

Valorización de residuos orgánicos para producir biofertilizantes: revisión bibliométrica de tendencias y avances

Valorization of organic waste to produce biofertilizers: bibliometric review Of trends and advances

Nathaly A. Torres Gallo¹, Daniel D. Otero Meza², Jairo Salcedo Mendoza³,
Jorge E. Hernández Ruydiaz⁴

Resumen

Este capítulo aborda la producción científica en biofertilizantes mediante un análisis bibliométrico. Se realizó una búsqueda en bases de datos científicas con palabras clave relacionadas, analizando las publicaciones según instituciones, financiadores, áreas temáticas y tipos de documentos. También se examinaron las coocurrencias entre palabras clave. Los resultados revelan un creciente interés en la investigación de biofertilizantes, con instituciones y financiadores líderes en Brasil, China e India, enfocados en sistemas alimentarios sostenibles, agricultura y reciclaje de residuos orgánicos. Las áreas de investigación más relevantes incluyen ciencias medioambientales y agrícolas, abordando temas como reciclaje de residuos orgánicos en agricultura, uso y manejo del suelo, agronomía, tecnología de biorrecursos y desarrollo de biofertilizantes. Los artículos de investigación son el tipo de documento más común, seguidos por revisiones bibliográficas y capítulos de libro. Se concluye que el desarrollo de biofertilizantes implica considerar aspectos ambientales, mejorar la producción de inoculantes para aumentar macronutrientes (NPK) en el compost, estudiar variables para control de calidad en producción, vida útil, reutilización de líquidos lixiviados como inoculantes y

1 Ingeniera Agroindustrial; Universidad de Sucre, correo: nathaly.torres@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7783-8186>

2 Dr.(c); Ingeniero Agroindustrial, Coinvestigador; Universidad de Sucre, correo: daniel.otero@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2889-7895>

3 Dr. Ingeniería, énfasis en Química, Esp. Ciencias ambientales, Ingeniero Químico; Universidad de Sucre, correo: jairo.salcedo@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9901-9793>

4 M.Sc Ciencias Agroalimentarias, énfasis en Ingeniería, Ingeniero Agroindustrial., Universidad de Sucre, correo: jorge.hernandez@unisucra.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0530-4567>

desarrollar biofertilizantes autosustentables para un uso eficiente de recursos en la agricultura.

Palabras clave: biofertilizante, degradación, digestión aerobia, estiércol bovino, humedad, relación C/N, residuos agrícolas, residuos orgánicos.

Abstract

This chapter addresses the scientific production in biofertilizers through a bibliometric analysis. A search was carried out in scientific databases with related keywords, analyzing the publications according to institutions, funders, subject areas and types of documents. The co-occurrences between keywords were also examined. The results reveal a growing interest in biofertilizer research, with leading institutions and funders in Brazil, China, and India focused on sustainable food systems, agriculture, and organic waste recycling. The most relevant research areas include environmental and agricultural sciences, addressing topics such as recycling of organic waste in agriculture, land use and management, agronomy, bioresource technology and biofertilizer development. Research articles are the most common document type, followed by literature reviews and book chapters. It is concluded that the development of biofertilizers implies considering environmental aspects, improving the production of inoculants to increase macronutrients (NPK) in the compost, studying variables for quality control in production, useful life, reuse of leached liquids as inoculants, and developing self-sustaining biofertilizers for efficient use of resources in agriculture.

Keywords: biofertilizer, degradation, aerobic digestion, bovine manure, moisture, C/N ratio, agricultural residues, organic residues.

Introducción

El acelerado crecimiento de la población mundial en la actualidad se encuentra estrechamente vinculado con la industrialización, urbanización y producción agrícola (Raihan, 2023; Raihan & Tuspekova, 2022). Por esta razón, la agricultura tradicional se ha vuelto esencial para cubrir las necesidades nutricionales de la humanidad (Kah *et al.*, 2019). No obstante, los métodos de cultivo convencionales se fundamentan principalmente en el uso intensivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, los cuales, además de tener un alto costo, generan un impacto negativo en el medio ambiente y la salud (Maçik *et al.*, 2020). En un mundo en constante crecimiento, satisfacer la demanda de productos agrícolas y mantener la productividad agrícola son desafíos urgentes. Por consiguiente, el empleo de biofertilizantes elaborados a partir de residuos sólidos agrícolas se ha consolidado como una alternativa sostenible y económicamente viable frente a los

fertilizantes químicos (Carrasco, 2020a), debido a sus numerosos efectos beneficiosos a largo plazo sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos, mejorando la calidad comercial de las cosechas (Osorio-Reyes *et al.*, 2023; Rathnathilaka *et al.*, 2023).

El consumo global de biofertilizantes experimentó un incremento del 1.3% en 2018 en comparación con el año anterior, alcanzando la cifra de 187 millones de toneladas, de las cuales América Latina, Asia del Sur, África, Europa del Este y Asia Central consumieron el 80% (CVN, 2019). En Colombia, el desarrollo de este mercado ha tenido un crecimiento significativo, impulsado por centros de investigación y empresas privadas, en su mayoría con biofertilizantes fijadores de nitrógeno, hongos formadores de micorrizas y bacterias solubilizadoras de fosfato (Marcela *et al.*, 2018).

La producción científica mundial de biofertilizantes, mediante la valorización de residuos orgánicos, ha sido relevante en la última década. Entre las investigaciones más destacadas se encuentran las realizadas por Asses *et al.* (2019), quienes implementaron a gran escala el desarrollo de estos procesos como alternativa para el aprovechamiento de subproductos y residuos generados durante el sacrificio de aves. Asimismo, Asadu *et al.* (2020) llevaron a cabo un estudio en el cual se resalta la influencia de biofertilizantes generados a partir de la mezcla de aserrín y residuos agrícolas nitrogenados, utilizando actinomicetos como inóculos microbianos. Otro trabajo relevante es el de (Chakravarty & Mandavgane, 2021), quienes se enfocaron en el aprovechamiento eficiente de residuos de frutas y verduras, así como de los desechos generados en mataderos mediante codigestión en dos etapas: digestión anaerobia seguida de digestión aerobia con *Trichoderma reesei*. Por otro lado, Ajaweed *et al.* (2022), centraron su investigación en la evaluación de características fisicoquímicas de biofertilizantes con base en residuos orgánicos municipales, residuos agrícolas y estiércol de aves, siendo este último una excelente fuente de microorganismos que aportan efectos positivos al producto final, en cuanto a micro y macronutrientes contenidos.

Los residuos sólidos agrícolas y el estiércol de ganado representan fuentes valiosas de nutrientes y microorganismos que pueden ser empleados en la producción de biofertilizantes. Estos residuos pueden ser obtenidos localmente, lo que disminuye los costos de transporte y promueve la economía circular (Kapoor *et al.*, 2020). Además, al utilizar estos materiales, en lugar de desecharlos, se reduce el impacto ambiental negativo asociado con la disposición inadecuada de estos residuos, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del suelo y agua (Lamma, 2021).

Para asegurar la producción eficiente de biofertilizantes, es crucial tener en cuenta una serie de parámetros técnicos. Entre ellos, destacan la calidad y composición de los residuos orgánicos, la concentración de nutrientes, el proceso de fermentación, la selección de microorganismos apropiados y la relación carbono/nitrógeno (C/N), la cual

es un parámetro clave en la producción de biofertilizantes, ya que afecta la actividad microbiana y, por ende, la eficiencia en la liberación de nutrientes (Ezemagu *et al.*, 2021).

