



CAPÍTULO DE LIBRO - VI

Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática¹

Biofertilizers based on beneficial microorganisms and organic matter: a systematic review

Biofertilizantes à base de microorganismos benéficos e matéria orgânica: uma revisão sistemática

Amelia Mamani

UNIVERSIDAD HIPÓCRATES, ACAPULCO - ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INNOVACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA INUDI - PERÚ,
PUNO - PUNO, PERÚ

amamani@inudi.edu.pe (correspondencia)

<https://orcid.org/0000-0003-2936-912X>

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.c.02.06>

Resumen

Los biofertilizantes a base de microorganismos eficientes y materia orgánica se constituyen como un elemento prometedor para evitar el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, se requiere una comprensión mayor de los mismos y conocer su efecto en los cultivos. De este modo, se estableció como objetivo identificar aquellos estudios que analizan la importancia de los biofertilizantes. Metodológicamente, se utilizaron los lineamientos de la declaración PRISMA, cuyos criterios de inclusión fueron: estudios comprendidos entre el 2001 al 2023, referentes a biofertilizantes, asociados a la biotecnología y en formato Open Access, donde se utilizaron bases de datos como Scielo, Scopus, Google académico, Redalyc y Dialnet. Como resultado, se recuperaron y analizaron 20 documentos, asociándolos por año de publicación, país de emisión y objetivo de estudio. Se concluyó que los estudios referentes al tema en cuestión han tenido un notable incremento en los últimos años. La preservación del suelo es crucial para la futura sostenibilidad alimentaria. Los biofertilizantes mantienen la salud del suelo y la tecnología actual permite investigaciones detalladas sobre la interacción de microorganismos con residuos. México y Perú buscan alternativas sostenibles, mientras que, en Cuba, Ecuador y Costa Rica, los gobiernos respaldan la investigación de biofertilizantes, fomentando su uso y la gestión adecuada de residuos orgánicos para mejorar la producción agrícola.

¹ Este artículo fue publicado en Revista Acciones Médicas, 2(4), 43–55 bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0; el cual permite esta reproducción como capítulo de libro.



Palabras clave: agricultura, agronomía, bioingeniería, biotecnología, industria.

Abstract

Biofertilizers based on efficient microorganisms and organic matter are emerging as a promising element to curb the indiscriminate use of synthetic fertilizers. However, a deeper understanding of them is needed, along with knowledge of their effects on crops. Thus, the objective was to identify studies analyzing the importance of biofertilizers. Methodologically, the PRISMA guidelines were employed, with inclusion criteria covering studies from 2001 to 2023 related to biofertilizers, associated with biotechnology, and available in Open Access format. Databases such as Scielo, Scopus, Google Scholar, Redalyc, and Dialnet were utilized. As a result, 20 documents were retrieved and analyzed, categorizing them by publication year, country of origin, and study objective. The conclusion was that studies on the subject have seen a notable increase in recent years. Soil preservation is crucial for future food sustainability. Biofertilizers maintain soil health, and current technology allows for detailed research on the interaction of microorganisms with residues. Mexico and Peru are seeking sustainable alternatives, while in Cuba, Ecuador, and Costa Rica, governments support biofertilizer research, promoting their use and proper management of organic waste to enhance agricultural production.

Keywords: agriculture, agronomy, bioengineering, biotechnology, industry.

Resumo

Os biofertilizantes à base de microorganismos eficientes e matéria orgânica estão se destacando como uma opção promissora para conter o uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos. No entanto, é necessário compreendê-los melhor e entender seu impacto nas plantações. Assim, o objetivo foi identificar estudos que analisem a importância dos biofertilizantes. Metodologicamente, foram seguidas as diretrizes da declaração PRISMA, com critérios de inclusão abrangendo estudos de 2001 a 2023 relacionados a biofertilizantes, associados à biotecnologia e disponíveis em formato Open Access. Foram utilizadas bases de dados como Scielo, Scopus, Google Scholar, Redalyc e Dialnet. Como resultado, foram recuperados e analisados 20 documentos, classificando-os por ano de publicação, país de origem e objetivo do estudo. A conclusão foi que os estudos sobre esse tema têm experimentado um aumento notável nos últimos anos. A preservação do solo é crucial para a futura sustentabilidade alimentar. Os biofertilizantes mantêm a saúde do solo, e a tecnologia atual permite pesquisas detalhadas sobre a interação de microorganismos com resíduos. México e Peru buscam alternativas sustentáveis, enquanto em Cuba, Equador e Costa Rica, os

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

governos apoiam a pesquisa de biofertilizantes, promovendo seu uso e a gestão adequada de resíduos orgânicos para melhorar a produção agrícola.

Palavras-chave: agricultura, agronomia, bioengenharia, biotecnologia, indústria.

INTRODUCCIÓN

Los biofertilizantes a base de microorganismos benéficos y materia orgánica representan una innovadora y sostenible alternativa en el ámbito agrícola, donde la búsqueda de prácticas más respetuosas con el medio ambiente y eficientes ha cobrado gran relevancia, ello debido a la intensificación agrícola por la demanda alimentaria actual, lo que causa efectos negativos ambientales (1).

De forma inicial, es esencial comprender que estos productos se fundamentan en la utilización de microorganismos como bacterias, hongos y otros organismos beneficiosos que establecen relaciones simbióticas con las plantas, mejorando su absorción de nutrientes y fortaleciendo sus mecanismos de defensa natural. Asimismo, la materia orgánica, proveniente de fuentes naturales y renovables, se convierte en un componente clave al proporcionar nutrientes esenciales y contribuir a la estructura del suelo (2).

