

BIOFERTILIZANTES POTENCIADOS CON MICROORGANISMOS EFICIENTES
EN ZONAS DE CULTIVOS EN PAÍSES NEOTRÓPICALES: UNA REVISIÓN DE
LA LITERATURA

CAMILO ANTONIO GUERRERO PÉREZ
WILLIAM ERNESTO SOLERA AMAYA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y SANITARIAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2024

BENEFICIOS DE LOS BIOFERTILIZANTES POTENCIADOS CON
MICROORGANISMO EFICIENTES EN ZONAS DE CULTIVOS EN PAÍSES
NEOTRÓPICALES: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL
Y SANITARIA

CAMILO ANTONIO GUERRERO PÉREZ
WILLIAM ERNESTO SOLERA AMAYA

DIRECTOR
ING. ROSSEMBER SALDAÑA ESCORCIA, ESP. MSc (c).

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR–SECCIONAL AGUACHICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y SANITARIAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2024

NOTA DE APROBACIÓN

El trabajo de grado de Camilo Antonio Guerrero Pérez y William Solera Amaya titulado *“Beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes en zonas de cultivos en países neotrópicales: Una revisión de la literatura”*, ha sido aprobado por los jurados, quien no se hace responsable de su contenido, pero lo ha encontrado correcto en su calidad y en su forma de presentación por lo que en fe de lo cual firman.

JOSE JAVIER CABRERA
EVALUADOR 1

WILSON AVELLANEDA VARGAS
EVALUADOR 2

ROSSEMBER SALDAÑA ESCORCIA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Primeramente dedicar la siguiente monografía a DIOS el cual es el artífice y compañero de todos los planes de mi vida ,gracias a mis padres en especial a mi madre la cual ha sido un apoyo incalculable en este bonito proceso el cual esta culminado con la realización de este trabajo , también mencionar a mis hermanos por siempre contar con su apoyo y darme ánimos de seguir adelante, no quiero culminar sin antes agradecer a mis tíos, primos, padrinos y de más familiares que me acompañaron en este proceso.

William Ernesto Solera Amaya

DEDICATORIA

Este trabajo y todo lo que conllevó su realización están dedicados, primeramente, a Dios, el artífice y consumidor de la vida, quien inspira tanto el querer como el hacer, y quien reafirma nuestros planes según su santa voluntad. Seguidamente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, quien me ha apoyado incondicionalmente a lo largo de todo este proceso, el cual llega a su recta final con la culminación de este trabajo. Agradezco también a mi hermano, quien siempre estuvo a mi lado, dándome ánimos para no desfallecer. No puedo olvidar a aquellos amigos y compañeros, algunos de los cuales se convirtieron en verdaderos hermanos durante el transcurso de mi carrera universitaria. Este logro también es para todos ustedes. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos los docentes que dedicaron su tiempo y esfuerzo para brindarnos el conocimiento necesario para culminar con éxito este proceso.

Camilo Antonio Guerrero Pérez

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad popular del Cesar- seccional Aguachica por permitirnos tener un recinto en donde conseguimos culminar con éxito nuestros estudios universitarios, darle gracias a DIOS y a todo el personal docente de esta alma mater que hizo parte de este proceso, mencionar también a todos nuestros familiares en general por brindarnos un apoyo tan incondicional en cada momento de esta maravillosa etapa de nuestras vidas.

Mención especial y agradecimientos totales a nuestro director de monografía, el Ing. Rossember Saldaña Escorcia, Esp. MSc (c), el cual sin su asesoría y apoyo este proyecto no fuera posible. Por ultimo agradecer a todas las personas que de una u otra manera hicieron parte de este camino. A todos ustedes infinitas GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE ANEXOS.....	XI
GLOSARIO	XII
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	19
4.1. Objetivo general.....	19
4.2. Objetivos específicos.	19
5. MARCO TEÓRICO.....	20
5.1. Fertilizantes Químicos	20
5.2. Biofertilizantes	20
5.3. Microorganismo Eficientes	20
5.3.1. Principales microorganismos eficientes.....	20
5.3.2. Efectos positivos de los microorganismos eficientes.....	21
5.4. Agricultura sostenible (AS).....	22
5.5. Zona neotropical	23
6. ESTADO DEL ARTE.....	24
7. METODOLOGÍA	26
7.1. Línea y Sublínea de Investigación	26
7.2. Tipo de Investigación.....	26

7.3.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información	26
7.4.	Tratamiento de Datos	27
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	28
8.1.	Producción de publicaciones y tendencias de crecimiento.	28
8.2.	Idiomas y Tipo de Documento Científico	29
8.3.	Contribución de Países e Instituciones.....	30
8.4.	Principales Áreas Temáticas, Autores y Revistas Científicas	33
8.5.	Análisis de Co-ocurrencia de Palabras Claves	35
8.6.	Tendencias Actuales.....	37
8.6.1.	Análisis de diagramas estratégicos.....	44
9.	CONCLUSIONES	55
10.	RECOMENDACIONES	56
	LITERATURA CITA	57
	ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia de las publicaciones sobre la temática (2013 - 2023).....	29
Figura 2. Tipos de documentos científicos de la temática (2013 - 2023).....	30
Figura 3. Mapa específico de la zona neotropical de la densidad del aporte científico en el área de estudio asignado.	31
Figura 4. Colaboración entre los países sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivos (2013 - 2023).....	32
Figura 5. Áreas Temáticas de publicaciones sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo (2013 - 2023).	34
Figura 6. Mapa de co-autoría relacionados con la temática (2013 - 2023).	34
Figura 7. Mapa de co-ocurrencia de palabras claves relacionados con la temática (2013 - 2023).....	37
Figura 8. Diagrama de número de palabras clave.	45
Figura 9. A) Diagrama estratégico 2013-2016, B) Red temática 2013-2016.....	48
Figura 10. A) Diagrama estratégico 2017-2020, B) Red temática 2017-2020.....	50
Figura 11. A) Diagrama estratégico 2021-2023, B) Red temática 2021-2023.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Instituciones académicas con mayor número de investigaciones sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo. ...	33
Tabla 2. Revistas más productivas sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo. (2013 - 2023).	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Metodología PRISMA	69
Anexo 2. Mapa global de la densidad del aporte científico en el área de estudio asignado.	70
Anexo 3. Artículos con mayor número de citas 2013-2023.	71
Anexo 4. Diagrama de número de palabras clave	72

GLOSARIO

En esta parte por favor desglose la definición de los conceptos más utilizados en el documento.

Microorganismo: Los microorganismos existen como grupos de células individuales, pluricelulares o celulares y distribuidos por toda la biosfera. Los microorganismos pueden afectar positiva o negativamente el entorno en el que crecen (Luna Feijoo & Mesa Reinaldo, 2017).

Agricultura: La agricultura se enfoca fundamentalmente en proporcionar a la planta doméstica las condiciones de crecimiento ideales (agua, sostén, minerales, luz, espacio, temperatura y tiempo) para que pueda producir (Hernández X et al., 2011).

Sostenibilidad: La satisfacción de las necesidades de la generación actual sin comprometer las necesidades de las generaciones venideras (Cortés Mura & Peña Reyes, 2015).

Tendencia: Una tendencia se puede definir como un patrón de cambio a largo plazo que no tiene en cuenta las fluctuaciones a corto plazo o como una fuerza que impulsa a una persona o cosa hacia un fin o lugar (Correo, 2007).

Análisis bibliométrico: Muestran las variables cuantitativas y cualitativas de las publicaciones científicas, como la cantidad y distribución de publicaciones, la productividad por autor, el número de autores firmantes, la cantidad y distribución de referencias bibliográficas y la cantidad de citas recibidas por un trabajo (Arbeláez Gómez & Onrubia Goñi, 2016).

Base de datos: se define como un archivo de datos que está conectado y recopilado para satisfacer las necesidades de información de una comunidad de usuarios específica (Gil Rivera, 1994).

RESUMEN

La región neotropical, caracterizada por su gran biodiversidad y por condiciones climáticas diversas que van desde selvas tropicales hasta zonas áridas, enfrenta desafíos significativos en cuanto a la sostenibilidad de sus sistemas agrícolas; puesto que las prácticas agrícolas convencionales, dependen en gran medida de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que ha llevado a una degradación sustancial de los suelos, pérdida de biodiversidad, y contaminación de los recursos hídricos. Esta monografía tiene el objetivo analizar los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes en zona de cultivos en los países neotrópicales a través de un análisis de la literatura especializada en la última década. La metodología planteada fue de tipo descriptiva con un enfoque mixto. Se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando la base de datos Scopus, siguiendo los principios de la metodología PRISMA. Asimismo, para el análisis de datos, se empleó SCIMAT y VOSviewer, que permitieron un análisis bibliométrico y la visualización de redes de conocimiento para identificar ciertas características de la literatura, así como establecer las tendencias. Se identificaron un total de 220 publicaciones, de las cuales 17 publicaciones fueron relevantes para el análisis; la revisión arrojó a China con 64 artículos lo que constituye un 38.8% e India con 40 artículos que representan el 24.2%. Además, la Academia China de Ciencias encabeza la lista con 16 publicaciones, seguida por el Ministerio de Agricultura de la República Popular de China con 10 contribuciones. Por otra parte, el autor más relevante fue Wang, H. y la revista con mayor número de publicaciones de la temática fue *Soil Biology and Biochemistry*. De igual manera, el análisis nos indicó que las tendencias en el uso de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes se orientan en la identificación y caracterizar microorganismos nativos que puedan ser utilizados en biofertilizantes, asegurando que los productos sean adaptados a las condiciones locales. En conclusión, los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes emergen como una alternativa prometedora, no solo para mejorar la productividad agrícola sino también para mitigar los impactos negativos de la agricultura intensiva sobre el medio ambiente.

Palabras clave: microorganismos eficientes, agricultura sostenible, análisis bibliométrico, neotropical y cultivos.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta desafíos significativos, especialmente en los países neotrópicales, que abarcan gran parte de América Latina y el Caribe, estos poseen una biodiversidad extraordinaria y ecosistemas únicos que son fundamentales tanto para el bienestar humano como para la salud del planeta (Hata et al., 2021). Sin embargo, estos países también enfrentan desafíos agrícolas significativos debido al uso intensivo de agroquímicos ha generado una serie de problemas ambientales y de salud pública.

Uno de los principales desafíos en la agricultura en la región neotropical es la gestión de suelos que, en muchas áreas, son altamente lixiviados y deficientes en nutrientes esenciales; siendo esto en los cuales los nutrientes son arrastrados fuera del perfil del suelo por el agua de lluvia o riego (Villalva & Fuentes, 2006). La fertilización convencional, aunque efectiva a corto plazo, ha demostrado tener efectos adversos a largo plazo, como la acidificación del suelo y la disminución de la materia orgánica (Marín et al., 2017). Asimismo, los cultivos en esta región son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático, en relación a las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas extremas; generando riesgos para la salud humana (A. Lozano-Povis et al., 2021; A. A. Lozano-Povis, 2023).