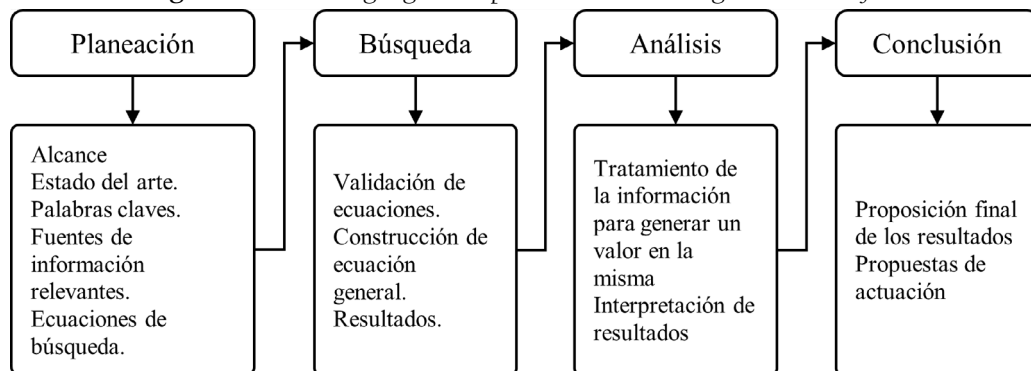
La implementación de técnicas de producción de biofertilizantes debe adaptarse a las condiciones locales y tener en cuenta aspectos socioeconómicos, dado que la disponibilidad de residuos orgánicos y las necesidades nutricionales de los cultivos pueden variar según la región (Kanda *et al.*, 2021). Además, es esencial llevar a cabo investigaciones y capacitaciones para promover la adopción de prácticas sostenibles de manejo de residuos y la producción de biofertilizantes entre los agricultores y otros actores del sector agrícola (Raimi *et al.*, 2021).

Este capítulo tiene como propósito ofrecer una revisión bibliométrica de la producción científica de los últimos cinco años, en relación con el desarrollo de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos, y resaltar la importancia de la disponibilidad de estos residuos para garantizar una producción sostenible y ambientalmente responsable. (observación 1: aclarar el rango temporal, ya que la búsqueda se realizó en un lapso comprendido ente el 2014 -2023, ambos inclusive)

Métodos

Esta sección detalla los métodos empleados en el desarrollo de la investigación, la cual se llevó a cabo en cuatro etapas. Para ello, se aplicó una metodología de revisión sistemática fundamentada en criterios de búsqueda y selección de documentos relevantes. La Figura 1 ilustra el diagrama de flujo que representa la información obtenida a lo largo de las distintas fases de la investigación.

Figura 1. Metodología general para realizar una vigilancia científica.



Nota. La figura muestra el diseño metodológico para alcanzar el objetivo propuesto en el presente documento. Fuente: adaptado de (AENOR UNE, 2018) Planeación de la Búsqueda y Definición del Alcance.

En la primera etapa, se definió el objetivo de la búsqueda y se diseñó una estrategia para recopilar información de manera estructurada. Inicialmente, se seleccionaron 42 palabras claves (Apéndice A1) directamente relacionadas con el tema, las cuales se identificaron en diversos artículos científicos. Para elegir las palabras clave, se realizó una revisión bibliográfica preliminar de documentos vinculados al tema en estudio. Se optó por aquellas palabras que guardaron una relación más estrecha con la producción de biofertilizantes y presentaron mayor frecuencia de ocurrencias. Posteriormente, se seleccionaron fuentes de información pertinentes y se formularon ecuaciones basadas en las palabras clave seleccionadas. El horizonte de búsqueda se estableció sobre los últimos diez años (2014–2023).

Búsqueda y validación de ecuaciones

En esta segunda etapa, se validaron las ecuaciones previamente establecidas, restringiendo los resultados a aquellos obtenidos en Scopus. Las ecuaciones de búsqueda se conformaron utilizando dos o más palabras clave relacionadas, vinculadas mediante los operadores AND y OR. Para realizar la búsqueda, se tuvieron en cuenta las publicaciones a partir del año 2014, incluyendo artículos científicos, capítulos de libro, resúmenes de conferencias, documentos de conferencias y revisiones. A partir de esta información, se generó la ecuación general de búsqueda y se identificó la producción científica sobre biofertilizantes basados en residuos orgánicos dentro de la ventana de observación, así como los autores e instituciones destacadas, los países con mayor cantidad de publicaciones, las áreas temáticas y las tecnologías más empleadas para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

Análisis de los metadatos e interpretación de resultados

En esta tercera etapa, se emplearon herramientas de apoyo (por ejemplo, VOSviewer) para obtener visualizaciones simplificadas de los datos. Los resultados obtenidos a partir de la ecuación general se recopilaron y se eliminaron las palabras no relacionadas con el tema en estudio. Utilizando el software VOSviewer, se aplicó la técnica de mapeo de coocurrencias mediante agrupación en clústeres para obtener redes bibliométricas representadas en mapas temáticos. Esta información facilitó la identificación de los temas relacionados con el estudio en cuestión.

Desarrollo de propuestas sobre el área de investigación

En la cuarta y última etapa, se llevó a cabo una interpretación exhaustiva y detallada de los resultados obtenidos. Se analizaron las tendencias, patrones y conexiones identificadas en las etapas previas, lo que permitió obtener una comprensión más

profunda de la investigación en el campo de los biofertilizantes. A partir de este análisis, se propusieron estrategias y acciones específicas para apoyar y optimizar el proceso productivo de biofertilizantes, incluyendo la adopción de tecnologías innovadoras, fomento de la cooperación interdisciplinaria y promoción de políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad y responsabilidad ambiental. Esta información es clave para orientar futuras investigaciones y prácticas en el ámbito de la producción de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos.

Resultados y discusión

Esta sección presenta los hallazgos más significativos de la vigilancia científica y ofrece una discusión detallada en torno a los hallazgos obtenidos. Se analizan las tendencias emergentes, las tecnologías y metodologías claves, así como las áreas de investigación y enfoques predominantes en el campo de los biofertilizantes.

Ecuaciones de búsqueda validadas

La Tabla 1 muestra las ecuaciones de búsqueda validadas y el número de documentos obtenidos en cada caso.

Tabla 1. *Listado de ecuaciones de búsqueda.*

No.	Ecuación de Búsqueda	Documentos
1	biofertilizer AND ("food waste" OR "agricultural waste" OR "organic waste" OR "organic material" OR compost AND production OR "aerobic digestion")	244
2	"aerobic digestion" AND "organic fertilizer"	10
3	biofertilizer AND macronutrients AND (carbon OR nitrogen OR phosphorous OR potassium)	47
4	biofertilizer AND micronutrients AND soil OR organic	99
5	biofertilizer AND "c/n ratio"	58
6	biofertilizer AND production AND "crop residue"	22
7	biofertilizer AND "organic waste" AND manure AND bovine AND production	4
8	biofertilizer AND "organic waste" AND "agricultural waste" AND production	7
9	biofertilizer AND ("livestock manure" OR "crop residue"	52
10	biofertilizer AND feces OR livestock OR "beef cattle"	85
11	biofertilizer AND soil AND ("nutrient availability") AND manure	19
12	biofertilizer AND variables AND (ph OR temperature)	33

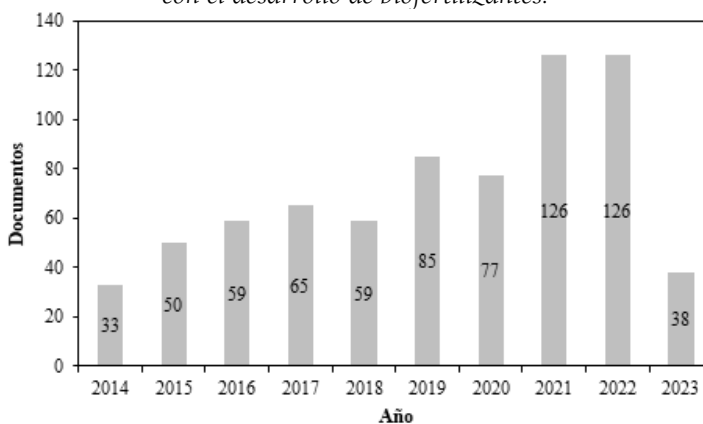
No.	Ecuación de Búsqueda	Documentos
13	biofertilizer AND organic AND waste AND residue	61
14	“Applications manure” AND bovine OR cattle	6
15	biofertilizer AND substrate AND (lignin OR cellulose OR hemicelluloses OR murein OR chitin)	16
16	biofertilizer AND waste AND “organic carbon” AND “total nitrogen”	6
17	biofertilizer AND “environmental factors” AND (temperature OR ph OR aeration OR “moisture content”)	18
18	biofertilizer AND (“aerobic digestion” OR bioreactor)	81
19	biofertilizer AND “sources of nutrients”	43
20	fertilizer AND “manure bovine”	6

Nota. Se obtuvieron un total de 917 coincidencias, de las cuales 719 correspondieron a documentos únicos; la configuración de la búsqueda se ejecutó con los términos AND y OR en Scopus, y se obtuvieron resultados de tipo artículos de investigación, revisión bibliográfica, capítulos de libros, artículos de sesión y artículos de conferencia, los documentos excluidos resultaron de coincidencias replicadas, posterior a la selección de los textos, se procedió al análisis que nos permitió una interpretación detallada de los documentos más enfocados en la tecnología en estudio.