Adicionalmente, la aplicación de biofertilizantes ofrece una respuesta a los desafíos medioambientales y económicos asociados con la agricultura convencional. La reducción de la dependencia de fertilizantes químicos, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y la minimización de la contaminación del suelo y agua son beneficios clave que destacan en el contexto de la sostenibilidad agrícola. Este enfoque responde a la creciente conciencia global sobre la necesidad de prácticas agrícolas más respetuosas con el entorno, debido a la notable intensificación agrícola que compromete la seguridad alimentaria (3).

Ahora bien, la investigación científica en torno a estos biofertilizantes ha experimentado un notable crecimiento, centrándose en la caracterización físico-química de los productos, la identificación y optimización de cepas microbianas beneficiosas, así como en la evaluación de sus efectos en diferentes tipos de suelos y cultivos (4). Estos estudios buscan proporcionar evidencia científica robusta para respaldar la eficacia y aplicabilidad de los biofertilizantes en diversas condiciones agrícolas de manera que permitan su uso como complemento de la fertilización sintética, de manera que pueda ser sustituida a largo plazo (5).

En cuarto lugar, la adopción exitosa de biofertilizantes requiere una comprensión holística que abarque aspectos agronómicos, ambientales y económicos. Los agricultores, los organismos reguladores y la industria agrícola desempeñan un papel crucial en la implementación de estas tecnologías, debido a que la utilización de biofertilizantes puede contribuir al buen manejo de los desechos producidos por las cadenas productivas orgánicas (6).

De acuerdo a lo antes expuesto, los biofertilizantes a base de microorganismos benéficos y materia orgánica representan una herramienta prometedora para la agricultura del siglo XXI, por ello, se establece como objetivo de investigación, identificar aquellos estudios que analizan la importancia de los biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica, realizando para ello una revisión sistemática que incluyó la recuperación de documentos asociados al tema concerniente.

MÉTODO

En el aspecto metodológico, se aplicó una revisión sistemática de literatura, caracterizada por evitar la arbitrariedad y subjetividad; asimismo, se destaca por ser completa, en referencia a la disponibilidad de las referencias utilizadas; por ser explícita, por los detalles que indican los autores en las metodologías y origen de las investigaciones empleadas; y por ser replicable en relación a que el proceso puede ser corroborado basándose en la información especificada en los documentos (28-29).

De igual forma, se adoptaron las directrices metodológicas propuestas por la declaración PRISMA. Esta metodología, conocida como *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, se caracteriza por ofrecer un enfoque riguroso y estructurado en la realización de revisiones sistemáticas y metaanálisis (30).

Es pertinente señalar que existen varios métodos y enfoques para estudiar, aplicar y mejorar la eficiencia de los microorganismos y biofertilizantes en la agricultura. Algunos métodos y enfoques comunes: A) Aislamiento y caracterización de microorganismos, donde se selecciona microorganismos beneficiosos del suelo o raíces de plantas que puede incluir bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fosfato u hongos micorrícicos., así como la utilización de técnicas de biología molecular para identificar y caracterizar genéticamente las cepas aisladas. B) Optimización de cepas microbianas; para lo cual se evalúa diferentes cepas microbianas para modificar genéticamente sus características deseables como la resistencia a estreses ambientales. C)

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Formulaciones de biofertilizantes, donde se desarrollan formulaciones que maximicen la supervivencia y eficacia de los microorganismos, así como la microencapsulación para proteger y liberar gradualmente a los microorganismos en el suelo. D) Aplicación al suelo y a las plantas, se puede dar a través de la inoculación de semillas antes de la siembra para mejorar la colonización de raíces, o rociando biofertilizantes directamente sobre las hojas para mejorar la absorción de nutrientes (26).

Otro aspecto importante a considerar es la evaluación de la eficacia en estudios en invernaderos y campos para evaluar la eficacia de los biofertilizantes en condiciones controladas y en entornos agrícolas reales; así como el análisis bioquímico que mide parámetros como la concentración de nutrientes en el suelo y las plantas, además de las interacciones planta-microorganismo donde se utiliza técnicas de microscopía para estudiar la colonización de raíces por microorganismos beneficiosos y entender las interacciones a nivel celular a través de técnicas de secuenciación genómica (27).

Estrategias para la recuperación y selección de documentos

Se utilizaron motores de búsqueda y ecuaciones para la recuperación y selección de los documentos necesarios para esta investigación, así como criterios de inclusión y exclusión.

Ecuaciones de búsqueda y base de datos

La recuperación de documentos se fundamentó en el apoyo de bases de datos, de las que se pueden mencionar: Scielo, Scopus, Redalyc, Dialnet y Google Scholar. Asimismo, se establecieron palabras clave para la búsqueda de datos, las mismas que constituyeron ecuaciones de búsqueda, cuya estructuración se basaba en Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica, configurándose con conectores de conjunción “Y”, “AND”, y, para la selección, los conectores “O” y “OR”:

- Biofertilizantes Y microorganismos eficientes o “Biofertilizantes a partir de microorganismos eficientes”
- Biofertilizantes Y materia orgánica o “Biofertilizantes a partir de materia orgánica”
- Biofertilizantes AND materia orgánica OR microorganismos eficientes.