En este contexto, surge la necesidad de explorar que alternativas sostenibles se han empleado para mantener la productividad agrícola sin comprometer la integridad de los ecosistemas. Los biofertilizantes son una de estas soluciones prometedoras, los cuales son productos biológicos que contienen microorganismos vivos capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, promover el crecimiento de las plantas y contribuir a la salud del suelo (Jiménez-Tobón et al., 2023). Además, cuando se potencian los biofertilizantes con microorganismos eficientes (ME), como bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrízicos arbusculares y solubilizadores de fósforo, amplía su eficacia lo que ofrece una gama de beneficios que van más allá de la simple fertilización (Ncube, 2024).

En los países neotropicales, donde los suelos suelen ser pobres en nutrientes y altamente erosionables, el uso de biofertilizantes potenciados representa una estrategia clave para mantener la productividad agrícola sin comprometer la integridad ecológica (Luna Feijoo & Mesa Reinaldo, 2017). Es, por ende, que con esta monografía se pretendió recopilar información y realizar un análisis sistemático de la literatura científica de la última década

sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo de países neotrópicales mediante un análisis sistemático y riguroso con el fin de identificar las tendencias actuales y proporcionar una base sólida para futuras investigaciones, así como una visión general en la aplicación prácticas en el campo de la agricultura sostenible.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los sistemas agrícolas a nivel internacional enfrentan un problema significativo debido a prácticas convencionales que agotan la fertilidad del suelo, contribuyen al cambio climático y amenazan la seguridad alimentaria (Hidalgo Dávila, 2017). El uso intensivo de fertilizantes químicos y la deforestación afectan la sostenibilidad ambiental, aumentando la vulnerabilidad de los cultivos a condiciones climáticas extremas. Además, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del agua agravan la crisis (Smith-Spangler et al., 2012).

Uno de los problemas con mayor relevancia en sistemas agrícolas neotropicales es derivado del uso extensivo de agroquímicos constituyendo una preocupación central en la investigación agrícola contemporánea (Álvarez-Sánchez et al., 2020). A medida que la demanda de alimentos aumenta, la intensificación de la agricultura ha llevado a una dependencia significativa de pesticidas y fertilizantes químicos (FAO, 2018). Este enfoque, aunque inicialmente eficaz para aumentar la productividad, ha desencadenado una serie de consecuencias adversas. Del mismo modo, el uso excesivo de agroquímicos conduce a la acumulación de residuos en el suelo, afectando su calidad y fertilidad; dado a que la escorrentía de estos productos químicos hacia los cuerpos de agua contamina fuentes hídricas, generando impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y amenazando la salud humana (Dodds et al., 2009).

Esto crea un ciclo insostenible de dependencia química y eleva los riesgos asociados con la salud humana y la biodiversidad. Además, la pérdida de biodiversidad se agrava a medida que los agroquímicos afectan a organismos no objetivo, incluyendo polinizadores esenciales como las abejas (Villarreal Contreras, 2021). Asimismo, en los países neotropicales los sistemas agrícolas se enfrentan un complejo entramado de desafíos, marcado por el cambio climático que afecta patrones climáticos, la disponibilidad de agua, la deforestación, la estabilidad del suelo, la contaminación del agua debido a prácticas agrícolas intensivas, y la amenaza constante a la seguridad alimentaria (Acosta Ramos, 2022). Abordar este problema exige una transición hacia enfoques sostenibles, donde la investigación en biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes destaca como una solución prometedora para revitalizar la agricultura y enfrentar los desafíos contemporáneos.

3. JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas agrícolas desempeñan un papel esencial desde una perspectiva científica e investigativa. Estos entornos cultivados no solo sustentan la producción de alimentos, sino que también actúan como laboratorios naturales donde se estudian interacciones complejas entre cultivos, suelo y biodiversidad (Foley et al., 2011). La investigación en ecosistemas agrícolas contribuye al desarrollo de prácticas sostenibles, optimización de rendimientos y comprensión de los impactos ambientales (Reganold et al., 2001). Además, estos ecosistemas ofrecen valiosas perspectivas sobre la resiliencia frente a cambios climáticos y desafíos agrícolas, impulsando la innovación y la mejora continua para garantizar la seguridad alimentaria y la salud del planeta (Smith-Spangler et al., 2012).

Los biofertilizantes emergen como una herramienta crucial en la mitigación del cambio climático al mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos; desempeñando un papel crucial en los ecosistemas agrícolas al potenciar la fertilidad del suelo de manera sostenible. Estos productos biológicos mejoran la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, promoviendo un crecimiento saludable y aumentando la productividad de los cultivos al igual que los beneficios ambientales (Ahkar B, 2017). De igual forma, los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes ofrecen una solución innovadora al mejorar la salud del suelo, aumentar la eficiencia de los nutrientes y promover la resistencia de las plantas (Zeballos H., 2017). Además, su aplicación contribuye a contrarrestar la deforestación al promover prácticas agrícolas sostenibles, minimizan la contaminación del agua al disminuir la escorrentía de nutrientes y fortalece la seguridad alimentaria al mejorar la productividad agrícola, sustentado la resiliencia de los ecosistemas frente a los desafíos ambientales (Ramos et al., 2018).

La revisión de la literatura sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo en los países neotropicales constituye una contribución significativa tanto en el ámbito científico como en el práctico. Este proyecto no solo tiene relevancia teórica, sino que también impacta de manera práctica al indicar cómo los biofertilizantes pueden abordar desafíos en las áreas de cultivo en la región neotropical, incluyendo mejoras en la calidad de los productos agrícolas y la resistencia de las plantas a condiciones de sequía. En este contexto, la monografía aporta un estudio exhaustivo y valioso

al campo de la agricultura sostenible en los países neotropicales, puesto que proporcionará una sólida base científica al analizar en profundidad tanto las evidencias teóricas como las prácticas relacionadas con los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en las zonas de cultivo en la mejora de la productividad agrícola y la reducción de los impactos ambientales negativos. Finalmente, la monografía introduce un enfoque metodológico innovador que permite la consolidación y el análisis crítico de información científica, contribuyendo así al avance del conocimiento en este campo.

4. OBJETIVOS

4.1.Objetivo general.

- Analizar los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes en zona de cultivos en los países neotrópicales a través de un análisis de la literatura especializada en la última década.

4.2.Objetivos específicos.

- Identificar la literatura especializada sobre el uso de biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo en países neotrópicales.
- Describir la efectividad de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en la mejora de los cultivos en las zonas neotrópicales.
- Establecer las tendencias en el uso de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes en zona de cultivos en los países neotrópicales por medio de un análisis bibliométrico.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Fertilizantes Químicos

Los fertilizantes inorgánicos o químicos son aquellos que no provienen de fuentes orgánicas, sino que se elaboran a partir de elementos químicos o minerales. Los abonos cuyos nutrientes declarados se encuentran en forma mineral, obtenidos ya sea a través de extracción o mediante procesos industriales de naturaleza física o química, se distinguen de los orgánicos, los cuales provienen de los restos de organismos vivos, como vinos, plantas, animales o mezclas de estos (Ginès & Simòn, 2023).

5.2. Biofertilizantes

Biofertilizante se define como una sustancia que contiene microorganismos vivos que, cuando se aplica a semillas, superficies de plantas o suelo, coloniza la zona de las raíces o el interior de la planta y promueve el crecimiento de la planta al aumentar el suministro o la disponibilidad de nutrientes básicos. Por tanto, el término biofertilizante se refiere a un producto que contiene microorganismos del suelo que se aplican a las plantas para favorecer su crecimiento. Sin embargo, suele ser mal utilizado como sinónimo de muchos tipos de productos como fertilizantes orgánicos, compost, estiércol animal, etc (Afanador, 2017).

5.3. Microorganismo Eficientes

Los microorganismos eficientes (ME) es un grupo muy grande de organismos, realiza varias funciones en el suelo. Mantiene el orden de varios ciclos normales. Este trabajo es permanente y gracias por ello. La vida en la Tierra se mantiene. Estos organismos viven en el suelo (bacterias, hongos, actinomicetos) y realizan varias funciones, especialmente degradaciones y/o transformaciones de materiales para la nutrición vegetal, así como interfieren con los ciclos Biogeoquímicos en la naturaleza (Helwig et al., 2016).

5.3.1. Principales microorganismos eficientes

Dentro de los principales ME se pueden encontrar:

- **Bacterias Ácido Lácticas:** Estas bacterias (*Lactobacillus spp.*) producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un poderoso compuesto bactericida que inhibe los microorganismos dañinos y ayuda en la descomposición y fermentación de

sustancias como la lignina y la celulosa, previniendo los efectos negativos de la materia orgánica no descompuesta (Helwig et al., 2016).

- **Bacterias Fototróficas:** Son bacterias autótrofas (*Rhodopseudomonas* spp.) que utilizan la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía para sintetizar sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases nocivos. Las sustancias sintetizadas incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias biológicamente activas y azúcares que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Helwig et al., 2016).
- **Levaduras:** Es un hongo unicelular que actúa como puente biológico entre las bacterias y los organismos superiores, conservando las ventajas de una fácil manipulación y un rápido crecimiento de los microorganismos. Las levaduras utilizan los aminoácidos y azúcares liberados por las bacterias fototróficas, la materia orgánica y las raíces de las plantas para sintetizar sustancias antibacterianas y otras sustancias útiles necesarias para el crecimiento de las plantas (Helwig et al., 2016).
- **Actinomicetos:** Son estructuras intermedias entre bacterias y hongos que pueden coexistir con bacterias fotosintéticas y utilizar los aminoácidos y sustancias orgánicas que secretan para producir sustancias antibacterianas. Ambas especies (actinomicetos y bacterias fotosintéticas) mejoran la calidad del suelo desarrollado al aumentar su actividad antimicrobiana. Los actinomicetos controlan hongos y bacterias patógenos y pueden aumentar la resistencia de las plantas (Helwig et al., 2016).
- **Hongos de Fermentación:** Los hongos fermentadores como *Aspergillus* y *Penicillium* pueden descomponer rápidamente la materia orgánica para formar alcoholes, ésteres y sustancias antibacterianas que proporcionan un efecto desodorizante y previenen la aparición de insectos dañinos y larvas de mosca. Estos hongos aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, haciéndolos más disponibles para la nutrición de las plantas (Helwig et al., 2016).

5.3.2. Efectos positivos de los microorganismos eficientes

Según Helwig et al. (2016), el uso de EM tiene los siguientes efectos positivos:

- Favorece la germinación, floración, desarrollo de frutos y reproducción de plantas.