Producción Científica

La Figura 2 muestra la tendencia mundial de publicación de artículos de investigación en el área de estudio.

Figura 2. Tendencia mundial de la publicación de documentos de investigación relacionados con el desarrollo de biofertilizantes.



Nota. La figura ilustra la evolución de la producción científica en el ámbito global, desde 2014 hasta 2023, en relación con la elaboración de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos.

Los resultados de la Figura 2 indican que la tendencia en la publicación de estudios relacionados con el área de investigación de biofertilizantes ha experimentado un crecimiento considerable en los últimos cinco años. El incremento más significativo tuvo lugar entre 2020 y 2021, mientras que en 2022 se mantuvo una tendencia constante. Hasta el momento, de esta investigación, en 2023 se han identificado 38 documentos publicados, lo que sugiere que el interés mundial en el desarrollo de biofertilizantes es un tema de gran relevancia en la actualidad, dada su relación con fenómenos cruciales que enfrenta la humanidad, como el cambio climático y el manejo adecuado de residuos orgánicos.

Entre los estudios más destacados de los últimos cinco años, resaltan el realizado por Karanja *et al.* (2019). Esta investigación evaluó las modificaciones fisicoquímicas que ocurren durante el proceso de compostaje de estiércol de pollo y asno, utilizándolos como inóculos iniciadores para la transformación de paja de arroz en fertilizante orgánico. A lo largo del proceso, se monitorearon los niveles de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Los autores concluyeron que el compostaje de paja de arroz tratada con estiércol de pollo ofrece resultados más eficientes al disminuir los niveles de plomo y cadmio en el compost final. Además, Asses *et al.* (2019), presentaron una propuesta para el proceso de compostaje a gran escala, utilizando subproductos y residuos generados durante el sacrificio de aves. Las mezclas empleadas fueron compuestas por desechos de mataderos avícolas, lodos de depuradora, residuos agrícolas, cartón, polvo de madera y compost activado. Durante el proceso, se monitorearon parámetros fisicoquímicos e indicadores biológicos que permitieron evaluar la calidad del producto final. Se alcanzaron altas temperaturas en la fase termófila, lo que a su vez refleja una elevada actividad microbiana, facilitando la reducción de agentes patógenos y el cumplimiento de los límites establecidos en las normativas vigentes. Los autores concluyen que este tipo de compostaje permite obtener un producto higiénico, con alto contenido de nutrientes y con calidad agronómica.

Por otro lado, Asadu *et al.* (2020) llevaron a cabo un proceso de compostaje a escala piloto utilizando un biorreactor de polietileno. Durante el proceso, en periodos de cinco días, se determinaron la cantidad de nitrógeno, carbono, materia orgánica y pH en el material a compostar. Este estudio demostró que es posible producir un biofertilizante con excelentes características en términos de mineralización de nutrientes del suelo a partir de la degradación de desechos agrícolas utilizando inóculos microbianos como *Streptomyces spp* y *Rothia spp*, ya sea de manera aislada o en conjunto, siendo esta última opción la que mostró mejores resultados, dado los efectos aditivos de las ventajas de ambos microorganismos. Similarmente, Chintagunta *et al.* (2020) propusieron la elaboración de abono orgánico a partir de residuos agrícolas tratados individualmente con cuatro cianobacterias: *Tolypothrix tenuis*, *Anabaena variabilis*, *Fischerella muscicola*

y *Aulosira fertilissima*. Estas cianobacterias permitieron incrementar los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en cada residuo, lo que se traduce en una mejora en las características de fertilidad del suelo y en el crecimiento de las plantas.

Dentro de las investigaciones realizadas durante el año 2021, se evidencia el desarrollo de un biofertilizante obtenido de la descomposición microbiana de la mezcla de lodos post biocoagulación y polvo de sierra a partir de digestión anaerobia por Ezemagu *et al.* (2021b), quienes comprobaron que la concentración de zinc, cromo, cobre, cadmio y plomo del resultado de este compostaje se encuentra dentro de los límites permitidos para uso agrícola por lo que es viable y sostenible el aprovechamiento de estos residuos en este tipo de tecnología. Mientras que Chakravarty y Mandavgane (2021), centraron sus estudios en el aprovechamiento eficiente de residuos de frutas y verduras, así como de los desechos generados en mataderos, mediante un proceso de codigestión en dos etapas. La primera etapa consistió en una digestión anaerobia, seguida de una digestión aerobia en la segunda etapa con *Trichoderma reesei*. Como resultado, se observó que más del 60% del contenido lignocelulósico de la materia orgánica se degradó en la primera etapa, mientras que en la segunda etapa se logró la máxima descomposición del material restante, demostrando que es posible la formación de un biofertilizante adecuado para el crecimiento de vegetales.

Ajaweed *et al.* (2022), evaluaron las características fisicoquímicas de biofertilizantes elaborados a partir de residuos orgánicos (RO). Para ello, se realizó el compostaje utilizando una mezcla de residuos orgánicos municipales, residuos agrícolas como hojas secas, estiércol de aves, y aditivos como *Trichoderma harzianum* y ácido húmico. Se monitorearon semanalmente la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el porcentaje de microorganismos, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el potasio y la relación C/N. El estiércol de aves y animales se considera una buena fuente de microorganismos y un agente de carga durante el compostaje, lo que aumenta los niveles de macro y micronutrientes.

Por otro lado, Hadidi *et al.* (2022) investigaron la valorización de residuos avícolas enriquecidos con algas y melazas mediante su transformación en biofertilizantes. Los resultados mostraron beneficios en términos de seguridad microbiológica y química, cumpliendo con las normativas vigentes para acondicionadores de suelo. De manera similar, Södergren *et al.* (2022), abordaron la seguridad alimentaria microbiológica como un aspecto importante en términos de inocuidad del alimento. Desarrollaron un biofertilizante a partir de digestato anaerobio, lo que representa una propuesta para la producción alimentaria autosostenible.

Gaspar *et al.* (2022), investigadores nativos de Brasil, estudiaron la transformación de materiales orgánicos en biofertilizantes estables enriquecidos con nutrientes a través

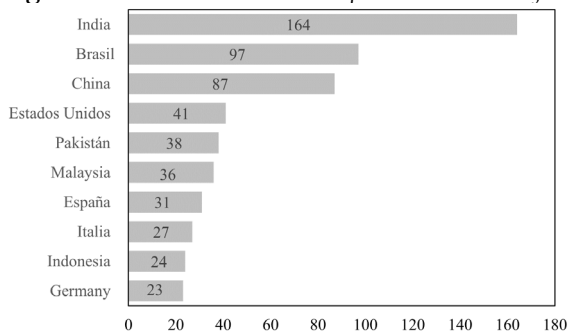
de poblaciones microbianas. Este proceso se realizó en un compostador con temperatura y aireación forzada para reducir los tiempos de degradación y obtener mayores eficacias. Se monitoreó la actividad microbiana y las características fisicoquímicas durante 120 días, y los tratamientos mostraron mejoras en cuanto a la calidad y tiempos del producto final.

Finalmente se destaca el trabajo de Saini *et al.* (2023), quienes propusieron una alternativa para potenciar el uso de la paja de arroz como biomasa en la producción de biofertilizantes. El método consistió en deslignificar la materia prima utilizando clorito de sodio asistido por lacasa ecológico combinado. Este tratamiento permitió una reducción significativa de la lignina y, a su vez, aumentó la cantidad de carbohidratos totales. Estos resultados sugieren que este tipo de tratamiento representa una estrategia prometedora para el desarrollo mejorado de biofertilizantes a partir de la paja de arroz.

Países con mayores publicaciones

La Figura 3 muestra los diez países con mayor número de documentos publicados dentro del alcance de las ecuaciones de búsqueda.

Figura 3. Países destacados en producción científica.