Criterios de inclusión y exclusión

Para fines de esta investigación, se estableció un rango de tiempo comprendido desde el año 2001 hasta el 2023. Adicionalmente, luego de establecer las ecuaciones de búsqueda y palabras clave, se definieron criterios de inclusión documentos como: Estudios comprendidos entre los años 2001 al 2023, asociados al ámbito biotecnológico, enfocados en biofertilizantes, con año de publicación y en formato Open Access, siendo excluidos los documentos como: Publicaciones anteriores al año 2001, estudios sin biofertilizantes, revisiones sistemáticas o tesis y con poca información de autoría.

También se tuvo como criterio de exclusión a los estudios no latinoamericanos, dado que los microorganismos y prácticas agrícolas pueden variar significativamente de un lugar a otro y América Latina abarca una gran diversidad biológica. Estudios locales pueden tener en cuenta esta diversidad y ofrecer soluciones más adaptadas a las necesidades específicas de la región. La adopción de prácticas agrícolas puede estar influenciada por factores culturales y sociales. Los estudios realizados en América Latina pueden tener en cuenta estas influencias, proporcionando así recomendaciones más aplicables y aceptables para las comunidades locales, así como las prácticas agrícolas tradicionales, pueden variar entre regiones. Los estudios realizados localmente pueden considerar mejor estas limitaciones y ofrecer soluciones más prácticas para los agricultores locales.

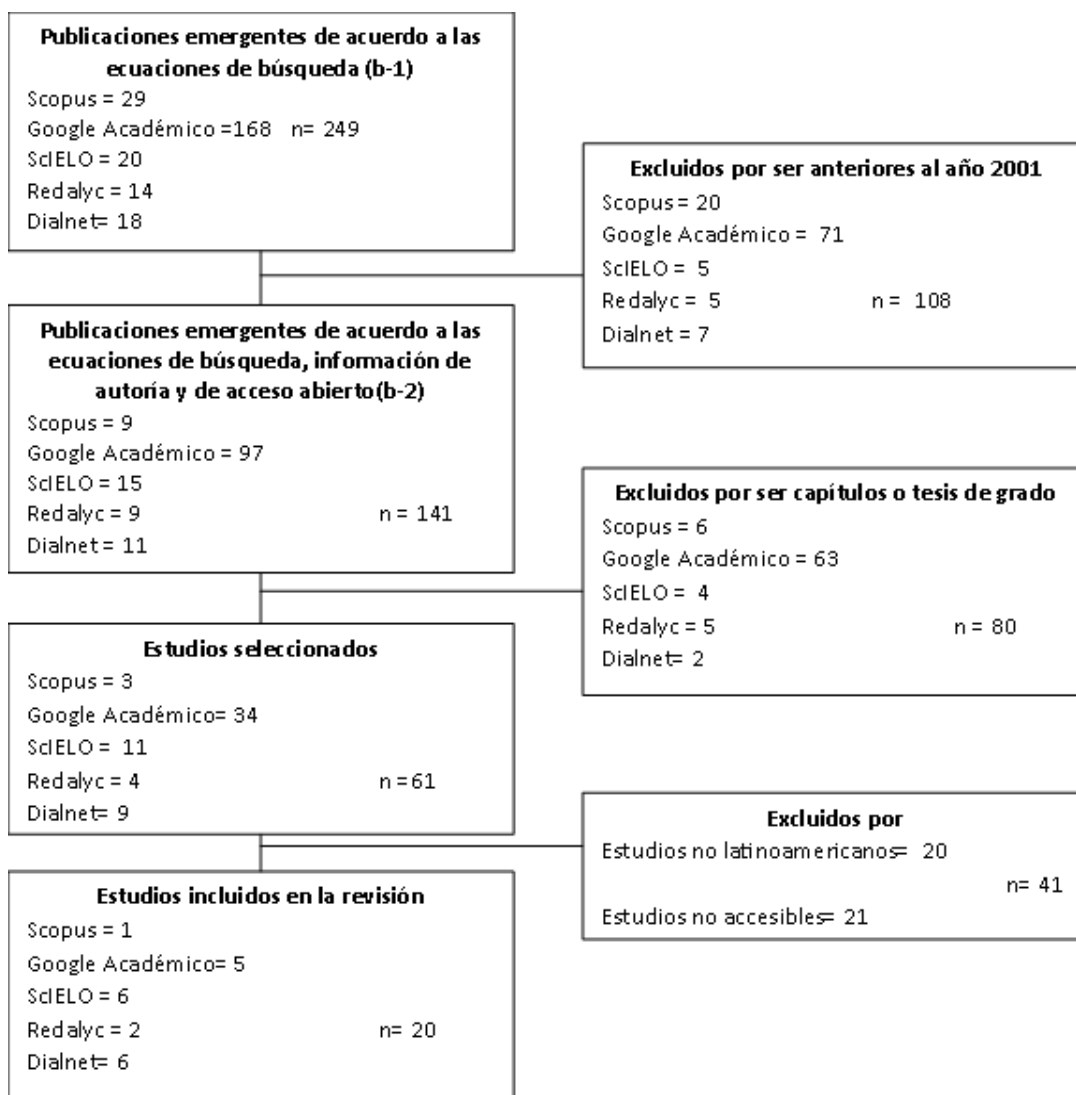
Tratamiento de la información

Con los documentos recuperados, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, quedando sin efecto los documentos anteriores al año 2001 (b-1), los de formato revisión sistemática y tesis (b-2), siendo finalmente descartadas las investigaciones no accesibles y aquellas no enfocadas en biofertilizantes (Figura 1).