- Mejorar física, química y biológicamente el entorno del suelo y suprimir las bacterias patógenas que causan enfermedades.
- Aumenta la capacidad fotosintética de las plantas.
- Mejora definitivamente la germinación y el desarrollo de las plantas.
- Aumenta la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.
- Reducir el olor y el uso de desinfectantes.
- Reducir el consumo de agua de lavado mediante la gestión de lechos de secado que recojan los residuos.
- Contribuye al uso eficiente de los desechos animales.
- Mejora de la calidad y velocidad del procesamiento de fertilizantes.
- Retornar las aguas residuales como agua de riego.
- Mejorar la calidad de los productos animales.
- Promueve la conversión aeróbica de compuestos orgánicos y previene su descomposición por oxidación, que produce gases que contienen azufre y amoníaco.
- Reduce la producción de lodos en los sistemas de tratamiento convencionales.

5.4. Agricultura sostenible (AS)

La agricultura sostenible (AS) es un sistema de producción agrícola que utiliza eficientemente los recursos, es respetuoso con el medio ambiente y económicamente viable. Al mismo tiempo, debemos reconocer los valores humanos, proporcionar alimentos de alta calidad y sostener a los agricultores y las comunidades rurales como parte de un sistema saludable. El AS puede considerarse como un sistema alternativo que busca reemplazar los factores de producción externos por otros factores producidos en la finca. Además, como se puede deducir de la definición anterior, el término "sostenible" se refiere no sólo a lograr rentabilidad a partir de los productos agrícolas, sino también a lograr un precio razonable para que los consumidores produzcan alimentos saludables para las generaciones actuales y futuras. También significa producir en cantidad suficiente a un precio que se logre Garantizar la integridad de la economía alimentaria del sector agrícola (Villalva & Fuentes, 2006).

5.5. Zona neotropical

El Neotrópico cuenta con selvas tropicales, manglares, bosques nublados, entre otros hábitats. Además de su riqueza natural, esta ecozona también alberga diversas culturas indígenas y una fascinante historia ancestral. Por tanto, el Neotrópico es un lugar de gran interés para la investigación científica y para el turismo ecológico. con una amplia cantidad de especies endémicas y una variedad de ecosistemas. Sin embargo, el bioma más representativo de la región, tanto por su extensión como por su importancia, es el bosque húmedo tropical, también erróneamente llamado selva amazónica (Gerardo suter, 2018).

6. ESTADO DEL ARTE

Mamani (2023) evaluó la eficacia de los biofertilizantes a partir de microorganismos en la agricultura sostenible. El autor aplicó una metodología de revisión sistemática, siguiendo las directrices PRISMA, analizando 20 documentos publicados entre 2001 y 2023 para evitar sesgos y garantizar la replicabilidad. Los resultados indican que el 45% de los estudios se enfocaron en la identificación físico-química de los biofertilizantes, demostrando su potencial para mejorar la salud del suelo y disminuir la dependencia de fertilizantes químicos, lo que contribuye a la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles.

Por otra parte, Morocho & Leiva-Mora (2019) tuvo como objeto crear y sintetizar información científica acerca de los microorganismos eficientes (ME), sus características funcionales y aplicaciones agrícolas. Se empleó una revisión de la literatura científica publicada durante los últimos 10 años, enfocándose en los grupos microbianos que conforman los ME y sus particularidades, utilizando fuentes de revistas indexadas y bases de datos reconocidas. Por lo cual, los resultados indican que los ME, compuestos por diversas especies microbianas, fomentan la germinación de semillas, el crecimiento de plantas y la supresión de patógenos, lo que demuestra su potencial como alternativa sostenible en la producción agrícola.

Además, Franco Polo (2022) tuvo como propósito examinar las investigaciones sobre biofertilizantes en la literatura científica de los últimos 10 años sobre biofertilizantes, empleó como técnica la revisión de artículos originales en español de bases de datos científicas, empleando palabras clave relacionadas y excluyendo aquellos que no se alineaban con el tema. En consecuencia, los resultados revelaron que el 50% de los artículos provenientes de SciELO y que la mayoría de las investigaciones se publicaron entre 2018 y 2019, destacando la relevancia de los biofertilizantes en la mejora del crecimiento de las plantas y la calidad del suelo.

Asimismo, (Jiménez-Tobón *et al.* 2023) expusieron el impacto de los biofertilizantes en la productividad de cultivos agrícolas. Se empleó como método una búsqueda sistemática en dos bases de datos, aplicando criterios de inclusión y exclusión, lo que resultó en la selección de 62 artículos relevantes. Por ende, Los resultados indican que el uso de biofertilizantes, que son de microorganismos naturales, mejora significativamente la productividad agrícola al favorecer la disponibilidad de nutrientes y promover el crecimiento de las plantas, destacándose su efectividad en cultivos como tomate y maíz.

(Bustamante Cabrera & Tarazona Gomez 2021) realizaron una revisión la cual tuvo como objeto evaluar la eficacia de diferentes biofertilizantes en el crecimiento de cultivos agrícolas mediante la

evaluación de la efectividad de diferentes biofertilizantes en el crecimiento de cultivos agrícolas. Además, la metodología empleada fue un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental y análisis retrospectivo, usando datos existentes y revisiones bibliográficas para definir variables y recopilar información. Los resultados revelaron una mejoría significativa en la absorción de nutrientes y el rendimiento de los cultivos, destacando su potencial como una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos.

De igual manera, (Coutino-Puchuli *et al.* 2023) evaluó la viabilidad del uso de biofertilizantes en la agricultura de México mediante un análisis económico de estos bioproductos. Los autores utilizaron herramientas como Microsoft Excel y software especializado para la creación de matrices de coocurrencia y análisis bibliométrico, se recopiló y analizó información de 115 artículos publicados entre 2015 y 2020. Los hallazgos indicaron un aumento en la productividad de las investigaciones sobre biofertilizantes, enfatizando el valor de cultivos como el maíz y el chile. Estos hallazgos sugieren un gran potencial para la aplicación de biofertilizantes en la agricultura.

Por otro lado, (González-Rodríguez *et al.* 2023) realizaron un análisis bibliométrico para caracterizar la productividad científica del abono orgánico Bocashi. Se utilizaron los programas VOSviewer y *Publish or Perish de Harzing* para identificar y recopilar documentos publicados entre 1999 y 2022 utilizando la base de datos SCOPUS. Se analizaron variables como el número de artículos, citas y varios índices bibliométricos. Los hallazgos mostraron un total de 161 documentos, con la mayoría en inglés y Brasil como el país con el mayor número de artículos publicados. El artículo de Mayer *et al.* (2010), que tenía 80 citas, fue el más citado, con un índice h de 16.

(Zamora Noviteño 2023) publicó una tesis cuyo objetivo del artículo es investigar la presencia y el impacto de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en los suelos de café. La metodología consistió en una revisión bibliográfica y un análisis bibliométrico de artículos relacionados, seguido de un ejercicio práctico con muestras de suelo de una finca cafetera, donde se cultivaron microorganismos en medios específicos. Los hallazgos indicaron la identificación de 104 artículos pertinentes, así como la presencia de bacterias beneficiosas que pueden mejorar la fertilidad del suelo y la producción de café. Finalmente, (Urgiles-Gómez *et al.* 2023) en su publicación definieron como objetivo investigar cómo los microorganismos pueden mejorar la producción y la calidad de los cultivos en la agricultura. Los autores emplearon como técnica la revisión de estudios anteriores y aplicar microorganismos beneficiosos en varios cultivos para evaluar su impacto en el crecimiento y el control de plagas. Los hallazgos sugieren que los microorganismos como el PGPR mejoran significativamente el crecimiento de las plantas y reducen la incidencia de enfermedades, lo que los hace una alternativa sostenible en la agricultura.

7. METODOLOGÍA

7.1. Línea y Sublínea de Investigación

Según el Proyecto de Educativo del Programa de Ingeniería Ambiental Y Sanitaria (PEP), la línea de investigación acorde con esta monografía es gestión ambiental y desarrollo humano sostenible, que a través de la sub-línea mecanismos de producción más limpia permite tener un enfoque claro, dado a que el estudio mostrará información relevante sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismo eficientes en zona de cultivos en los países neotrópicales (Roperó Pallares, 2015).

7.2. Tipo de Investigación

Esta monografía es de tipo descriptiva con un enfoque mixto. En primer lugar, descriptiva dado a que implicará una presentación detallada de la información, evitando interpretaciones excesivas. Se espera que el texto proporcione una visión comprensiva y objetiva de los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en contextos específicos de cultivo en la región neotropical. Asimismo, se usará un enfoque riguroso involucrando la recopilación y el análisis de datos científicos relevantes, así como la aplicación de métodos y técnicas de investigación reconocidos (Hernández Sampieri et al., 2014; Passos Simancas, 2015). Finalmente, la utilización de un enfoque mixto implica la integración de aspectos cuantitativos y cualitativos que proporcionará una comprensión más completa y holística del tema (Cedeño Viteri, 2012).

7.3. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información

El instrumento de revisión permitirá el reconocimiento de las corrientes tanto a nivel nacional como global en un dominio o especialidad del saber concreto (Gómez Vargas et al., 2015). Para esto, se empleará la información secundaria de las bases de datos, específicamente, Scopus®; puesto que esta base de datos ofrece herramientas de búsqueda avanzadas y la posibilidad de rastrear citas, lo que facilita la identificación de trabajos relevantes. Asimismo, se usarán criterios de inclusión y exclusión para mantener un enfoque sistemático y documentar adecuadamente todas las fuentes consultadas para garantizar la integridad y la credibilidad en la revisión.

7.4. Tratamiento de Datos

La metodología de revisión es empleada para gestionar y documentar el proceso de selección y revisión de los estudios, y se seguirán los principios y pautas de la metodología de PRISMA (Urrutia & Bonfill, 2010). Esto garantizará un enfoque transparente y sistemático en la selección de artículos permitiendo recopilar estudios pertinentes bajo criterios categóricos cuyo resultado exaltará las temáticas relevantes relacionadas con los biofertilizantes en zonas de cultivos neotrópicales (Moher et al., 2009; Page et al., 2021). Asimismo, se empleará el instrumento y/o software SCIMAT para realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de la literatura, lo que incluirá la identificación de tendencias, patrones y áreas de enfoque (Cobo et al., 2012). Finalmente, se utilizará VOSviewer para crear visualizaciones de mapas de redes que permitan comprender mejor la estructura de la literatura y las relaciones entre los estudios revisados. Estas visualizaciones facilitarán la presentación de los hallazgos de manera clara y efectiva (Van Eck et al., 2006; Van Eck & Waltman, 2010).

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La obtención de datos a través de la base de datos Scopus nos permitió realizar el análisis pertinente. Como punto de partida, utilizamos palabras clave con las que se identificaron 220 publicaciones, al filtrar los resultados enfocándonos en la zona de estudio, los países neotropicales, obtuvimos 165 documentos; esto significa que la cantidad se redujo en un 25%. A continuación, delimitamos el rango de tiempo entre 2010 y 2023. Tras finalizar la recopilación en la base de datos Scopus, identificamos un total de 17 publicaciones relevantes relacionadas con el tema en cuestión (**Anexo 1**).