Nota. La figura representa los principales países que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Los resultados obtenidos revelan que la concentración global de investigación y desarrollo (I+D) se presenta mayormente en los países del continente asiático, liderando con alrededor del 48,5% del total de la producción científica, seguido de América con un 19,2% y con menor representación Europa con el 11,3%. La inversión en investigación y desarrollo creció un 19% entre los años 2014 y 2018, y gran parte de ese crecimiento se debe a los aportes realizados por las mayores economías del mundo, China y Estados Unidos.

India es el país con el mayor número de documentos publicados, con un total de 164 documentos. Lo sigue Brasil con 97, China con 87, Estados Unidos con 41, Pakistán con 38, Malaysia con 36, España con 31, Italia con 27, Indonesia con 24 y, finalmente, Alemania con 23. En una de sus investigaciones, Dantroliya *et al.* (2022), autor nativo de India, presenta un enfoque para generar valor agregado a partir del reacondicionamiento de residuos orgánicos y la utilización de comunidades bacterianas, obteniendo así material sólido destinado a la alimentación animal y material líquido como medio de cultivo para cepas de biofertilizantes.

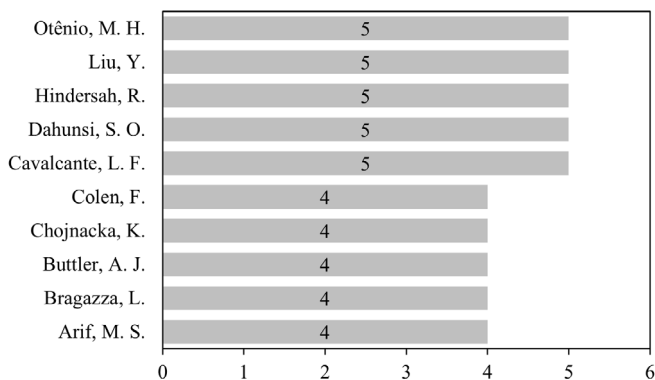
En América Latina y el Caribe, ningún país, excepto Brasil, supera el 1% en inversión en este campo a nivel mundial, considerando que uno de cada cinco países invierte más de este porcentaje de su PIB en Investigación y Desarrollo e industrias del conocimiento (Unesco, 2023). Por otra parte, el continente asiático representa una participación líder debido a que, a lo largo de los años, han conservado un crecimiento del PIB tres veces superior a la media de las principales economías del mundo (Carrasco, 2020b).

La baja producción científica de Europa a nivel mundial se atribuye en gran parte al escaso número de investigadores debido a la baja inversión en I+D, lo que se ve reflejado en la variabilidad de publicaciones realizadas entre los años 2014 y 2023 respectivamente por cada país. Finalmente, se puede concluir que aquellos con mayor inversión en I+D y un mayor número de investigadores son los que publican más documentos científicos.

Autores principales

En la Figura 4 se ilustran los autores que presentan gran visibilidad a nivel internacional por su producción científica.

Figura 4. Autores destacados en la producción científica.



Nota. La gráfica representa los principales autores que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes, desde los años 2014 a 2023, a nivel mundial.

Los resultados muestran que los autores con mayor número de publicaciones en el área de investigación son Cavalcante, L.F., Dahunsi, S.O., Hindersah, R., Liu, Y. y Otênio, M.H., quienes destacan con una producción científica total de cinco documentos cada uno publicados desde el año 2014 hasta el 2023. Sus estudios se centran en temas relacionados principalmente con las ciencias agrícolas, tecnología bioambiental, energía, producción más limpia, gestión de residuos, energía renovable, microbiología, entre otros temas. Por ejemplo, se han enfocado en el análisis de las propiedades fertilizantes y la calidad sanitaria de los biofertilizantes, y han descubierto la presencia de algunas bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Penicillium* y *Aspergillus*, que aumentan la eficiencia del biofertilizante, pero también bacterias patógenas como la *salmonella* y *Klebsiella*, lo que representa un riesgo para la salud del consumidor final (Owamah *et al.*, 2014). También se destacan por la elaboración de cuatro artículos cada uno sobre temas en estudio.

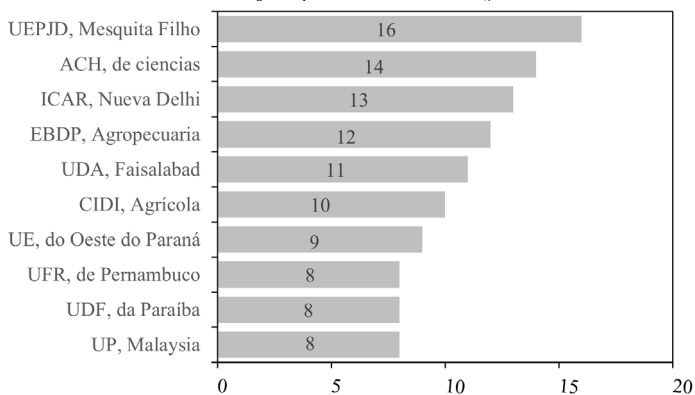
Otros autores que han participado con el mismo número de investigaciones, realizadas entre 2017 y 2022, son Saleem Arif Muhammad, quien se enfoca principalmente en temas como la ecología del suelo aplicada, nutrición vegetal y ciencia del suelo, y Luca Bragazza, Alexandre Buttler, Katarzyna Chojnacka y Fernando Colen, quienes se centran en temas como la ecología del suelo, tecnología bioambiental, ciencias agrícolas, entre otros.

En la investigación de Izydorczyk y Saeid (2022) se muestra una alternativa de sustentabilidad mediante la aplicación de cepas del género *Bacillus* en residuos portadores de fosfato, para lograr una mejor solubilización de este elemento. Para ello, se utilizaron espinas de pescado y cenizas de la incineración de lodos de depuradora. La combinación de estas dos materias primas permitió obtener mejores resultados de solubilización, lo que mejora la eficiencia biológica de las plantas.

Principales instituciones

En la Figura 5 se ilustran las diez instituciones más destacadas en producción científica.

Figura 5. Instituciones con mayor producción científica en el área de estudio.



Nota. La gráfica representa las principales instituciones que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial. UEPJD–Universidad Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Brasil; ACH–Academia China de Ciencias; ICAR–Instituto Indio de Investigación Agrícola, Nueva Delhi, India; EBDP–Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – Embrapa, Brasil; UDA–Universidad de Agricultura, Faisalabad, Pakistán; CIDI–Consejo Indio de Investigación Agrícola, India; UE–Universidad Estadual do Oeste do Paraná, Brasil; UFR–Universidad Federal Rural de Pernambuco, Brasil; UDF–Universidad de Federal da Paraíba, Brasil; UP–Universiti Putra Malaysia, Selangor.

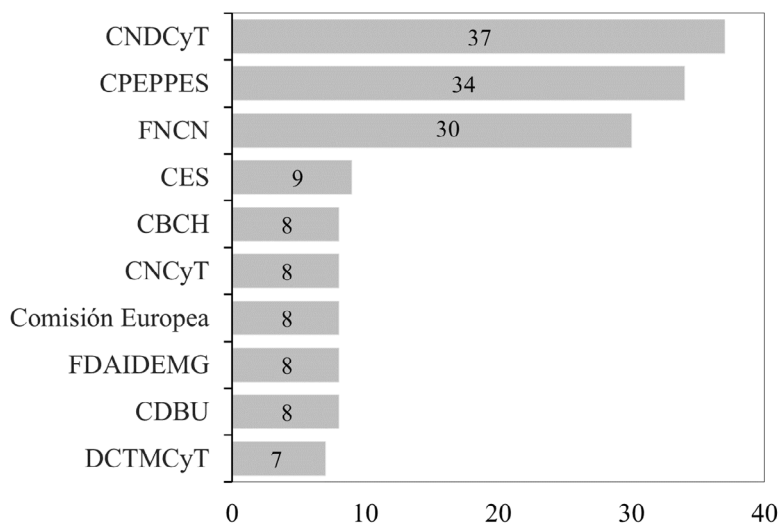
La Universidad Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, ubicada en Brasil, encabeza la lista con 16 publicaciones sobre producción de biofertilizantes, centrándose en sistemas alimentarios sostenibles, alimentación y agricultura. En su investigación, Ronga *et al.* (2019) señala que la sostenibilidad de los cultivos es un tema importante en la actualidad y se necesitan alternativas que mejoren el rendimiento y la calidad de la agricultura, como los biofertilizantes. Esta universidad cuenta con más de 39,805 autores afiliados y más de 97,000 documentos publicados. En segundo lugar se encuentra la Academia China de Ciencias con más de 935,610 documentos publicados y 14 relacionados con el tema en estudio. En las investigaciones realizadas por Nascimento *et al.* (2020), se muestra que la fertirrigación con biofertilizantes puede reemplazar la fertilización convencional y reducir los impactos ambientales generados por la ganadería lechera. El Instituto Indio de Investigación Agrícola, Nueva Delhi, ocupa el tercer lugar con 13 publicaciones en ciencias agrícolas y biológicas, ciencias ambientales y reciclaje de residuos orgánicos. La Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria–Embrapa ocupa el cuarto lugar con 12 publicaciones relacionadas con ingeniería sostenible, progreso biotecnológico y microbiología. En el quinto y sexto lugar se encuentran la Universidad de Agricultura, Faisalabad y el Consejo Indio de Investigación Agrícola, respectivamente, con 11 y diez publicaciones. Le siguen la Universidad Federal Rural de Pernambuco, la