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Figura 1. Diagrama de flujo de inclusión y exclusión



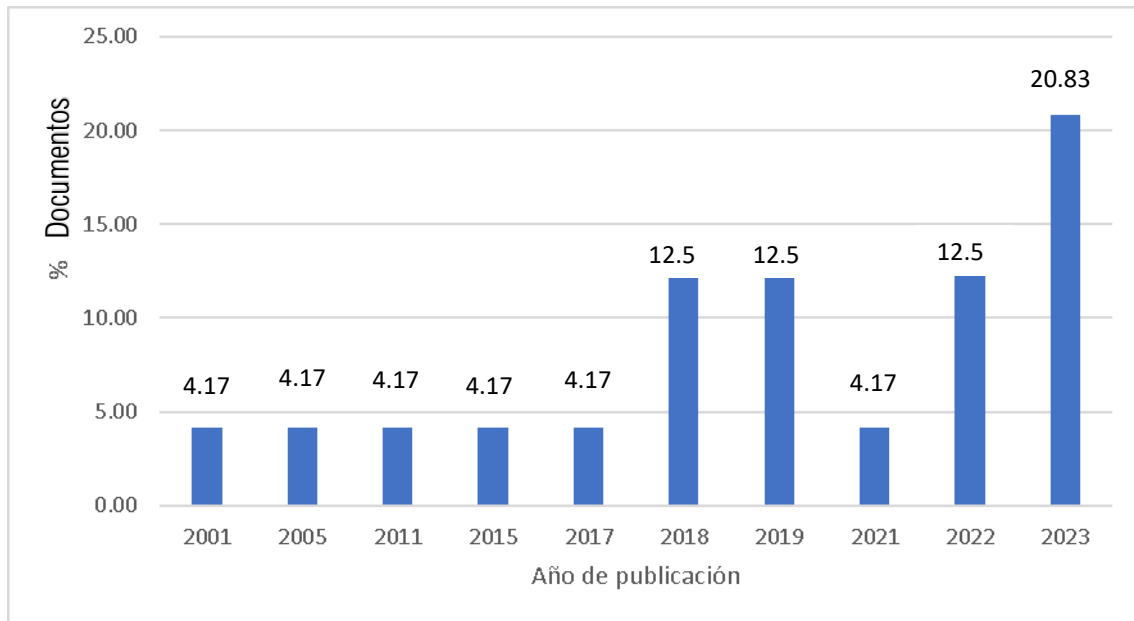
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En asociación a la temática hallada en los documentos recuperados, estos manifiestan tener relación con biofertilizantes a base de microorganismos y materia orgánica.

Análisis por año de publicación

Las tecnologías aplicadas en el campo de la investigación han experimentado cambios importantes hasta el día de hoy, haciendo necesario el respectivo análisis de los documentos por año de publicación asociados al tema para determinar los factores que impulsan el comportamiento de los mismos (Figura 2).

Figura 2. Agrupación de publicaciones por año de emisión.



En este contexto y tal como se visualiza las publicaciones recuperadas y analizadas exhiben un comportamiento investigativo creciente, en relación al periodo de tiempo establecido en este estudio. El punto más alto de las publicaciones recae en el año 2023, donde se agrupan un 20.83% (5 documentos), seguido de las emitidas en el 2022, 2019 y 2018 con 12.5% (3 documentos) cada uno. Luego, se evidencia un descenso en las investigaciones, teniendo un 4.17% (1 documento) para el año 2021, 2017, 2015, 2005 y 2001, respectivamente.

Como explicación al incremento de las publicaciones en los últimos años, en torno a la elaboración de biofertilizantes, se debe tomar en cuenta la creciente conciencia sobre los impactos ambientales y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas convencionales, lo que conlleva a buscar alternativas más ecológicas. Asimismo, los biofertilizantes basados en microorganismos y materia orgánica son vistos como una opción más sostenible, ya que pueden reducir la dependencia que existe por los fertilizantes químicos y mejorar la salud del suelo a largo plazo (7).

Entre otras explicaciones al incremento investigativo antes exhibido, en la actualidad se buscan alternativas que eviten los efectos negativos de los fertilizantes químicos, debido a que, con el tiempo, el uso excesivo de estos puede conducir a la degradación del suelo y a la pérdida de su capacidad de absorción nutrimental. Los biofertilizantes ofrecen una forma de abordar estos problemas al proporcionar nutrientes de manera más equilibrada y sostenible (8).

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Concerniente a los beneficios para la salud del suelo, los biofertilizantes, al introducir microorganismos beneficiosos y materia orgánica, pueden mejorar su estructura y fertilidad. Estos microorganismos también son responsables de la descomposición eficiente de materia orgánica como, por ejemplo, estiércol y suero láctico, los cuales se procesan y otorgan un biofertilizante capaz de fijar nutrientes y promover la disponibilidad de los mismos para los cultivos como el maíz (9).

