad del compost (Nawaiseh *et al.*, 2021).

Proceso de implementación del compostaje. Este enfoque, ubicó el 1,96% de los documentos analizados. Acorde con las características que se adoptan en los resultados y al análisis realizado en la literatura abordada, la implementación del compostaje puede darse como enmienda al suelo, acorde con las características que se adoptan en los resultados.

La aplicación de compost en el sector agrícola puede contribuir a la salud sostenible del suelo y otros co-beneficios. El compost producido a partir de residuos biológicos no contiene ningún químico desfavorable para el suelo vivo (Kamyab *et al.*, 2015).

Las enmiendas son sustancias que se adicionan al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estas pueden estar constituidas por desechos de origen animal, vegetal, mixto (enmienda orgánica) o también mineral (enmienda química) (Damian *et al.*, 2018).

En el análisis también se identificaron otros enfoques no definidos, estos ocupan el 12,01% de los documentos sistematizados.

Finalmente, se identificaron los sustratos empleados en las investigaciones analizadas:

Sustrato. Dentro de los sustratos utilizados en los artículos revisados, se encontraron, heces de animales, heces de humanos, lodos de depurados y bioplásticos, sin embargo, predominaron los residuos de alimentos clasificados dentro de los residuos sólidos orgánicos municipales, siendo este quien se adapta en mejores condiciones para la estabilización de la materia y la conformación de un producto óptimo.

4.3. Determinación de las perspectivas de investigación que se proyecta en el compostaje para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Definidos los enfoques de las investigaciones realizadas en compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos se definieron las siguientes proyecciones para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

Análisis microbiano del compostaje. La reintegración al proceso de lixiviados para la aceleración de la dinámica microbiana en el proceso resulta rentable y se presenta como solución frente a la necesidad de dar disposición final de estos residuos líquidos, sin embargo, se deben buscar estrategias adicionales que funcionen efectivamente (Badiillo *et al.*, 2018).

Método de compostaje. El vermicompostaje y los procesos aeróbicos son las opciones que arrojan mejores resultados con el sustrato mencionado, estos métodos en un nivel de proceso técnico, mejoran considerablemente las propiedades físicas y químicas del producto final, se obtiene de forma más rápida, y finalmente aporta los nutrientes necesarios para las plantas. (Villegas *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2021).

Métodos de optimización del compostaje. Este enfoque es de alta relevancia en el estudio realizado, pues incluye la mayor cantidad de artículos encontrados, demostrando cada autor el interés por mejorar los procesos, con el fin de contribuir a la calidad del medio ambiente y aumentar la vida de los vertederos de residuos sólidos. De los casos analizados, el principal atractivo para implementación es el compostaje aeróbico tecnificado, con seguimiento a parámetros fisicoquímicos, alternando con el vermicompostaje a través del uso de *Eisenia foetida*, que perfectamente se adapta al sustrato que se recomienda utilizar.

Implementación del compostaje. Finalmente, los suelos a nivel nacional son ricos en nutrientes, sin embargo, las condiciones climáticas,

hace que estos debiliten sus condiciones productivas, evidenciando la necesidad de utilizar enmiendas como el compost de residuos sólidos orgánicos que adopten estrategias tecnificadas desde una adecuada selección del sustrato hasta la intervención de mejora del proceso.

4.4. Conclusiones

Obtenidos los resultados de la productividad y tendencia por años de publicación, el número de artículos por autor, la relación de los 10 autores más citados, la procedencia de los investigadores, y las áreas de estudio de las publicaciones, se pudo inferir que la producción científica sobre el compostaje como estrategia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, es importante. En esta panorámica del tema se incluyeron las revistas indexadas en la base de datos Scopus, lo cual puede ser complementado en futuras investigaciones, con el estudio de bases de datos latinoamericanas para evidenciar tendencias de investigación en el tema con enfoque más regional.

Con la definición de los enfoques de las investigaciones, se genera un insumo para la toma de decisiones en la búsqueda de estudios con relación al compostaje para el aprovechamiento de residuos sólidos. En este sentido es importante profundizar en temas sobre el análisis microbiológico del compost, los métodos de compostaje y su proceso de implementación.

Se proyectan las perspectivas de investigación para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos con condiciones técnicas para los municipios que emprenden la reducción de desechos a los vertederos.