Ecuación de búsqueda: *TITLE-ABS-KEY (({efficient} AND {microorganism} AND ("organic fertilizer" OR "Biofertilizer" OR "fertilizer"))) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Brazil") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Mexico") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Argentina") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Venezuela") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Peru"))*

8.1. Producción de publicaciones y tendencias de crecimiento.

Con la búsqueda y selección exhaustiva de la literatura científica, se puede evidenciar en la **Figura 1** dos parámetros importantes: la cantidad de documentos o investigaciones que se publican cada año y la cantidad de citas que reciben esos trabajos. Es así que, analizando diagrama de barras podemos notar algunos patrones interesantes en relación con la investigación de este tema a lo largo de los años; en el año 2013 vemos que el interés en este tema específico era bastante limitado, ya que solo se hicieron 3 publicaciones este año, que en total fueron citados 87 veces. Además, la investigación en esta área se mantuvo por debajo del tope de 10 documentos por año hasta llegar al 2016, cuando el número de documentos por año alcanzó el pico de las 12 publicaciones.

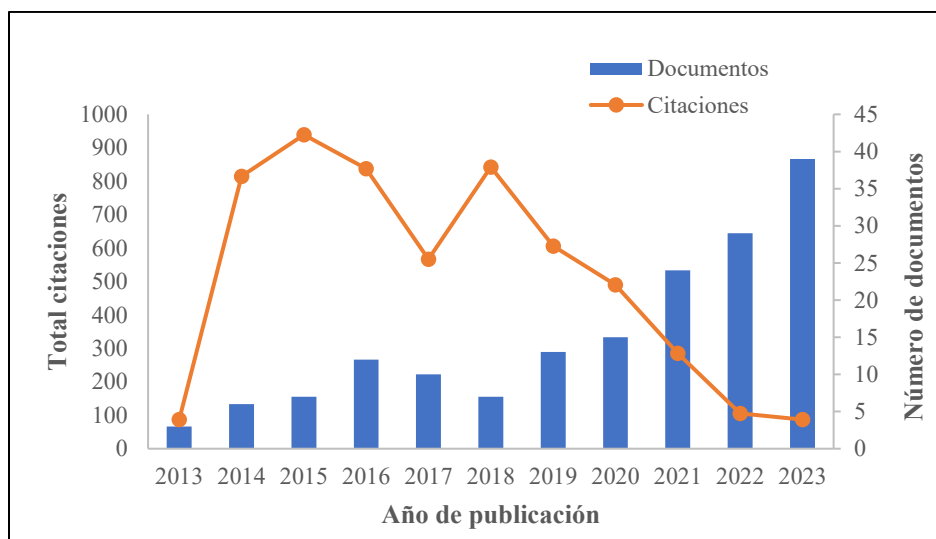


Figura 1. Tendencia de las publicaciones sobre la temática (2013 - 2023).

Un aspecto destacado es que, a partir de 2014, el número de citas de estos documentos aumentaron considerablemente, partiendo desde las 87 citas en el 2013 hasta las 815 citas en el 2014, seguidas de 939 en 2015, siendo esta última la cifra más alta de citas. En los años posteriores la cantidad de publicaciones por año se mantuvo relativamente constante, hasta llegar al año 2021, cuando se publicaron 24 documentos, los cuales recibieron un total de 286 citas.

Sorprendentemente, en 2023, a pesar de ser el año con mayor número de publicaciones, de 39 documentos, el número de citas ha descendido a las 87 citas, lo que iguala los niveles del año inicial de esta investigación. Este patrón nos muestra un panorama interesante referente a las futuras investigaciones en este campo a lo largo de los años, ya que, aunque se evidencia el aumento en el material científico, no se puede ignorar el declive en la tendencia de citas.

8.2. Idiomas y Tipo de Documento Científico

El idioma principal obtenido en este análisis fue el inglés con un 89,70%, seguidamente el chino con un 8,48%, y el 1,82% restante fue del idioma español. Por otro lado, en el análisis de los resultados se ha observado que la mayor parte de los documentos corresponde a artículos científicos (**Figura 2**), representando un 69%, equivalente a 114 artículos. Los artículos de revisión también tienen una participación significativa, con un 23% del total, lo que se traduce en 37 artículos. Por otro lado, los capítulos de libros constituyen un 7% de los

documentos, sumando un total de 12 artículos. Finalmente, el 2% restante se compone de papeles de conferencia y pequeñas encuestas, cada uno representando un 1%. Este análisis destaca la predominancia de los artículos científicos en la distribución de los 165 documentos estudiados.

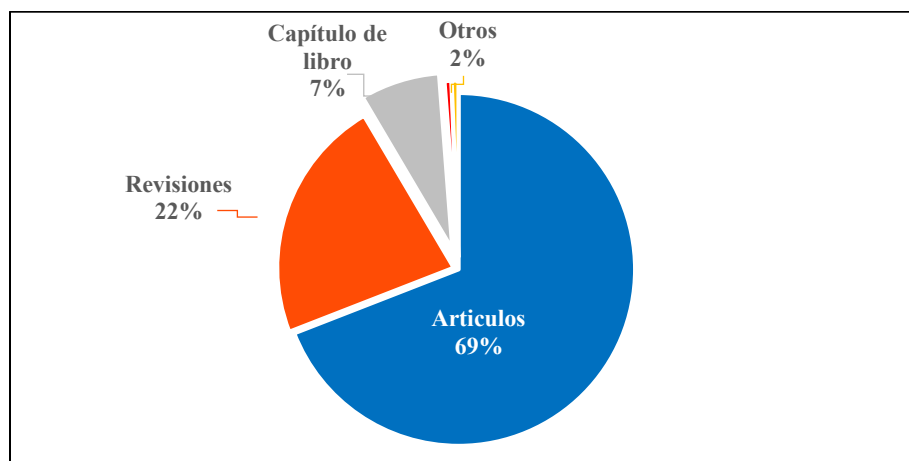


Figura 2. *Tipos de documentos científicos de la temática (2013 - 2023).*

8.3. Contribución de Países e Instituciones

Tras realizar un análisis riguroso de los datos proporcionados por la base de datos de Scopus sobre la incidencia del estudio de los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivos, se determinaron los países más relevantes en esta área de estudio. Este análisis arrojó un mapa global (**Anexo 2**) que incluye la participación de 51 países, destacando a China con 64 artículos lo que constituye un 38.8%, India contribuyó con 40 artículos que representan el 24.2% y Estados Unidos quedando en tercera posición con 17 artículos, aportando el 10.3% del total de artículos.

Posteriormente, se procedió a establecer el enfoque del estudio hacia los países de la zona neotropical, lo que resultó en la selección de un conjunto más concentrado y específico de cinco países, tal como se ilustra en la **Figura 3**. Dentro de este grupo selecto, Brasil se destaca liderando con un total de once publicaciones científicas (61,11%), seguido por México con tres artículos (16,67%). Por su parte, Argentina aporta con dos publicaciones (11,11%), mientras que Venezuela y Perú contribuyen con una publicación cada uno (5,56%) cada uno. Es pertinente mencionar que, aunque Colombia y Bolivia se incluyen en el análisis para brindar una perspectiva más amplia del panorama en la región neotropical, dichos países no registraron artículos relacionados con este tema específico en la base de datos de Scopus.

Esta selección de datos nos permite comprender de mejor manera la distribución geográfica de la producción académica sobre este tema, resaltando la importancia de la investigación que se realiza en los países de la región neotropical. El liderazgo de Brasil y la participación significativa de México y Argentina en esta área refuerzan la relevancia global del tema y la diversidad de enfoques que radica en varias dimensiones claves. En primer lugar, el aumento de visibilidad que están logrando los países en el ámbito global no solo contribuye a equilibrar la producción del conocimiento científico, sino que también pone de manifiesto la capacidad de estas naciones para conducir investigaciones de importancia mundial. A medida que aumenta su visibilidad, se incrementa la inversión en investigación y desarrollo, fomentando así la colaboración internacional.

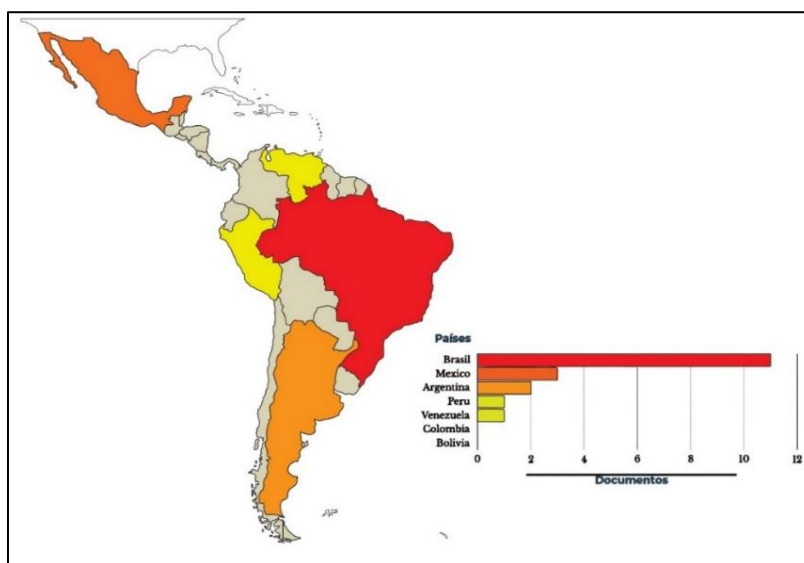


Figura 3. Mapa específico de la zona neotropical de la densidad del aporte científico en el área de estudio asignado.

En segundo lugar, fortalecer la participación de los países neotropicales en la investigación científica global permite abordar problemáticas específicas de la región con un conocimiento más contextualizado y profundo, contribuyendo así a soluciones más sostenibles. Asimismo, la diversidad de ecosistemas, desafíos sociales y particularidades económicas ofrecen un amplio campo de estudio que, al ser compartido, puede impactar positivamente en otras partes del mundo que enfrentan necesidades similares.

En el análisis de redes de colaboración (**Figura 4**), se observaron patrones relevantes en cuanto a los países más influyentes de cooperación en esta área de estudio. El país con mayor

centralidad e influencia global fue China, exhibiendo el nodo más grande y el mayor número de enlaces con otras naciones. China mantuvo conexiones prominentes con Australia, Pakistán, India, Estados Unidos y varios países europeos como Alemania, Reino Unido e Italia. Este hallazgo respalda la afirmación sobre la influencia significativa de China en el aporte global a este campo de investigación.