Universidad Federal de Paraíba y la Universiti Putra Malaysia con ocho publicaciones cada una. Algunas investigaciones destacadas son las realizadas por Al-suhaibani *et al.* (2021), que presenta una estrategia para sostener la producción de cultivos mediante el manejo integrado de nutrientes en la planta mediante residuos agrícolas compostados y biofertilizantes.

Entidades financiadoras

En la **Figura 6** se ilustran las diez entidades más destacadas en producción científica.

Figura 6. Patrocinadores de financiación.



Nota. La gráfica representa las principales entidades financiadoras líderes en la producción científica sobre elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

CNDCyT–Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Brasil; CPEPPES–Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior, Brasil; FNCN –Fundación Nacional de Ciencias Naturales, China; CES–Comisión de Educación Superior, Pakistán; Consejo de Becas, China; CNCyT–Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; Comisión Europea, Europa; FDAIDEMG–Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado, Minas Gerais; CDBU–Comisión de Becas Universitarias; DCTMCyT -Departamento de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Ciencia y Tecnología, India.

Dentro de las entidades más destacadas en el área de investigación, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico es la entidad con el mayor número de documentos publicados, con un total de 37 documentos. Estos documentos se enfocan

principalmente en temas relacionados con las ciencias agrícolas y biológicas, como se muestra en la investigación de Alexandre *et al.* (2021), donde se resalta la importancia de la fertilización orgánica, ya que puede proporcionar aspectos positivos en cuanto a la producción y calidad de los cultivos.

En segundo lugar se encuentra la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior ubicada en Brasil, con el patrocinio de 34 artículos enfocados principalmente en las ciencias agrícolas y biológicas, y la ciencia medioambiental. A continuación, la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, con 30 investigaciones, en las cuales se encuentra el estudio de Zhang *et al.* (2020), donde se presenta una idea para la producción de biofertilizantes implementando bacterias oxidantes de nitrógeno en cultivos mixtos.

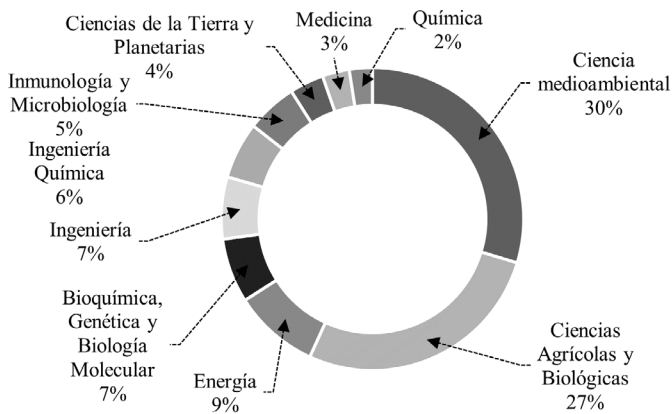
Con el patrocinio de nueve documentos encontramos a la Comisión de Educación Superior de Pakistán, y con ocho documentos a El Consejo de Becas de China, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comisión Europea, Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Minas Gerais y Comisión de Becas Universitarias, apoyando temas como la bioquímica, genética y biología molecular. Entre ellos se destaca la investigación realizada por Klaic *et al.* (2021), en la que se propone la creación de biofertilizantes mediante la sinergia del hongo *Aspergillus niger*, generalmente encontrado en el suelo, y de un compuesto a base de una matriz de almidón de fácil degradación, integrada principalmente por óxidos minerales y azufre (S). Este método permite acrecentar la solubilidad de los micronutrientes zinc (Zn), magnesio (Mn) y cobre (Cu) en la agricultura, aumentando la productividad y vida útil de los cultivos, lo que se vería reflejado en una agricultura más sostenible.

Finalmente, el Departamento de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Ciencia y Tecnología de India, cuenta con siete apartados relacionados con tecnología e innovación ambiental, microbiología e indicadores ecológicos.

Documentos por área temática

La Figura 7 muestra la participación de diferentes áreas temáticas en las cuales se han publicado los documentos hallados dentro del área de investigación.

Figura 7. Artículos clasificados por área temática.



Nota. La gráfica representa las diez principales áreas temáticas que toman liderazgo de la producción científica en la elaboración de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Dentro de las áreas más destacadas, en primer lugar se encuentra la ciencia medioambiental, que representa el 27.2% del total (350 documentos publicados entre 2014 y 2023), como se muestra en la Figura 7. Esta área se enfoca principalmente en el reciclaje de residuos orgánicos en la agricultura, incluyendo estudios como el de Tashi *et al.* (2023), que evaluaron los efectos de un biofertilizante en el rendimiento de cultivos y la fertilidad del suelo. Otros temas relevantes en esta área son la valorización de residuos y biomasa, el progreso ambiental y la energía sostenible. En segundo lugar, las ciencias agrícolas y biológicas representan el 24.7% del total (319 documentos), abarcando temas como el uso y manejo del suelo, agronomía, reciclaje, agricultura renovable y sistemas alimentarios. Hills *et al.* (2021) contribuyeron a esta área evaluando la demanda de fertilizantes elaborados con residuos biológicos derivados del estiércol de vacas lecheras para determinar el potencial de estas tecnologías. En tercer lugar, con un 8.4%, se encuentran 108 artículos relacionados con la energía, abordando temas como la tecnología de biorecursos y el desarrollo de biofertilizantes por vermiestabilización de malezas de aguas residuales farmacéuticas (Dhadse *et al.*, 2021).

También se incluyen fuentes ambientales, sostenibles y biorrefinerías, entre otros. A continuación, el área de bioquímica, genética y biología molecular representa el 6.3% del total con 81 documentos. Entre ellos, destaca un estudio de Parab y Shankhadarwar (2022) que propone la estimulación del crecimiento de cultivos agrícolas mediante fertilizantes líquidos con base en algas marinas, ricas en macro y micronutrientes, así como en múltiples reguladores del crecimiento necesarios para las plantas. Le sigue el

área de Ingeniería, con un 6.1% del total de publicaciones, como las realizadas por Lai *et al.* (2023), que evaluaron la eficacia de procesos de compostaje utilizando residuos alimentarios como cáscaras de plátano, huevos y col rizada china, demostrando resultados positivos en cuanto a los beneficios para las plantas.

En sexto lugar, la ingeniería química abarca el 5.6% del total (72 documentos), enfocándose en parte en la ingeniería sostenible y en la producción de biofertilizantes a base de microorganismos simples o dobles, empleando el concepto de compuestos granulares como alternativa para la solubilización de fósforo y control de enfermedades en las plantas (Li, 2022). El séptimo lugar lo ocupa la Inmunología y la Microbiología, con un 5% del total (64 publicaciones), investigando la eficiencia de procesos de compostaje utilizando residuos de frutas e inoculando bacterias solubilizadoras de fosfato, que permiten la producción de ácidos orgánicos para facilitar la absorción por parte de la planta, mejorando su productividad y crecimiento (Ahmad *et al.*, 2022). El área de Ciencias de la Tierra y planetarias ocupa el siguiente lugar, representando el 3.3% del total (43 documentos).