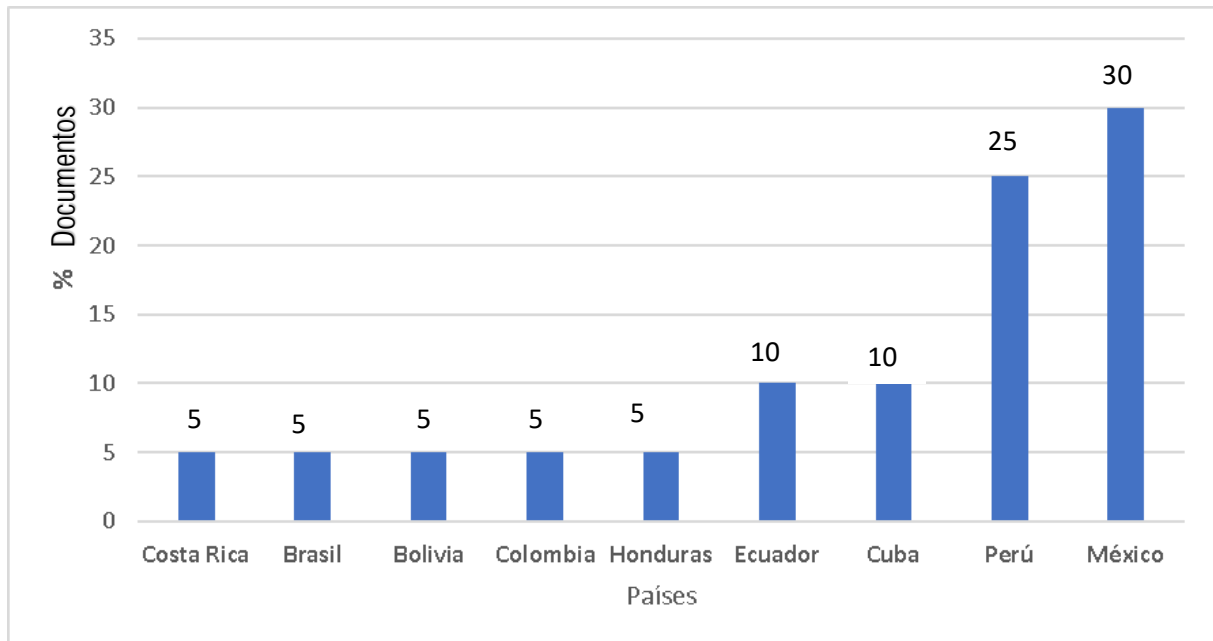
Aunado a todo lo anterior, se debe resaltar que los adelantes tecnológicos de los últimos años han contribuido también al creciente interés investigativo concerniente a los biofertilizantes. Los avances en biotecnología y genómica han permitido una comprensión más profunda de las interacciones entre los microorganismos del suelo, las plantas y los nutrientes, lo que ha llevado a un interés renovado en el desarrollo de biofertilizantes más efectivos y específicos para diferentes cultivos y entornos (10).

Referente al párrafo anterior, se observa que los adelantos tecnológicos permiten profundizar aún más en las interacciones antes mencionadas, tal es el caso del estudio que contempla el uso de campos electromagnéticos para generar estimulación a una gama variable de microorganismos beneficiosos, los que permiten transformar la materia orgánica como la cachaza fresca; esta investigación halló una aceleración en el proceso de descomposición del material mencionado en un 49.1%, acercándolo a un grado mayor de mineralización (11).

Análisis de documentos por país de procedencia

El análisis de la procedencia de los estudios en relación al tema que atañe esta investigación, es de importancia capital debido a que permite conocer cuáles son las naciones que han realizado mayores exploraciones en relación a los biofertilizantes a base de microorganismos y materia orgánica (Figura 3).

Figura 3. Agrupación de publicaciones por país de procedencia.



En este lineamiento, en la figura anterior se observa, en suma, un elevado porcentaje de publicaciones coligadas a los países de México y Perú con 30% y 25% (6 y 5 documentos) respectivamente, seguidos por Cuba y Ecuador con 10% (2 documentos) cada uno. Por último, se ubican los países de Honduras, Colombia, Bolivia, Brasil y Costa Rica con 5% (1 documento) cada uno.

Ahora bien, este comportamiento investigativo puede orientarse a las condiciones agrícolas diversificadas existentes en México y Perú, debido a que ambos son países con una gran diversidad de climas y suelos. De esta manera, las condiciones agrícolas variadas pueden impulsar la necesidad de encontrar soluciones adaptadas a diferentes entornos y por ello, los biofertilizantes pueden ser una opción versátil para mejorar la productividad en una variedad de condiciones (12).

Sumado a lo anterior, ambos países tienen una fuerte dependencia de la agricultura en sus economías, lo que conlleva a un interés sustancial en encontrar prácticas sostenibles y eficientes para mejorar los rendimientos y la calidad de los cultivos (13). Además, estos países son ricos en recursos naturales y biodiversidad, lo que podría proporcionar una amplia gama de microorganismos beneficiosos y materia orgánica para utilizar en la producción de biofertilizantes; esto también se refleja en los programas gubernamentales que los impulsan (14).

En torno al territorio cubano, se ha adoptado un enfoque particularmente fuerte hacia la agroecología, que promueve prácticas agrícolas sostenibles y amigables

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

con el medio ambiente. Dentro de este marco, los insumos orgánicos y los biofertilizantes son considerados fundamentales para mantener la salud del suelo y la productividad agrícola (15).