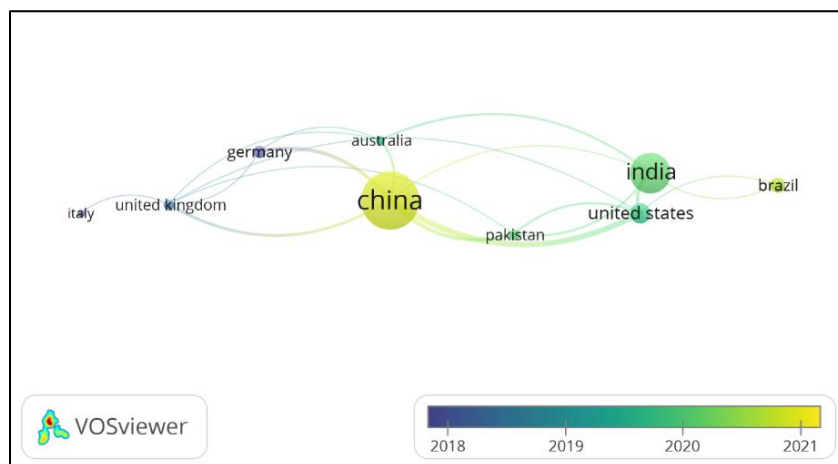


Figura 4. Colaboración entre los países sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivos (2013 - 2023).

Otros países que destacaron como actores clave fueron Estados Unidos, India y Brasil, los cuales presentaron nodos de tamaño considerable y un número sustancial de conexiones internacionales. Específicamente, Brasil mostró una fuerte correlación con otros países líderes en contribuciones investigativas, evidenciada por sus enlaces con naciones como India y Estados Unidos, además de algunas europeas. Estos resultados subrayan la importancia de las dinámicas de colaboración internacional y el papel preponderante de naciones específicas, como China, Estados Unidos, India y Brasil, en el avance del conocimiento global en esta área. La visualización de redes permitió dimensionar de manera efectiva las interacciones y aportes relativos de los diferentes países involucrados en esta temática.

En relación con las instituciones, en la **Tabla 1** se destacan los principales centros académicos e investigativos que han tenido un papel fundamental en el avance de esta temática. La Academia China de Ciencias encabeza la lista con 16 publicaciones, seguida por el Ministerio de Agricultura de la República Popular de China con 10 contribuciones, y la Universidad Agrícola de China con 8. De igual forma, China es el país con más centros

académicos e investigativos (6 centros), lo que se relaciona directamente con su liderazgo en la cantidad de documentos publicados sobre este tema como se muestra en la Figura 3 y 5.

Tabla 1. Instituciones académicas con mayor número de investigaciones sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo.

Instituciones	Documentos	País
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	16	China
<i>Ministry of Agriculture of the People's Republic of China</i>	10	China
<i>China Agricultural University</i>	8	China
<i>Banaras Hindu University</i>	7	India
<i>Chinese Academy of Agricultural Sciences</i>	7	China
<i>University of Chinese Academy of Sciences</i>	7	China
<i>Indian Council of Agricultural Research</i>	6	India
<i>Georg-August-Universität Göttingen</i>	5	Alemania
<i>Ministry of Education of the People's Republic of China</i>	4	China
<i>Iowa State University</i>	3	Estados Unidos

8.4. Principales Áreas Temáticas, Autores y Revistas Científicas

En el análisis realizado, se destaca que las principales áreas temáticas (**Figura 5**) abordadas son las ciencias agrícolas y biológicas, con un total de 80 documentos publicados, así como las ciencias medioambientales, con 67 publicaciones. También se incluyen áreas multidisciplinarias como la ingeniería, las ciencias energéticas, las ciencias sociales y las farmacológicas.

Este estudio no solo se limita a esas áreas, sino que también considera temáticas con menor producción, como las ciencias de los materiales, las ciencias de la computación, los profesionales de la salud, las economías y finanzas. Aunque estas áreas estén directamente relacionadas con la temática principal, fueron publicadas en revistas de sus respectivas áreas, las cuales se enfocan en establecer bases para la formulación de políticas que involucren los beneficios de los microorganismos eficientes en el ámbito agrícola, la seguridad alimentaria y en la salud humana.

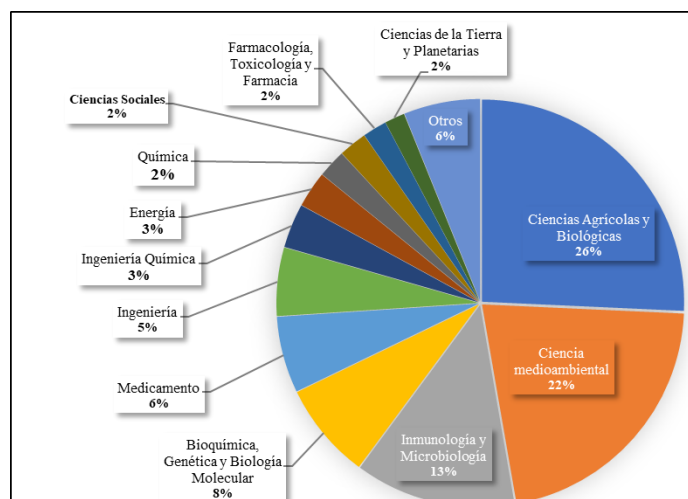


Figura 5. Áreas Temáticas de publicaciones sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo (2013 - 2023).

Por otra parte, en la **Figura 6** representa una red de co-autoría, mostrándonos a los autores que han realizado publicaciones sobre el tema principal y como es la colaboración que existe entre cada uno de ellos. Para este caso, el autor más destacado fue Wang, H., con siete (7) documentos los cuales fueron citados 153 veces en diferentes áreas temática, asimismo el autor Wang, Y., ostenta siete (7) documentos que han acumulado 98 citaciones., y finalmente para resaltar el autor Zhang, J. con seis (6) publicaciones relevantes en la materia de las cuales posee 98 citaciones; siendo estos tres autores los que más impactaron en el tema.

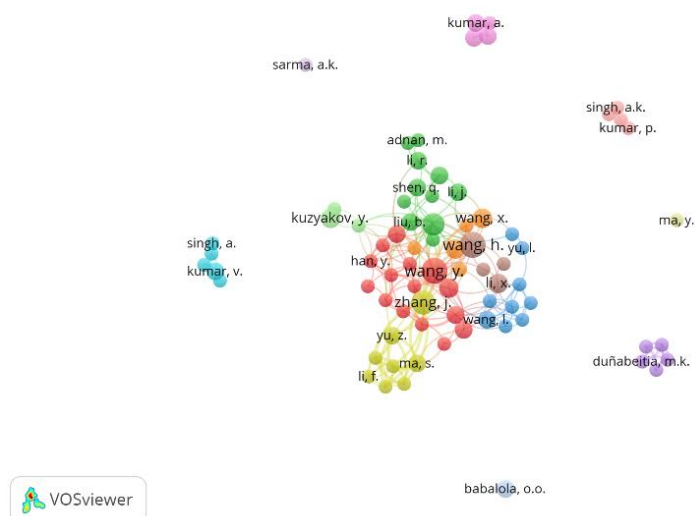


Figura 6. Mapa de co-autoría relacionados con la temática (2013 - 2023).

En la **Tabla 2** se presentan las 10 principales revistas con el mayor número de publicaciones científicas sobre la temática investigada. Según estos datos, nueve (9) artículos fueron publicados en la revista *Soil Biology and Biochemistry*, seguidos por *Science of the Total Environment* y *Journal of Environmental Management* con 7 y 6 artículos, respectivamente. Asimismo, se muestra la clasificación de las revistas según los cuartiles e índice H, lo que permite evaluar el impacto, relevancia y calidad científica de las publicaciones según el *Scientific Journal Ranking* (SJR). Nueve de estas revistas se encuentran en el Cuartil 1 (Q1) y solo una en el Cuartil 2 (Q2). Además, el 70% de las revistas incluidas tienen un índice H superior a 200. En cuanto a la distribución geográfica, el Reino Unido y Estados Unidos son los países que albergan la mayor cantidad de revistas que han publicado investigaciones sobre esta temática (SCImago, 2023).

Tabla 2. Revistas más productivas sobre los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivo. (2013 - 2023).

Revista	TP	SJR2023	Q	H	País
<i>Soil Biology And Biochemistry</i>	9	3,45	1	266	Reino Unido
<i>Science Of The Total Environment</i>	7	2	1	353	Países Bajos
<i>Journal Of Environmental Management</i>	6	1,77	1	243	Estados Unidos
<i>Chemosphere</i>	5	1,81	1	311	Reino Unido
<i>Frontiers In Microbiology</i>	5	1,07	1	233	Suiza
<i>Agronomy For Sustainable Development</i>	3	1,63	1	143	Estados Unidos
<i>Applied Microbiology And Biotechnology</i>	3	0,96	1	267	Alemania
<i>Communications In Soil Science And Plant Analysis</i>	3	0,42	2	80	Estados Unidos
<i>Environmental Pollution</i>	3	2,13	1	301	Reino unido
<i>Field Crops Research</i>	3	1,43	1	190	Países Bajos

SRJ: Ranking de revistas científicas, **TP:** Número de documentos, **Q:** Cuartil, **H:** H-Index.

8.5. Análisis de Co-ocurrencia de Palabras Claves

El análisis suministrado por el software VOSviewer muestra una red de co-ocurrencia de palabras clave relacionadas con la microbiología del suelo, la agricultura sostenible y el impacto ambiental, entre otros (**Figura 7**). Los clústeres representan las palabras clave, y los enlaces entre ellos indican la fuerza de co-ocurrencia entre esas palabras en la literatura analizada.

Los principales clústeres o agrupaciones temáticas se pueden identificar por los colores. Inicialmente, el clúster rojo, enfocado en la microbiología del suelo, abarca aspectos como los microorganismos del suelo, la aplicación de fertilizantes, la rizosfera, la genética, el carbono del suelo, la bioaccesibilidad del maíz y la rotación de cultivos. Este destaca la importancia de comprender la ecología microbiana del suelo, su interacción con los fertilizantes y su relevancia en la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono y la sostenibilidad agrícola. De la misma forma, el clúster verde aborda temas ambientales con las comunidades microbianas del suelo, su actividad, estructura y biodiversidad; mientras que el clúster azul se relaciona con la nanotecnología, el desarrollo sostenible, toxicidad, la biodegradación y la contaminación ambiental. Por otra parte, el clúster amarillo está vinculado a conceptos como microorganismos no humanos, biodiversidad, la estructura del suelo y su microbiología, eficiencia y degradación. Y finalmente, el clúster morado se centra en temas relacionados con el manejo de desechos, como los estiércoles, el biogás y la digestión anaeróbica.