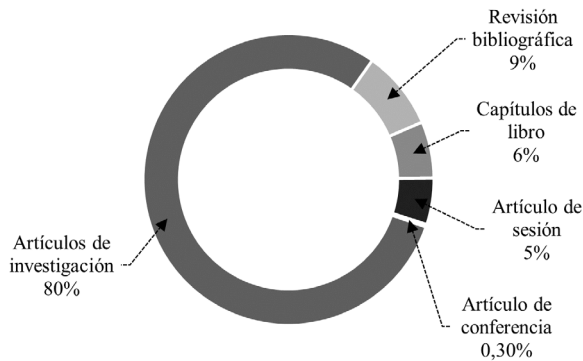
A continuación, encontramos la medicina con un 2.6% (34 documentos) y la química con un 2.2% (29 publicaciones). Otras áreas como Ciencias Sociales, Farmacología, Toxicología y Farmacéutica, Ciencias de la Computación, Negocios, Gestión y Contabilidad, Ciencia de los Materiales, Multidisciplinarias, Física y Astronomía, Economía, Econometría y Finanzas, Profesiones de la Salud, Matemáticas, Veterinaria, Ciencias de la Decisión y Neurociencias, representan en conjunto un 8.5% del total (139 documentos publicados).

Con base en estos resultados, podemos afirmar que las áreas de investigación más destacadas son la ciencia medioambiental, las ciencias agrícolas y biológicas, y la energía. Estas áreas abarcan temas como el reciclaje de residuos orgánicos en la agricultura, el uso y manejo del suelo, la agronomía, la tecnología de biorrecursos y el desarrollo de biofertilizantes, entre otros. A medida que la investigación avanza en estos campos, se espera que se sigan desarrollando soluciones innovadoras y sostenibles para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

Tipo de documentos

En la Figura 8 se muestra el tipo de documentos que se relacionan en este estudio sobre la producción de biofertilizantes.

Figura 8. Tipo de documentos relacionados con la elaboración de biofertilizantes.



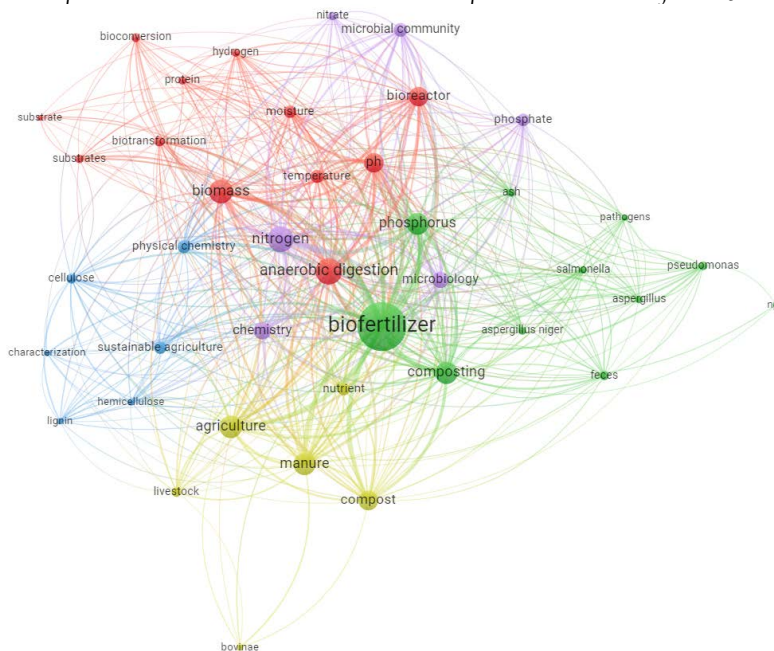
Nota. La gráfica representa el tipo de documentos relacionados con la producción de biofertilizantes desde los años 2014 a 2023 a nivel mundial.

Los resultados revelan que los artículos de investigación constituyen el 80% del total de documentos encontrados, sumando 571 publicaciones. A continuación, se ubican las revisiones bibliográficas con 63 documentos, capítulos de libros con 45, artículos de sesiones con 37 y, finalmente, artículos de conferencias con dos publicaciones. Dentro de las investigaciones tipo revisión, encontramos, por un lado, el trabajo de Solehah *et al.* (2022), quienes implementan biofertilizantes microbianos utilizando materiales alimenticios fermentados en busca de sus beneficios para mejorar el crecimiento y desarrollo general de las plantas. Esto se debe a que estos biofertilizantes proporcionan una amplia gama microbiana que contribuye al enriquecimiento del contenido nutricional. Por otro lado, Benyahya *et al.* (2022) resaltan la importancia de los diferentes parámetros críticos que influyen en el proceso de digestión anaerobia durante la producción de biofertilizantes. Entre estos parámetros se incluyen el pH, la humedad, la temperatura, la tasa de carga orgánica, la relación carbono-nitrógeno y el contenido de sólidos totales. Estos factores son esenciales para comprender y optimizar la producción de biofertilizantes a través de procesos anaeróbicos.

Análisis de coocurrencias entre palabras clave

La Figura 9 muestra el mapa de tendencias relacionadas con la producción de biofertilizantes.

Figura 9. Mapa de tendencias relacionadas con la producción de biofertilizantes.



Nota. La figura proporciona una visión general de la estructura del mundo científico, la cual representa palabras clave ligadas a la producción de biofertilizantes. El mapa se construyó utilizando VOSviewer, este representa la relación entre 719 documentos científicos publicados desde el año 2014 hasta el 2023.

El mapa mostrado en la Figura 9 agrupa seis clústeres identificados por colores, según el tema relacionado. El primer clúster (verde) representa toda la temática correspondiente a los microorganismos que actúan durante el proceso de degradación de residuos orgánicos para la producción de biofertilizantes, incluyendo a su vez patógenos como *salmonella* y *pseudomonas*. Estas bacterias deben estar ausentes en el compost. Algunos autores, como Lin et al. (2022), han realizado investigaciones sobre la dinámica de las comunidades fúngicas y bacterianas que se presentan en estos procesos y cuál es el efecto del estiércol avícola y porcino sobre estas comunidades. Para ello, han implementado tecnologías como la pirosecuenciación, la cual permite determinar el orden de una secuencia de ADN mediante luminiscencia. En cuanto a las especies bacterianas dominantes en el compost elaborado con residuos de soya, se encontró que son *Lactobacillus helveticus* y *Weissella paramesenteroides*, mientras que en cuanto a la comunidad fúngica, se encontró a *Flammulina velutipes*. En las compostas con estiércol, las bacterias *Thermotogaceae sp* y *Ureibacillus sp* predominaron, así como los hongos *Trichosporon asahii*, *Candida catenulate*,

Aspergillus fumigatus y *Candida tropicalis*. Finalmente, se demostró que las deyecciones de animales en estudio afectaron significativamente a la comunidad bacteriana.

Por otra parte, encontramos el segundo clúster (rojo), el cual se enfoca en todo lo relacionado con los abonos orgánicos elaborados a partir de biomasa mediante la implementación de equipos biorreactores y la caracterización de estos sustratos en cuanto a humedad, proteína, hidrógeno, pH, temperatura, entre otros. Alzamel *et al.* (2022) demostraron que los fertilizantes orgánicos son una fuente valiosa de materia orgánica y nutrientes esenciales para las plantas, y se pueden usar de manera segura para el suelo, los cultivos y el medio ambiente.

El tercer clúster de color amarillo está orientado a la producción de compost de residuos generados en la agricultura y materia orgánica proveniente de animales, como lo es el estiércol vacuno. Raja *et al.* (2021) definen este último como un residuo no digerido del material alimenticio de la vaca, siendo su composición principal la lignina, celulosa y hemicelulosa. Se utiliza especialmente como biofertilizante.

El cuarto clúster de color morado muestra palabras asociadas a los nutrientes del compostaje. Según los estudios de Leena *et al.* (2021), los principales nutrientes son nitrógeno, fósforo y potasio. Estos autores demostraron la bioconversión de estiércol de vaca y aserrín mediante la técnica del vermicompostaje.