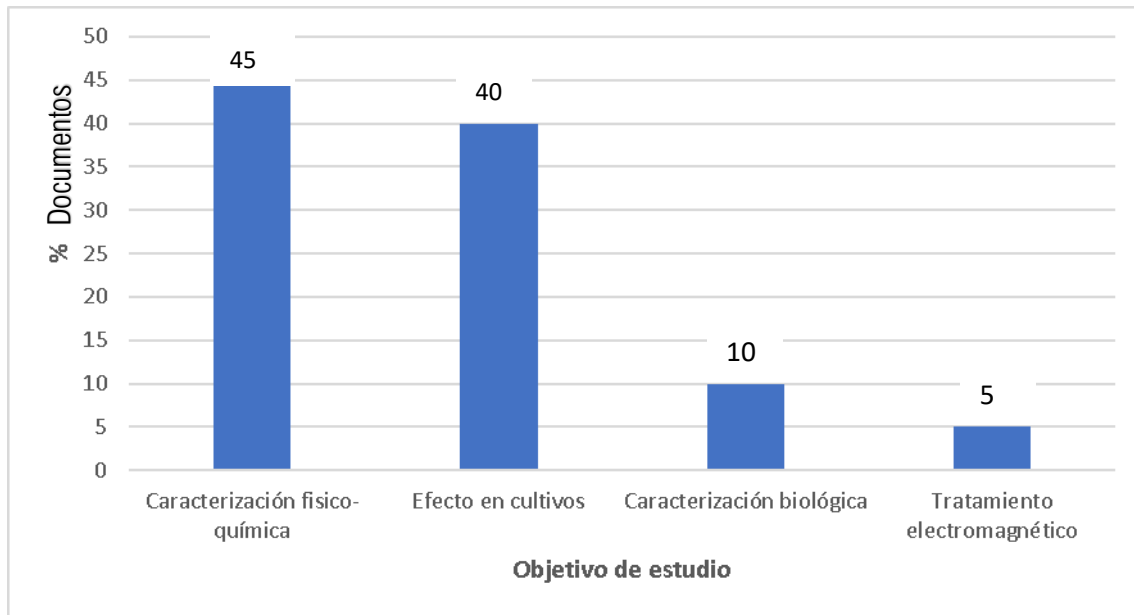
Ahora bien, la agricultura desempeña un papel fundamental en el progreso de Ecuador, especialmente en términos económicos y de seguridad alimentaria, como puede evidenciarse en cultivos como el maíz, que ocupa un área de 305,986 hectáreas en ese país (16). Por ello y con el objetivo de impulsar la ingesta de alimentos sin productos químicos y mejorar la eficiencia productiva, el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador respalda la utilización de bioinsumos y microorganismos como una opción para combatir organismos patógenos que provocan pérdidas económicas en diversos cultivos (17).

Por otro lado, en algunos países como Costa Rica, las regulaciones ambientales están impulsando a la industria agrícola a adoptar prácticas más sostenibles debido a los impactos visualizados en los ecosistemas del mundo actual respecto al incremento de residuos sólidos. El uso de biofertilizantes puede cumplir con estas regulaciones al reducir la contaminación del suelo y del agua asociada con los fertilizantes químicos y, de esta manera, evitar el impacto nocivo que desencadenan (18).

Análisis de documentos por objetivo de estudio

Concerniente a los objetivos trazados en cada estudio, se exhibirán a continuación las investigaciones agrupadas por similitud en ese aspecto (Figura 4).

Figura 4. Agrupación de publicaciones por objetivo de estudio.



De este modo, se observa que el enfoque de las investigaciones tiene una alta predominancia en cuanto a la caracterización físico-química, constituyendo el 45% (9 documentos) de los estudios recuperados. Por otro lado, un 40% (8 documentos) se enfoca en el efecto que tienen en los cultivos y un 10% (2 documentos) en la caracterización biológica producto del uso de biofertilizantes. Por último, un 5% (1 documento) se orienta a realizar tratamientos electromagnéticos en los microorganismos eficientes.

En el encuadre de los datos expuestos, se debe resaltar que la caracterización fisicoquímica permite analizar la composición química y física de los biofertilizantes, siendo esto esencial para comprender la presencia y concentración de nutrientes esenciales, microorganismos beneficiosos como cepas bacterianas y otras sustancias que pueden influir en la eficacia del biofertilizante para la estimulación del crecimiento vegetal (19).

Entre otros contextos, los agricultores y la industria necesitan biofertilizantes de alta calidad para garantizar que cumplan con las expectativas en términos de rendimiento agrícola, siendo necesario conocer la interacción de los microorganismos con la materia orgánica para procurar la disponibilidad de nutrientes y no un efecto antagónico (20). La caracterización fisicoquímica ayuda a definir la calidad del producto final, asegurando que los niveles de nutrientes y otros componentes esenciales sean apropiados y que estos se encuentren, a su vez, dentro de los parámetros idóneos de los abonos biológicos (21).

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Asimismo, conocer la composición fisicoquímica permite a los investigadores y productores ajustar y optimizar las formulaciones de los biofertilizantes, así como los parámetros correctos en su producción, como ocurre en los que se procesan en biodigestores (22). Esto puede mejorar la eficiencia del producto, asegurando el suministro de nutrientes necesarios en las proporciones adecuadas para favorecer el crecimiento de las plantas, así como el tamaño y peso de los frutos, como se demostró en un estudio aplicado al camu-camu (23).

Coligado a los estudios sobre los efectos de los biofertilizantes en los cultivos, estos toman relevancia debido a que es importante verificar el efecto que tienen en torno a la fenología del cultivo, es decir, las diferentes etapas de la producción de un cultivo exigen diferentes requerimientos nutricionales y es necesario corroborar que estos sean completados, como en el caso del crecimiento poblacional de organismos benéficos en la rizosfera en ciertos cultivos como el tomate, otorgándole un estímulo nutricional positivo (24).