Gracias al análisis se logró identificar los temas centrales y las conexiones entre ellos en este campo de investigación; el clúster rojo es el más relevante, ya que aborda aspectos fundamentales de la dinámica microbiana en el suelo y su interacción con los fertilizantes aplicados. De este modo, tenemos términos clave como *"soil microorganism"*, *"fertilizer application"*, *"rhizosphere"*, *"potassium"* y *"genetics"* que reflejan la importancia de esta área de investigación. En este sentido, es importante destacar que el clúster rojo se encuentra estrechamente vinculado con los demás clústeres, lo que nos muestra una red de interrelación entre temas como el crecimiento de plantas y las comunidades microbianas en el suelo, o la tasa de crecimiento y la producción de cultivos con los fertilizantes y el compostaje. Esta integración de conceptos clave subraya la naturaleza interdisciplinaria y la relevancia de este campo de investigación para abordar desafíos globales relacionados con la seguridad alimentaria, la fertilidad del suelo y la sostenibilidad ambiental.

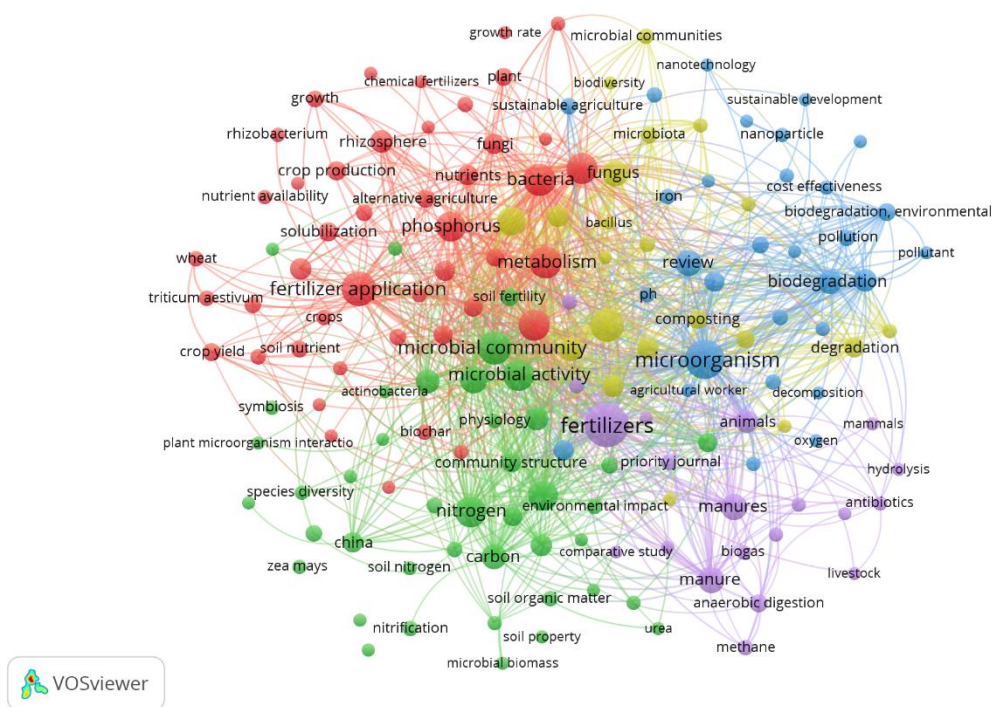


Figura 7. Mapa de co-ocurrencia de palabras claves relacionados con la temática (2013 - 2023).

8.6. Tendencias Actuales

En el **Anexo 3** se muestra los diez (10) artículos con mayor relevancia científica en la temática, en relación con el número de citaciones que poseen hasta el momento de esta investigación, el artículo con mayor número de citas a nivel global sobre la temática es Souza *et al.* (2015), el cual ofrece una perspectiva detallada sobre la importancia fundamental de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura, resaltando su capacidad para potenciar la eficiencia de los cultivos (colonizar las raíces de las plantas), disminuir los costos de producción y mitigar la contaminación ambiental (reducción del uso de fertilizantes químicos). Estas bacterias representan un enfoque sostenible y prometedor para mejorar el rendimiento de las plantas, siendo esenciales en la promoción de prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente. Por otra parte, se destaca la importancia de buscar bacterias beneficiosas para el desarrollo de inoculantes eficientes en la agricultura. Se enfatiza la necesidad de invertir en tecnologías que aumenten la eficiencia del inoculante y la tasa de supervivencia de las bacterias adheridas a las semillas. Se destaca que la introducción de bacterias beneficiosas en el suelo es menos agresiva y tiene menos impacto en el medio ambiente que la fertilización

química, lo que la convierte en una práctica agrícola sustentable y una forma de reducir los costos de producción.

Continuando, podemos hallar que Mus *et al.* (2016) definieron que el objetivo principal en la agricultura es reducir la necesidad de fertilizantes químicos nitrogenados mediante la creación de simbiosis o asociaciones artificiales entre diazótrofos y cultivos. Una mejor comprensión conducirá a una explotación más sostenible de la biodiversidad de los organismos fijadores de nitrógeno, así como a la transferencia de capacidades biológicas de fijación de nitrógeno a los principales cultivos no leguminosos. De igual importancia, observamos el escrito de Meena *et al.* (2014) analizaron el papel de los microorganismos solubilizadores de potasio (KSM) en el suministro de potasio de suelos agrícolas. Los autores llevaron a cabo investigaciones sobre la genética molecular de la absorción de potasio en bacterias y hongos, así como el efecto de KSM en el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Además, mostraron que la disolución del potasio mediante KSM estimula el crecimiento de las plantas y aumentar la absorción de potasio, lo que puede tener un impacto positivo en la productividad de las plantas. Finalmente, hicieron énfasis en que los KSM son necesarios para disolver el potasio insoluble en formas solubles para el crecimiento de las plantas, y se han identificado varios microorganismos de la rizosfera y cepas de hongos involucrados en este proceso. Se

En contraste y haciendo reseña a la materia orgánica del suelo podemos encontrar que la investigación Lin *et al.* (2019) examinaron los efectos de la aplicación de estiércol en un Ultisol de tierras altas a largo plazo en la materia orgánica del suelo, la formación de agregados y la estructura de las comunidades microbianas. Para esto, los autores utilizaron un diseño experimental que incluyó varios tamaños de agregados y tipos de fertilizantes orgánicos para analizar la estructura de las comunidades procariotas y fúngicas, la cual aplicaron estiércol durante 27 años. Con esto, los autores aumentaron significativamente la materia orgánica del suelo y la formación de agregados, con un impacto en la estructura de la comunidad microbiana y la presencia de taxones clave.

Por otro lado, Olanrewaju & Babalola (2019) destacaron la importancia de *Streptomyces* sp. en la agricultura y la salud pública, destacando su papel como agente de biocontrol, así como biofertilizante mediante la producción de metabolitos beneficiosos. Los autores, se centraron

en el estudio de metabolitos y expresión genética para identificar las funciones claves de estos microorganismos. Para lograr esto, seleccionaron *Streptomyces* sp. con capacidad de colonización de raíces y competencia microbiana para promover el crecimiento de las plantas. Bajo este enfoque mostraron que *Streptomyces* sp. producen metabolitos útiles que promueven el crecimiento de las plantas lo que contribuye a la agricultura.

De igual manera, el estudio de Zhen *et al.* (2014) inspeccionaron la diversidad de la comunidad microbiana del suelo y cómo esta se ve afectada por la aplicación de abono y fertilizantes bacterianos durante el cultivo de maíz en China. Para lo cual, los autores llevaron a cabo seis tratamientos diferentes, incluido abono, bacterias y combinaciones, en comparación con un control sin fertilizantes químicos. Estos obtuvieron que los fertilizantes químicos no alteraron negativamente las propiedades microbianas del suelo, pero lo que más resaltan es que el abono orgánico y especialmente en combinación con bacterias aumentó la tasa de respiración del suelo, la cantidad de microorganismos cultivables y la actividad enzimática del suelo. Por último, Meena *et al.* (2017) indagaron sobre los microorganismos beneficiosos que mejoran el uso de nutrientes en la agricultura. Emplearon técnicas para establecer las interacciones entre plantas y microorganismos solubilizadores de potasio para aumentar la disponibilidad de K^+ en los suelos. Los hallazgos indicaron que la combinación de inoculantes microbianos en suelos de baja fertilidad puede aumentar la productividad y la sostenibilidad agrícola.

Desde esta misma perspectiva, pero desde el contexto neotropical, encontramos el estudio de Kaschuk *et al.* (2016) el cual hace referencia a la eficacia que tiene la inoculación de *Bradyrhizobium* sp. sobre los cultivos de soja, en tres eco-regiones de Brasil a través de varios experimentos, estos ensayos demostraron que ni la aplicación de N basal ni la de cobertura mejoraron los rendimientos de algunas especies y cultivos de soja, lo que implica que la inoculación de *Bradyrhizobium* fue suficiente para proporcionar todo el N que las plantas de soja necesitan. No obstante, es importante señalar que los hallazgos no son uniformes en todos los lugares del planeta, por ejemplo, en los Estados Unidos la inoculación de esta bacteria no fue tan efectiva como lo fue en el país neotropical.

Asimismo, Nascimento *et al.* (2021) examinaron la capacidad del hongo (*Aspergillus niger*) para absorber el fósforo en suelos degradados. Los autores emplearon un Oxisol de Brasil y

evaluaron varios tratamientos con ácidos orgánicos demostrando que *A. niger* absorbió un alto porcentaje del fósforo del suelo en un día de incubación con ácido gluónico; siendo el más efectivo en la absorción del fósforo. A su vez, Hata et al. (2021) evaluaron los efectos de diferentes fuentes de fertilización orgánica en tomate (*Solanum lycopersicum* L), incluyendo Bocashi, *boiled manure* (BM) y *Penergetic*, en variables agronómicas como el tamaño, rendimiento de fruto, sólidos solubles totales así como en el impacto del oídio foliar. Para esto, los autores realizaron cultivos protegidos durante dos ciclos, después de relajar la técnica establecida se evidencio que Bocashi y BM al 10% mejoraron la producción de frutas en el segundo ciclo, mientras que el tratamiento con BM aumentó la severidad del oídio al 10%, mientras que el *Penergetic* demostró aumentar la producción de frutas en ambos ciclos, resaltando la importancia de seleccionar cuidadosamente los fertilizantes orgánicos para optimizar la producción y minimizar los riesgos de enfermedades en los cultivos de tomate.

De la misma manera el estudio de Martins *et al.* (2023) inspeccionaron cómo la descomposición del glifosato en la actividad enzimática de los suelos. La técnica empleada consistió en analizar la diversidad microbiana, mineralización del glifosato y actividades enzimáticas en un entorno experimental a largo plazo, con lo cual demostraron que los sistemas de laboreo conservacionistas degradaron mejor el glifosato que los sistemas de laboreo convencionales, resaltando la importancia de la gestión del suelo.