Por último, el quinto clúster de color azul destaca palabras relacionadas con la caracterización de la materia prima, como la celulosa, hemicelulosa y lignina, además de sus componentes fisicoquímicos. Los desechos de alimentos tienen un gran potencial para mejorar la producción de biofertilizantes, como se demuestra en los estudios de Areeshi (2022), quien constata que estos se encuentran en forma biodegradable y, por lo tanto, de manera eficiente ayudan a acelerar la actividad metabólica microbiana, logrando mejores resultados en cuanto a la degradación del material orgánico.

Propuestas de Actuación

Los resultados del presente trabajo permitieron establecer el estado actual de la investigación y desarrollo relacionada con la producción de biofertilizantes mediante la valorización de residuos agrícolas, las principales fuentes de conocimiento, así como identificar las tendencias mundiales relacionadas. En ese sentido, se logró determinar que la tecnología de biofertilizantes tendrá un desarrollo potencial en los próximos años debido a su efectividad, protección del medio ambiente y bajo costo, lo que se plantea como el inicio para promover una agricultura enfocada en la sostenibilidad y producción más limpia, en la cual la rentabilidad económica, la seguridad de los agricultores y consumidores y el respeto por el medio ambiente son pilares.

En ese orden, el desarrollo de biofertilizantes debe considerar diversos aspectos como factores ambientales, un estudio más profundo sobre la producción de inoculantes que permitan mejorar la cantidad de macronutrientes necesarios (nitrógeno, fósforo, potasio) en el compost final para estimular el crecimiento de la planta, monitoreo de las variables requeridas para controlar la calidad en las etapas de producción, vida útil, reutilización de líquidos lixiviados como inoculantes de proceso y desarrollo de biofertilizantes autosustentables que permitan al gremio agricultor el uso eficiente de recursos generados durante la cosecha.

Conclusiones

Se identificó una totalidad de 719 documentos científicos en el marco de la búsqueda para la revisión bibliométrica sistemática sobre la producción de biofertilizantes a base de residuos orgánicos de origen vegetal y/o animal, las investigaciones dieron inicio desde el año 2014 hasta una proyección realizada para el 2023, los documentos resaltan la importancia del aprovechamiento de estos residuos mediante su transformación en abonos orgánicos como el compost y biofertilizantes, métodos de producción y los beneficios que estos aportan mejorando las características del suelo y a su vez favoreciendo el crecimiento de la planta, por otra parte, encontramos la producción de inóculos en su mayoría de origen animal, los cuales se utilizan como base del cultivo y como vectores para la dispersión del mismo en el sustrato final. A través de la investigación, podemos ultimar que existen diversos mecanismos y tecnologías mediante las cuales se permite el uso eficiente y máximo aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes de la producción agrícola, agroindustrial e industrial, actualmente una de las tecnologías más implementadas es la obtención de enmiendas orgánicas del suelo como biofertilizantes y productos derivados que permiten ser una alternativa viable para el uso masivo de fertilizantes químicos, debido a que son tratamientos eficaces y especialmente respetuosos con el medio ambiente, lo que nos permite concluir que el área de ingeniería se encuentra subexplotada en relación con la producción científica sobre biofertilizantes.

Apéndices

A1. Palabras clave

Nº	Keywords	Palabras clave
1	Biofertilizer	Biofertilizante
2	aeration	aireación
3	agricultural waste	residuos agrícolas
4	aerobic	aeróbico
5	aerobic digestion	digestión aerobia
6	applications manure	aplicaciones de estiércol
7	biodigester	biodigestor
8	biodigestion	biodigestión
9	c/n ratio	relación c/n
10	cattle	ganado
11	cellulose	celulosa
12	chitin	quitina
13	compost	compost
14	composting	compostaje
15	crop residue	residuos de cultivo
16	degradation	degradación
17	environmental factors	factores ambientales
18	feces	heces
19	food waste	residuos de alimentos
20	hemicelulosa	hemiceluloses
21	lignin	lignina
22	livestock manure	estiércol de ganado
23	macronutrients	macronutrientes
24	manure	estiércol
25	matter organic	materia orgánica
26	microorganisms	microorganismos
27	moisture content	contenido de humedad
28	murein	mureína

N°	Keywords	Palabras clave
29	nutrient availability	disponibilidad de nutrientes
30	organic carbon	carbono orgánico
31	organic waste	residuos orgánicos
32	ph	pH
33	production	producción
34	soil	suelo
35	sources of nutrients	fuelle de nutrientes
36	substrate	sustrato
37	temperature	temperatura
38	total nitrogen	nitrógeno total
39	waste products	productos de desecho
40	organic fertilizer	fertilizante orgánico
41	beff cattle	ganado vacuno
42	bioreactor	bioreactor

A2. Ecuación general de búsqueda

(TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“food waste” OR “agricultural waste” OR “organic waste” OR “organic material” OR compost AND production OR “aerobic digestion”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (“aerobic digestion” AND “organic fertilizer”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND macronutrients AND (carbon OR nitrogen OR phosphorous OR potassium)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND micronutrients AND soil OR organic) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “c/n ratio”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND production AND “crop residue”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “organic waste” AND manure AND bovine AND production) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “organic waste” AND “agricultural waste” AND production) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“livestock manure” OR “crop residue”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND feces OR livestock OR “beef cattle”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND soil AND (“nutrient availability”) AND manure) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND variables AND (ph OR temperature)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND organic AND waste AND residue) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (

“Applications manure” AND bovine OR cattle) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND substrate AND (lignin OR cellulose OR hemicelluloses OR murein OR chitin)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND waste AND “organic carbon” AND “total nitrogen”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “environmental factors” AND (temperature OR ph OR aeration OR “moisture content”)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND (“aerobic digestion” OR bioreactor)) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (biofertilizer AND “sources of nutrients”) AND PUBYEAR > 2013) OR (TITLE-ABS-KEY (fertilizer AND “manure bovine”) AND PUBYEAR > 2013)

Referencias

- Ahmad, A., Zafar, U., Khan, A., Haq, T., Mujahid, T., & Wali, M. (2022). Effectiveness of compost inoculated with phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 133(2), 1115–1129. <https://doi.org/10.1111/jam.15633>
- Ajaweed, A. N., Hassan, F. M., & Hyder, N. H. (2022). Evaluation of Physio-Chemical Characteristics of Bio Fertilizer Produced from Organic Solid Waste Using Composting Bins. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4738, 14(8), 4738. <https://doi.org/10.3390/SU14084738>
- Alexandre, F. da S., Candeias, A. L. B., & Gomes, D. D. M. (2021). Revista Brasileira de Geografia Física. *Revista Brasileira de Geografia*, 01, 758–769.
- Al-suhaibani, N., Selim, M., Alderfasi, A., & El-hendawy, S. (2021). Integrated application of composted agricultural wastes, chemical fertilizers and biofertilizers as an avenue to promote growth, yield and quality of maize in an arid agro-ecosystem. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/su13137439>
- Alzamel, N. M., Taha, E. M. M., & Bakr, A. A. A. (2022). *Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties , Growth Yield , and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils*.
- Areeshi, M. Y. (2022). Recent advances on organic biofertilizer production from anaerobic fermentation of food waste: Overview. *International Journal of Food Microbiology*, 374(April). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109719>
- Asadu, C. O., Ike, I. S., Onu, C. E., Egbuna, S. O., Onoh, M. I., Mbah, G. O., & Eze, C. N. (2020). Investigation of the influence of biofertilizer synthesized using microbial inoculums on the growth performance of two agricultural crops. *Biotechnology Reports*, 27, e00493. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00493>
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste : Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.004>
- Benyahya, Y., Fail, A., & Alali, A. (2022). *Recovery of Household Waste by Generation of Biogas as Energy and Compost as Bio-Fertilizer — A Review*.