Ahora bien, otros estudios contemplan la caracterización biológica del suelo como producto del uso de biofertilizantes a base de materiales orgánicos. Esta caracterización resulta conveniente para corroborar si la interacción de la microfauna edáfica contribuye a la mejora en la estructura del mismo, así como mejorar la disponibilidad de nutrientes; por otro lado, la estructura del suelo también está comprometida ya que al mejorar esta, se evitan las erosiones debido al aumento de macro y microporos que ayudan a la infiltración y percolación del agua (25).

CONCLUSIÓN

El aumento significativo en los últimos años de estudios enfocados a los biofertilizantes a base de microorganismos y materia orgánica, es explicado por la concientización de los efectos que se han evidenciado por un uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos y acumulación de residuos sólidos, siendo la conversión en biofertilizantes una manera adecuada para el tratamiento de estos.

Otro punto importante recae en la preservación del suelo como pivote fundamental para la sostenibilidad alimentaria futura, ya que los biofertilizantes permiten mantener la estructura y salud de los mismos. Por otro lado, la tecnología con la que se cuenta en la actualidad, permite realizar investigaciones más profundas, en cuanto a la interacción de los microorganismos con los residuos que se desean utilizar como biofertilizantes.

Asimismo, países como México y Perú que poseen una diversidad amplia de climas y suelos, buscan la preservación de los mismos, por ello crece el interés investigativo en torno a los biofertilizantes como alternativas sostenibles para mantener un equilibrio en la producción agrícola.

En otros países como Cuba, Ecuador y Costa Rica, se evidencia un apoyo del gobierno por medio de programas que incentivan la investigación del uso de biofertilizantes, así como el correcto manejo de residuos orgánicos. Esto permite que las naciones puedan generar mayores estudios referentes al tema, lo que se traduce como un efecto positivo para poder obtener información cada vez más certera sobre la efectividad de los biofertilizantes en diversos cultivos, así como en diferentes suelos y climas.

Se sugiere explorar cómo los microorganismos eficientes pueden mejorar la resistencia de las plantas a estreses abióticos como sequías, salinidad y temperaturas extremas, lo que podría tener aplicaciones prácticas en la agricultura sostenible, además de trabajar en la identificación y mejora de cepas microbianas específicas para aumentar su capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de sustancias promotoras del crecimiento de las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Senés-Guerrero C, Guardiola-Márquez CE, Pacheco-Moscoa A. Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *Agro Productividad* [Internet]. el 2 de abril de 2019;12(3). Disponible en: <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1348>
2. Beltrán-Pineda ME, Bernal-Figueroa AA. Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis* [Internet]. el 19 de enero de 2022;12(1). Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-antes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas>
3. El Mujtar V, Muñoz N, Prack Mc Cormick B, Pulleman M, Tittonell P. Role and management of soil biodiversity for food security and nutrition; where do we stand? *Glob Food Sec* [Internet]. marzo de 2019 [citado el 18 de diciembre de 2023]; 20:132–44. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211912418300300?via%3Dihub>

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

4. Alfonso-Alvarez JA, Carpinteyro-Chávez LM, Vélez-Zamorano A, Teón-Vega A. Obtención de un biofertilizante a partir de lodos provenientes de trampas de grasa. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* [Internet]. 2017 [citado el 29 de diciembre de 2023];4(13):46-57. Disponible en: http://transparencia.uttijuana.edu.mx/portal/files/portal/1/93/UTT_20171009111054.pdf
5. Alarcon Camacho J, Recharte Pineda DC, Yanqui Díaz F, Moreno LLacza M, Montes Yarasca IM, Buendía Molina MA. Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú. *Anales Científicos* [Internet]. el 30 de diciembre de 2019;80(2):515. Disponible en: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1484>
6. Sanes FSM, Strassburger AS, Araújo FB, Medeiros CAB. Compostagem e fermentação de resíduos de pescado para produção de fertilizantes orgânicos. *Semin Cienc Agrar* [Internet]. 2015 [citado el 18 de diciembre de 2023];36(3):353-62. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
7. Wong Arguelles C, Acosta Pintor DC, Mojica Mesinas C, Márquez HL, Vidal Becerra E. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [Internet]. el 21 de febrero de 2023 [citado el 18 de diciembre de 2023];7(1):5241-58. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/960acc7b-2b78-3de0-afdd-37d0e5594bce/>
8. Orozco L, Valverde I, Téllez R, Bustillos C, Hernández R. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana* [Internet]. 2016 [citado el 18 de diciembre de 2023];34(4). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441
9. Del Carpio Salas MA, Ancco M, Linares Flores Castro AE, Ancco-Loza R, Jimenez Pacheco HG. Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research* [Internet]. el 30 de enero de 2021;23(1):26-36. Disponible en: <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/229>