Por otra parte, desde México, Moreno-Ramírez, *et al.* (2015) detallaron un método de aislamiento de microorganismos solubilizadores de fosfato en *Prosopis grandulosa* Torr. “mezquite” en el valle de Mexicali empleando un análisis filogenético de los genes de ARNr 16S con el fin de identificar cuatro cepas con capacidad de acidificación, solubilización de fósforo, tolerancia a la salinidad y producción de fitohormonas. Con esto, los autores revelaron que la cepa ICA01 fue la más eficiente en la solubilización de fosfato, seguida por la cepa ICA02Ba e ICA03Bs, mientras que la cepa ICA04Ma mostró una actividad de baja actividad en la solubilización de fosfato.

Velázquez-Herrera *et al.* (2022) establecieron una metodología para la estructuración de nano compuesto LDH/SBA-15 con *Streptomyces* sp. como bacteria fijadora de nitrógeno para emplearlo como biofertilizante en un cultivo de lechuga. Los resultados obtenidos por los autores, demostraron que el bionanocompuesto, demostró ser altamente efectivo, ya que las

plantas de lechuga alcanzaron una longitud de 36 mm en solo 14 días, mientras que los materiales individuales LDH y SBA-15, combinadas o sin combinarlas con microorganismos, mostraron poca actividad. La alta efectividad del nuevo bionanocompuesto se atribuyó a la dispersión del LDH sobre la superficie de SBA-15, lo que provoca interacciones débiles entre los microorganismos y los materiales inorgánicos, y a la contribución del LDH a la nutrición de las bacterias.

De la misma forma, Hurtado *et al.* (2019) analizaron los efectos del uso combinado de (*Rhizobium leguminosarum*) y microorganismos efectivos en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). Los autores emplearon un diseño experimental en bloques al azar con diferentes tratamientos de inoculación y aplicación de microorganismos eficientes. A partir de esto, las demostraron un aumento significativo en el rendimiento del grano, así como en parámetros morfológicos y componentes del rendimiento. Por otro parte, Campo-Martínez *et al.* (2014) evaluaron microorganismos de montaña (MM) y comerciales (EM•1®) en la producción de acelga (*Beta vulgaris var. cicla*). Emplearon un diseño experimental de parcelas divididas, y en cada parcela se realizaron tres bloques con cinco tratamientos, con ello, demostraron que los MM mejoraron la altura, el diámetro y el control de plagas, así como la calidad del suelo en relación al aumento del pH, nitrógeno y materia orgánica en comparación con EM•1®.

Calero Hurtado *et al.* (2019) examinaron el impacto de la aplicación de microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado en la producción de pepino (*Cucumis sativus L.*). Los autores, realizaron ensayos con 500 plantas de pepino bajo condiciones controladas en las cuales se analizaron variables como el número de hojas, flores femeninas y frutos por planta, la longitud de los frutos (cm), la masa de los frutos (g) y el rendimiento (kg/m²). Los resultados mostraron que la aplicación de microorganismos eficientes a 100 ml/L, así como su combinación con el lixiviado de vermicompost a 100 ml/L, se destacan como una alternativa viable para mejorar la productividad del cultivo, puesto que aumentó el número de hojas, flores femeninas, frutos, masa y longitud de los frutos, aumentando el rendimiento en un 42% en comparación con el tratamiento de control.

Asimismo, Calero Hurtado (2020) evaluaron la aplicación de lixiviado de vermicompost (VL) y microorganismos eficientes (ME) en la respuesta del cultivo de habichuela (*Phaseolus*

vulgaris L.). Los autores emplearon bloques al azar, en un esquema factorial 2x2, evaluando la ausencia y presencia (100 ml/L) de dos bioproductos; estos determinaron la altura de la planta y el promedio de hojas por planta a los 35 días de aplicación y a los 42 días posteriores evaluaron el número, longitud y masa de los frutos, así como el rendimiento. Los resultados demostraron que la aplicación de microorganismos eficientes fue más beneficiosa que el vermicompost lixiviado, mejorando significativamente los parámetros morfoproductivos y aumentando el rendimiento de la habichuela.

Por otro lado, en Colombia, el uso de ME en la agricultura en su mayoría se aplican en cultivos de maíz, legumbres, uchuvas, frijol, tomate y lechuga. Es así, que el uso de microorganismos como *Bacillus* sp, *Aspergillus* sp, *Trichoderma* sp juegan un papel fundamental puesto que promueven el crecimiento vegetal y ayudando a la degradación de nutrientes esenciales en el rendimiento de los mismos. Cabe resaltar que el género *Trichoderma* que tiene la capacidad de secretar una serie de compuestos con propiedades hormonales además de diversos ácidos orgánicos que reducen el pH del suelo. Igualmente, tienen la capacidad de disolver fosfatos y otros nutrientes (Companioni et al., 2019).

Un ejemplo de estas aplicaciones, es el trabajo de Ceballos *et al.* (2013) , quienes emplearon hongos micorrízicos arbusculares (HMA), específicamente, *Rhizophagus irregularis* en el mejoramiento del rendimiento de dos variables de yuca (MCOL2737 y COL2215) en dos zonas de Colombia (Casanare y Boyacá). Los autores emplearon dos parcelas de cultivos en cada zona aplicando 6 combinaciones de tratamientos (dos micorrízicos, inoculados con HMA (+ HMA) o no inoculados (– HMA), y 3 de fosfato; sin fertilización fosfatada (0 P), fertilización fosfatada al 50% (50% P) y fertilización fosfatada al 100% (100% P)). Los resultados mostraron que hubo un efecto significativo en el rendimiento de las plantas con inoculación, pero de forma diferente. En el primer sitio (Yopal) mostró un aumento en el rendimiento sin importar la fertilización con fosfato en comparación con el segundo sitio donde la inoculación con HMA y 50% del fosfato normalmente aplicado dio el rendimiento más alto.

Beltrán Pineda (2014) aisló 43 cepas de hongos con capacidad de solubilización de fosfatos a partir de la rizósfera de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en el páramo de Rabanal (Ventaquemada-Boyacá,). El autor realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa de dicha

capacidad, en la cual identificó dos cepas con potencial para ser usadas como biofertilizantes, pertenecientes a los géneros *Scopulariopsis* sp. y *Penicillium* sp. Estas cepas podrían servir como base para el desarrollo de biofertilizantes, los cuales, al ser aplicados en los suelos, representan una alternativa sostenible que contribuye a reducir la contaminación en los páramos.

Por otra parte, Tamayo-Velez & Osorio (2017) evaluaron los efectos individuales y de dos combinaciones (10^6 y 10^8 UFC·mL⁻¹) del hongo solubilizador de fosfato *Mortierella* sp. y el hongo micorrízico arbuscular *Rhizoglyphus fasciculatum* en el crecimiento y absorción de fosfato en plántulas de aguacate (*Persea americana* cv. 'Hass') en vivero. Los tratamientos mostraron que la coinoculación aumentó significativamente la altura, masa seca y fosfato absorbido, aunque hubo competencia entre hongos por el espacio radicular.

Barrera-Violeth *et al.* (2017) analizaron la aplicación de ME (bacterias, levaduras, actinomicetos y hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium*) en variables como el rendimiento de grano y crecimiento del cultivo de maíz híbrido 4028 bajo condiciones climáticas del Valle del Sinú Medio (temperatura promedio anual de 28°C, humedad relativa media anual del 83% y 1200 mm anuales de precipitación). Los autores aplicaron siete tratamientos diferentes desde el testigo, bocashi con ME, abonado con volteos semanales sin ME, abonado con volteos semanales con ME, abonado con volteos quincenales sin ME, abonado con volteos quincenales con ME y un testigo relativo (abonado con NPK). Los resultados demostraron que la fertilización con Bocashi (6.40 t/ha) no obtuvo diferencias significativas a la fertilización química (6.86 t/ha) en relación a las variables fisiológicas analizadas. Además, los resultados indican que el Bocashi y compost con volteos semanales o quincenales e inoculados con ME nativos de la zona son una opción sostenible para el manejo de los suelos y rendimientos de los cultivos del Valle del Sinú Medio.

Calero Hurtado *et al.* (2019), evaluaron microorganismos eficientes (EM-50: *Bacillus subtilis* nato B/23-45-10, *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12) en cultivos de frijoles (Velazco Largo (VL) y Cuba Cueto (CC-25-9-N)) bajo diferentes factores y tratamientos; analizando el número de hojas por planta, altura de las plantas, número de vainas por planta, número de semillas por vaina, masa de 100 semillas (g) y el rendimiento (t/ha). Los resultados demostraron que la aplicación de los microorganismos

eficientes en la inoculación al suelo con aplicaciones foliares obtuvo mejores rendimientos (1,13 t/ha en VL y 2,15 t/ha en CC-25-9-N) en comparación con las demás aplicaciones.

En los países neotropicales, en especial Colombia, la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) se ha convertido en uno de los cultivos predominantes pero que demanda suelos con alta tasa de nutrientes. Es por ello, que Acevedo *et al.* (2014) identificaron, analizaron y emplearon microorganismos solubilizadores de fósforo en el suelo con la finalidad de ser empleados como biofertilizantes para mejorar las condiciones de los suelos. Los resultados indicaron presencia de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Klebsiella*, *Burkholderia* y *Staphylococcus* bajo la comparación con las secuencias de rDNA 16S e ITS, al igual presentaron una solubilización entre 20 y 82% de fósforo, así como indicaron que los mejores aislamientos identificados fueron *Aspergillus niger* y *Penicillium pinophilum*.

Finalmente, los estudios demuestran que la agricultura colombiana ha sido influenciada por la inoculación con microorganismos eficientes, como hongos solubilizadores de fósforo, micorrizas y bacterias, los cuales mejoran significativamente el rendimiento y la absorción de nutrientes en diversos cultivos neotropicales. Por lo que, estos biofertilizantes representan una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos del mercado, optimizando el manejo del suelo y promoviendo un crecimiento saludable en condiciones agrícolas.

8.6.1. Análisis de diagramas estratégicos

El análisis de la **Figura 8** nos muestra un diagrama de flujo que representa la dinámica de las palabras clave a lo largo del tiempo (Santana, 2020), donde cada círculo en el diagrama incorpora un conjunto de palabras clave para un periodo específico; en este caso, tenemos tres (3) periodos organizados de la siguiente manera: (2013 - 2016), (2017 - 2020) y (2021 – 2023) el número dentro de cada círculo indica la cantidad total de palabras clave consideradas en ese momento; las flechas que salen de un círculo indican las palabras clave que no pasan al siguiente periodo, mientras que las flechas que entran a un círculo representan las nuevas palabras clave que se agregan y las flechas que conectan un círculo con otro muestran las palabras clave compartidas entre esos periodos; además, cada flecha tiene un número que señala cuántas palabras clave representa (Moreno Guerrero et al., 2020).

El primer círculo muestra que en el primer período (2013 - 2016) se consideraron 65 palabras clave, de las cuales 21 no se mantuvieron en el siguiente período, como indica la flecha saliente. En el segundo período (2017 - 2020), representado por el círculo intermedio, se añadieron 58 nuevas palabras clave, como apunta la flecha entrante; además, 44 palabras clave del primer período continuaron presentes, lo que sugiere una superposición temática del 68 % entre ambos períodos.