Referencias

AL-Nawaishe AR., Aljbour S.H., Al-Hamaiedeh H., El-Hasan T., Hemidat S., Nassour A., (2021) Composting of organic waste: A sustainable alternative solution for solid waste management in Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering. 15(3) 363 – 3772021

Asmar S. (2020). Solo el 17% de los residuos sólidos de Colombia son reciclados, advirtió el DNP.

Consejo Nacional de Política Económica y Social, (CONPES 3874) Política Nacional para la gestión Integral de Residuos sólidos. Noviembre de 2016. Colombia

Edita Solano López, Sara J. Castellanos Quintero, María Magdalena López Rodríguez del Rey, Juana I. Hernández Fernández (2009) La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *Medisur*. 7(4). 59-62

Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting. (2016) Yuan, J., Chadwick, D., Zhang, D., (...), He, S., Peng, S. *Waste Management* 55 403-410

J.A. López-Gonzales, F. Suárez-Estrella, M.C. Vargas -García, M.J. López, M.M. Jurado, J. Moreno (2015), Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: Studies upon its structure, functionality and biodiversity. *Bioresource Technology* 175 406-416

Jiang, J., Liu, X., Huang, Y., Huang, H. (2015) Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management* 39 78-85

José William Penagos Vargas, Jaime Adarraga Buzón, Daniela Aguas Vergara, Eddier Molina (2011). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido. 11 37-44

Kamyab, H., Lim, J.S., Khademi, T., (...), Keyvanfar, A., Lee, C.T. (2015) Greenhouse gas emission of organic waste composting: A case study of universiti teknologi Malaysia green campus flagship project 74(4) 113-117

Li, B., Shi, Z., He, M., Hu, T., Dong, Z. (2021). Energy composting allows rapid degradation of food waste using a water bath heated with electricity or solar energy. *Environmental Chemistry Letters* 19(5) 3539-3545

Liao, H., Lu, X., Rensing, C., (...), Zhou, S., Zhu, Y. (2018). Hyperthermophilic Composting Accelerates the Removal of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Sewage Sludge. *Environmental Science and Technology* 52(1) 266-276

Lina A. Lett (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología* 46(1), 1-2.

Malinowski, M., Wolny-Koładka, K., Vaverková, M.D. (2019) Effect of biochar addition on the OFMSW composting process under real conditions. *Waste Management* 84 364-372

Manuel Julio Damian Suclupe, Federico Gonzáles Veintimilla, Pedro Quñones Paredes, Jacson Ricardo Terán Iparraguirre. (2018) Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa* 25(1) 141-158

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Compostaje: Vamos a devolver algo al suelo.*

Pérez-Murcia, M.D., Martínez-Sabater, E., Domene, M.A., (...), López-Lluch, D.B., Moral, R. (2021) Role of proteins and soluble peptides as limiting components during the co-composting of agro-industrial wastes. *Journal of Environmental Management* 300,113701

Pilar Román María M. Martínez Alberto Pantoja. (2013) *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina*

Saer, A., Lansing, S., Davitt, N.H., Graves, R.E. Life cycle assessment of a food waste composting system: Environmental impact hotspots. (2013) *Journal of Cleaner Production.* 52 234-244

Santiago A. Varela, Gustavo Basil (2011) *Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales.* 4 3-8

Santiago Badillo, T.P., Pham, T.T.H., Nadeau, M., (...), Heitz, M., Avalos Ramirez, A. (2021). Production of plant growth-promoting bacteria inoculants from composting leachate to develop durable agricultural ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research.* 28(23) 29037-29045

Seguí, L., Medina, R., Guerrero, H. (2018) *Gestión de residuos y economía circular.* EAE Business School. 4-43

Víctor Manuel Villegas-Cornelio, José Ramón Laines Canepa. (2017) *Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos.* 18(2) 393-406

Wei, Y., Zhao, Y., Shi, M., (...), Fan, Y., Wei, Z. (2018) Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched

phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource Technology*. 247 190-197

Yang, F., Li, G.X., Yang, Q.Y., Luo, W.H. (2013) Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere* 93(7) 1393-1399

YingZhou, Ammayappan Selvam, Jonathan W.C. Wong. (2014) Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues. *Bioresource Technology* 168 229-234

Yuan, J., Chadwick, D., Zhang, D., (...), He, S., Peng, S. (2016) Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures. *Waste Management*. 56 403-410

Zhang, L., Sun, X. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. (2016) Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*. 48 115-126