10. Gómez-Merino FC, García-Albarado JC, Trejo-Téllez LI, Pérez Vázquez A, Silva-Rojas HV, Velasco-Velasco J. Ciencias genómicas, biodiversidad del suelo y paisaje: interacciones para la sustentabilidad. *Rev Mex De Cienc Agric* [Internet]. el 9 de abril de 2018;5(9):1771-80. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1063>
11. Peña J, Zúñiga Escobar O, Cuero R. Estimulación con campo electromagnético variable de microorganismos benéficos aplicados a la cachaza para mejorar su uso como biofertilizante. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA* [Internet]. 2011 [citado el 18 de diciembre de 2023];9(2). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117821>
12. Grageda-Cabrera OA, Díaz-Franco A, Peña-Cabriales JJ, Vera-Nuñez JA. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev Mex De Cienc Agric* [Internet]. el 26 de junio de 2018;3(6):1261-74. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1376>
13. Cruz Nieto DD, Gálvez Torres EG, Sotelo Montes JE, Pari Soto AL, Cahuana Flores JB, Pari Soto AR. Fertilización a base de residuo de mercado para mayor rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Una alternativa sostenible. *Revista Alfa* [Internet]. el 27 de junio de 2022; 6(17):336-45. Disponible en: <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/185>
14. Rojas-Espinoza BF, Hernández-Chontal MA, Rodríguez-Orozco N, Linares-Gabriel A. Concentración de nutrientes de dos formulaciones de fertilizantes fermentados (bioles) elaborados con insumos locales. *Revista Terra Latinoamericana* [Internet]. el 28 de julio de 2023; 41:1-7. Disponible en: <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1658>
15. Tellez Taniyurkis, Orberá Teresa. Efecto estimulador del crecimiento de dos biopreparados biotecnológicos en cultivos de remolacha (*Beta Vulgaris* L.). *Revista Cubana Química* [Internet]. 2018 [citado el 18 de diciembre de 2023];30(3). Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

16. García Vásquez GE, Álvarez Sánchez AR, Yáñez Cajo DJ. Efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología* [Internet]. el 30 de junio de 2023;16(1):43-51. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/699>
17. Gallegos T, Acosta I, Jara J. Preparación de biol a partir de residuos orgánicos. *RedBioLAC* [Internet]. 2022 [citado el 18 de diciembre de 2023];6(1). Disponible en: <http://www.revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/28>
18. Campos Rodríguez R, Torres-Contreras A, Castro-Brenes AG, Calderón-Cerdas R. Capacidad productiva de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos para el cultivo de lechuga. *Revista Tecnología en Marcha* [Internet]. el 14 de diciembre de 2022 [citado el 18 de diciembre de 2023];23(1):26-36. Disponible en: <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/229>
19. Claros M, Castillo JA, Ortuño N, Córdoba M. Evaluación de bacterias endófitas de papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y el desarrollo de un biofertilizante. *Revista Latinoamericana de la Papa* [Internet]. el 27 de agosto de 2018;22(1):12-37. Disponible en: <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/288>
20. López Guevara JM, Estévez Ramírez KJ, Mejía Arita E, Romero Zepeda EA, Díaz Chacón FA. Caracterización Química de Biofertilizantes Inoculados con Microorganismos de Montaña, en el Departamento De Copán, Honduras. *Bionatura* [Internet]. el 15 de junio de 2023 [citado el 18 de diciembre de 2023];8(2):1-9. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/043b6ae0-0b74-3490-abfe-0f613d6e0777/>
21. Mamani A, Portugal J, Ramos L. Biofertilizante generado de microorganismos eficientes y residuos orgánicos de los mercados de la provincia de Tacna. *Revista Ciencia Y Tecnología Para El Desarrollo* [Internet]. 2019 [citado el 29 de diciembre de 2023]; 5:115-22. Disponible en: <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/191>
22. Soria Fregoso MJ, Ferrera Cerato R, Etchevers Barra J, Alcántar González G, Trinidad Santos J, Borges Gómez L, et al. Produccion De Biofertilizantes Mediante Biodigestion De Excreta Liquida De Cerdo. *Terra*

- Latinoamericana [Internet]. 2000 [citado el 29 de diciembre de 2023];19(4):353-62. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
23. Pinedo M, Abanto-Rodríguez C, Oroche D, Paredes E, Bardales-Lozano R, Alves E, et al. Improvement of the agronomic characteristics and yield of camu-camu fruit with the use of biofertilizers in Loreto, Peru. *Scientia Agropecuaria* [Internet]. el 31 de diciembre de 2018;9(4):527-33. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2183>
24. Terry Alfonso E, Leyva Á. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Rev Colomb Biotecnol* [Internet]. 2005 [citado el 29 de diciembre de 2023];7(2):47-54. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/776/77670207.pdf>
25. Cardona Castaño JC, Rico Carrillo RE, Cuautle García LM, Rosas Acevedo AY. Macrofauna edáfica en cultivo de maíz (*Zea mays*) biofertilizados con lodos de cerdo, (PEROTE-MÉXICO). *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC* [Internet]. el 30 de junio de 2022 [citado el 18 de diciembre de 2023];14(1):42-56. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/e519c28a-6c5a-36fd-a8ff-1227b47ed17d/>
26. Guerrero Rafaela. Efecto de microorganismos eficaces (em) aplicados en diferentes dosis sobre el cultivo de la soja. *Revista Multidisciplinaria Ciencia Latina*. 2022; 6 (1). <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1653>
27. Arroyo, W. F. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la Agricultura Sustentable. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 67-68. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2308-38592020000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
28. Alexander P. Methodological Guidance Paper: The Art and Science of Quality Systematic Re-views. *Review of Educational Research*. 2020; 90(1): 6-23. <https://doi.org/10.3102/0034654319854352>
29. Cronin P, Ryan F, & Coughlan M. (2008). Undertaking a literature review: a step-by-step approach. *British journal of nursing*. 2008; 17(1): 38-43.

CAPÍTULO VI

BIOFERTILIZANTES A BASE DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS Y MATERIA ORGÁNICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

<https://www.magonlineibrary.com/doi/epdf/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>

30. Barquero W. Analisis de Prisma como Metodología para Revisión Sistemática: una Aproximación General. Saúde Em Redes. 2022; 8: 339-360. <https://doi.org/10.18310/2446-4813.2022v8nsup1p339-360>