- Carrasco, L. S. (2020a). Biofertilizers For Sustainable Agriculture: Isolation And Genomic Characterization Of Nitrogen-Fixing Bacteria From Sugarcane. *Georgia Institute of Technology*, 230.
- Carrasco, L. S. (2020b). *Comercio y Desarrollo en Asia*. Universidad de Vlladolid.
- Chakravarty, I., & Mandavgane, S. A. (2021). Valorization of fruit and vegetable waste for bio-fertilizer and biogas. *Journal of Food Process Engineering*, 44(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13512>
- Chintagunta, A. D., Kumar, S. P. J., Krishna, M. S., Manvitha, A., & Kumar, N. S. S. (2020). *Studies on Bioconversion of Agri-waste to Biomanure Studies on Bioconversion of Agri-waste to Biomanure*. July.
- CVN. (2019, May 23). *La demanda de fertilizantes a nivel mundial aumentará*. <https://www.cvn.com.co/admincvn/fertilizantes/>
- Dantoliya, S., Joshi, C., Mohapatra, A., Shah, D., Bhargava, P., Bhanushali, S., Pandit, R., Joshi, C., & Joshi, M. (2022). Creating wealth from waste: An approach for converting organic waste in to value-added products using microbial consortia. *Environmental Technology and Innovation*, 25, 102092. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102092>
- Dhadse, S., Alam, S. N., & Mallikarjuna Rao, M. (2021). Development of nutrient rich biofertilizer by co-vermistabilization of aquatic weeds using herbal pharmaceutical wastewater along with sediment of lake. *Bioresource Technology Reports*, 13(January). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100633>
- Ezemagu, I. G., Ejimofor, M. I., Menkiti, M. C., & Diyoke, C. (2021). Biofertilizer production via composting of digestate obtained from anaerobic digestion of post biocoagulation sludge blended with saw dust: Physicochemical characterization and kinetic study. *Environmental Challenges*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100288>
- Gaspar, S. S., Assis, L. L. R., Carvalho, C. A., Buttrós, V. H., Ferreira, G. M. dos R., Schwan, R. F., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Rigobelo, E. C., Castro, R. P., & Dória, J. (2022). Dynamics of microbiota and physicochemical characterization of food waste in a new type of composter. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.960196>
- Hadidi, M., Bahlaouan, B., Antri, S. El, Benali, M., & Boutaleb, N. (2022). Biotransformation of food waste to bio-products: biogas and biofertilizer. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2096953>
- Hills, K., Yorgey, G., & Cook, J. (2021). Demand for bio-based fertilizers from dairy manure in Washington State: A small-scale discrete choice experiment. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2), 207–214. <https://doi.org/10.1017/S174217052000023X>
- Izydorczyk, G., & Saeid, A. (2022). *Sustainable method of phosphorus biowaste management to innovative biofertilizers : A solution for circular economy of the future SC TC TM TS*. 27(February).

- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. In *Nature Nanotechnology* (Vol. 14, Issue 6, pp. 532–540). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>
- Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. *Business Strategy and the Environment*, 30(6), 2814–2829. <https://doi.org/10.1002/bse.2895>
- Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S. S., Vijay, V., Kumar, V., Kumar Vijay, V., & Pant, D. (2020). Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. *Bioresource Technology*, 304, 123036. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123036>
- Karanja, A. W., Njeru, E. M., & Maingi, J. M. (2019). Assessment of physicochemical changes during composting rice straw with chicken and donkey manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(Kumar 2011), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0270-x>
- Klaic, R., Guimarães, G. G. F., Giroto, A. S., Bernardi, A. C. C., Zangirolami, T. C., Ribeiro, C., & Farinas, C. S. (2021). Synergy of *Aspergillus niger* and Components in Biofertilizer Composites Increases the Availability of Nutrients to Plants. *Current Microbiology*, 78(4), 1529–1542. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02406-y>
- Lai, J. C. H., Wong, W. A. N. Y., Samat, N. U. R. A. S. A., & Bains, R. (2023). Effectiveness of food waste bio-composted fertilizers on plantations. 18(1), 17–36.
- Lamma, O. O. (2021). The impact of recycling in preserving the environment. *International Journal of Applied Research*, 7(11), 297–302. <http://www.allresearchjournal.com>
- Leena, D. E. R., Prabakaran, G., Elangovan, M., & Moovendhan, M. (2021). Bioconversion of agro, cattle waste and blended soil into manure by vermicomposting technology. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01754-w>
- Li, Y. (2022). Supporting Information Supporting Information. *Aldenderfer, Mark S., Craig, Nathan M., Speakman, Robert Jeff, and Popelka-Filcoff, Rachel S.*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04021>
- Lin, W., Li, H., & Lin, L. (2022). Dynamics of Microbial Community during the Co-Composting of Swine and Poultry Manure with Spent Mushroom Substrates at an Industrial Scale.
- Mączik, M., Gryta, A., & Frąc, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31–87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Marcela, D., Moreno, L., Andrea, E., Torres, A., & Gómez Álvarez, M. I. (2018). *El mercado de los biofertilizantes*. 1–26.
- Nascimento, A. D. M., Maciel, A. M., Batista, J., & Silva, G. (2020). Biofertilizer Application on Corn (*Zea mays*) Increases the Productivity and Quality of the Crop Without Causing Environmental Damage.

- Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., Castañeda-Antonio, M. D., Coronado-Apodaca, K. G., Gomes Araújo, R., Sosa-Hernández, J. E., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., Parra-Saldivar, R., & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-Based Biotechnology as Alternative Biofertilizers for Soil Enhancement and Carbon Footprint Reduction: Advantages and Implications. In *Marine Drugs* (Vol. 21, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/md21020093>
- Owamah, H. I., Dahunsi, S. O., Oranusi, U. S., & Alfa, M. I. (2014). *Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta*. 34, 747–752.
- Parab, A., & Shankhadarwar, S. (2022). Growth enhancement of agricultural crops using seaweed liquid fertilizer. *Plant Science Today*, 9(2), 322–330. <https://doi.org/10.14719/pst.1439>
- Raihan, A. (2023). The dynamic nexus between economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agricultural productivity, forest area, and carbon dioxide emissions in the Philippines. *Energy Nexus*, 9, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100180>
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agriculture, and forests on carbon emissions in Turkey. *Carbon Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00019-z>
- Raimi, A., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. In *Scientific African* (Vol. 11). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694>
- Raja, M. K. M. M., Manne, R., & Devarajan, A. (2021). Benefits of Cow Dung—A Human Ignored Gift. *Journal of Natural Remedies*, 21(3), 189–202. <https://doi.org/10.18311/JNR/2021/26653>
- Rathnathilaka, T., Premarathna, M., Madawala, S., Pathirana, A., Karunaratne, K., & Seneviratne, G. (2023). Biofilm biofertilizer application rapidly increases soil quality and grain yield in large scale conventional rice cultivation: a case study. *Journal of Plant Nutrition*, 46(7), 1220–1230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067064>
- Ronga, D., Caradonia, F., Setti, L., Hagassou, D., Giaretta Azevedo, C. V., Milc, J., Pedrazzi, S., Allesina, G., Arru, L., & Francia, E. (2019). Effects of innovative biofertilizers on yield of processing tomato cultivated in organic cropping systems in northern Italy. *Acta Horticulturae*, 1233, 129–135. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1233.19>
- Saini, S., Kuhad, R. C., & Sharma, K. K. (2023). Valorization of rice straw biomass for co-production of bioethanol, biopesticide and biofertilizer following an eco-friendly biorefinery process. *Process Safety and Environmental Protection*, 173(March), 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.044>
- Södergren, J., Larsson, C. U., Wadsö, L., Bergstrand, K. J., Asp, H., Hultberg, M., & Schelin, J. (2022). Food waste to new food: Risk assessment and microbial community analysis of

- anaerobic digestate as a nutrient source in hydroponic production of vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 333(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130239>
- Solehah, N., Zaini, M., Idris, H., Yaacob, J. S., Abd, W., Qadr, A., Iskandar, N., Samsudin, P., Shairah, A., Sukor, A., Lim, E. J., Hafiz, M., & Rahim, A. (2022). *The Potential of Fermented Food from Southeast Asia as Biofertiliser*. 1–18.
- Tashi, S., Wangchuk, K., Udas, E., Gaki, S., & Aryal, K. (2023). A solution at the doorsteps: Improved biofertilizer enhances soil fertility and yield of Chili (*Capsicum annuum* L.) in Bhutan. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(2), 259–267. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1952686.1416>
- Unesco. (2023). Aumenta la inversión en investigación y desarrollo en el mundo, pero continúa muy concentrada. In *Unesco Montevideo*.
- Zhang, W., Niu, Y., Li, Y. X., Zhang, F., & Jianxiong Zeng, R. (2020). Enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria with nitrate recovery as biofertilizers in the mixed culture. *Bioresource Technology*, 313(June), 123645. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123645>