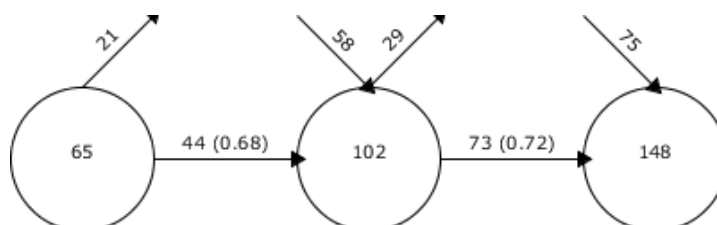


Figura 8. Diagrama de número de palabras clave.

Este segundo círculo tiene un total de 102 palabras clave, lo que implica que ingresaron 58 nuevas y se sumaron 44 palabras compartidas del periodo anterior, podrían haberse sumado algunas palabras clave adicionales. Por otro lado, en el tercer período (2021 - 2023), vemos que 29 palabras clave del segundo período no se mantuvieron, según indica la flecha saliente; sin embargo, 73 palabras clave se compartieron entre el segundo y el tercer período, lo que marca una continuidad temática del 72 %. En el tercer período se agregaron 75 nuevas palabras clave, según la flecha entrante al último círculo, sumando un total de 148 palabras clave. Finalmente, en este diagrama es útil para analizar la evolución gradual de las palabras clave, destacando tanto la incorporación de nuevos temas como la persistencia de algunos temas relevantes a lo largo del tiempo, además de ofrecer datos cuantitativos sobre cómo han coincidido temáticamente los distintos períodos.

Desde una perspectiva general, el **Anexo 4** nos permite representar la evolución de los temas a lo largo del tiempo. Podemos identificar cuáles persisten, cuáles desaparecen, cuáles se fusionan y cuáles emergen como nuevos temas en cada período. Las conexiones entre los grupos nos brindan información sobre la relación y superposición temática entre los diferentes clústeres. Esta representación visual es útil para analizar tendencias, patrones y cambios, por lo que nos ayuda a identificar temas importantes, su relevancia y cómo se relacionan entre sí en diferentes periodos de tiempo (Cobo et al., 2012).

Analizando la imagen con más detalle se pudo identificar los temas específicos y sus evoluciones, en la primera columna, se observan un grupo variado de clúster, lo que sugiere la existencia de diferentes ejes temáticos, entre ellos resalta *Seed* (semillas), que es el clúster con mayor tamaño, lo que implica que fue el tema más concurrido en el periodo (2013 - 2016). Al avanzar a la segunda columna, correspondiente al periodo (2017 - 2020), notamos el clúster de mayor tamaño de todo el diagrama de vista longitudinal. Pero también se puede apreciar la dinámica de los temas y como están interconectados inclusive con temáticas que en un primer plano no tienen nada en común, indicando que esos temas se han consolidado o integrado. También surgen nuevos grupos de clúster pequeños en el segundo periodo, representando temas completamente nuevos que no estaban presentes en el primer período. En la tercera columna correspondiente al periodo (2021 - 2023), clústeres centrales del período anterior, como animales y fertilizantes de fosfato se ha dividido en varios clústeres más pequeños. Esto significa que un tema amplio se ha fragmentado o diversificado en subtemas más específicos.

De manera más específica y puntual, este diagrama ilustra una compleja red de conceptos interrelacionados en el ámbito de la agricultura, la ecología y la gestión de nutrientes. En el centro de esta red se encuentran los cultivos, las semillas y los fertilizantes, formando el núcleo de las prácticas agrícolas, asimismo los cultivos están estrechamente vinculados con la estructura de la comunidad y el ecosistema, lo que sugiere un profundo impacto en la biodiversidad local, por otra parte, las semillas se conectan fuertemente con los procesos de cultivo y fertilización, subrayando su papel fundamental en el ciclo agrícola.

Los nutrientes emergen como otro elemento central, conectándose con múltiples aspectos del sistema, teniendo notoria relación con los cultivos, fertilizantes y enmiendas orgánicas resalta su importancia en la fertilidad del suelo, de la misma forma, la presencia de conceptos como "limitación de nutrientes" y las conexiones específicas con el fósforo y los fosfatos indican la complejidad del manejo nutricional en la agricultura, lo que enfatiza como los nutrientes se extienden a la eficiencia de su uso, un concepto que se vincula con diversas prácticas agrícolas sostenibles.

El diagrama también pone de manifiesto varias preocupaciones ambientales, una de ellas es como la presencia de metales pesados y su conexión con el suelo y los cultivos señalan posibles problemas de contaminación, enlazándose así con los mecanismos de degradación, los cuales se encuentran vinculados a compuestos orgánicos y nanopartículas, sugieren procesos complejos de procesamiento y potencial contaminación ambiental. De la misma forma la inclusión del ecosistema y su relación con la estructura de la comunidad y los cultivos subrayan la estrecha interconexión entre las prácticas agrícolas y la salud ambiental. Mejor dicho, las prácticas agrícolas sostenibles ocupan un lugar destacado en este esquema. Conceptos como enmiendas orgánicas, biofertilizantes y cultivos de cobertura se presentan como alternativas o complementos a los métodos agrícolas convencionales, destacando que estas prácticas se conectan con la eficiencia en el uso de nutrientes y la mejora de la estructura de la comunidad biológica, indicando un enfoque más holístico y ecológico de la agricultura.

La microbiota se vincula con los nutrientes, las enmiendas orgánicas y las interacciones planta-microorganismo, destacando el papel vital de los microorganismos en la salud del suelo y el crecimiento de las plantas, conexiones que sugieren una comprensión cada vez mayor de la importancia del microbioma del suelo en la agricultura sostenible. De la misma manera, la gestión de residuos también se integra en este esquema, con referencias a residuos agrícolas y alimentarios, teniendo una conexión con biofertilizantes y enmiendas orgánicas, la cual indica un enfoque circular en la agricultura, donde los desechos se reincorporan al sistema como recursos valiosos.

No menos importante, la inclusión de términos bioquímicos específicos como celulosa e hidrocarburos aromáticos subraya la complejidad química de estos sistemas agrícolas y ecológicos. Estas moléculas desempeñan papeles importantes en la estructura de las plantas y en los procesos de degradación en el suelo. En conjunto, este diagrama presenta una visión integral de la agricultura moderna, donde las prácticas agrícolas, la salud del ecosistema, los ciclos de nutrientes y la sostenibilidad están intrincadamente entrelazados, lo cual resalta la necesidad de un enfoque holístico en la agricultura y la gestión ambiental, donde cada decisión puede tener repercusiones de amplio alcance en múltiples aspectos del sistema.

Para el análisis de las interrelaciones y la importancia de diversos temas en el contexto de los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivos de países neotropicales para el periodo 2013-2016., observamos en la **Figura 9a**, el diagrama estratégico distribuye los temas en cuatro cuadrantes significativos, en los cuales el cuadrante superior derecho representa los temas motores o principales, en este encontramos "*Heavy-Metal*", "*Aromatic-Hydrocarbon*" y "*Seed*" aparecen como temas centrales. Esto sugiere una fuerte relación entre los biofertilizantes y su papel en la gestión de metales pesados y compuestos aromáticos en suelos agrícolas. Según Oves *et al.* (2016), ciertos microorganismos en biofertilizantes pueden ayudar en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

La presencia de "*Seed*" indica la importancia de la aplicación de biofertilizantes en las semillas, esto lo demostraron Ruiz-Ramírez *et al.* (2021) que la inoculación de semillas con biofertilizantes mejora significativamente la germinación y el crecimiento temprano en cultivos neotropicales. Asimismo, en el cuadrante superior izquierdo, que indica temas especializados o periféricos, se observa "*Fertilization*", el cual presenta un enfoque más específico en las técnicas de fertilización utilizando biofertilizantes; donde Masso *et al.* (2015) argumentan que las estrategias de biofertilización deben adaptarse específicamente a las condiciones agroecológicas de las regiones neotropicales para maximizar su eficacia.

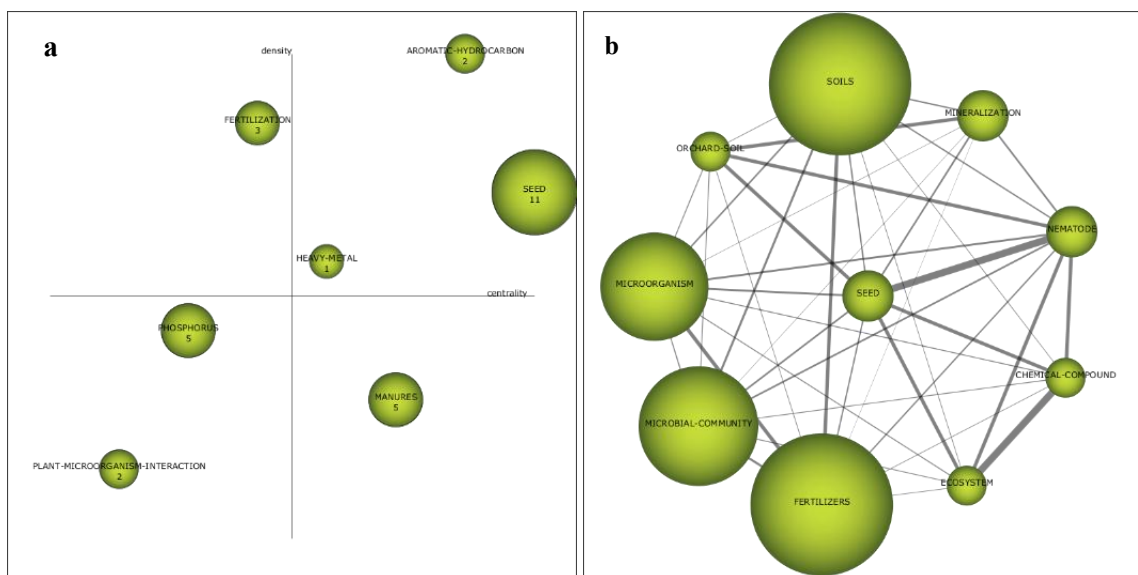


Figura 9. A) Diagrama estratégico 2013-2016, B) Red temática 2013-2016

De igual manera, el cuadrante inferior derecho, que representa temas básicos y transversales, incluye "*Manures*"; esto enfoca la importancia fundamental del estiércol en la composición y eficacia de los biofertilizantes. Autores como Bernal *et al.* (2017) destacan cómo la combinación de estiércol y microorganismos eficientes en biofertilizantes puede mejorar significativamente la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes en sistemas agrícolas tropicales. Finalmente, en el cuadrante inferior izquierdo, que muestra temas emergentes o en declive, encontramos "*Phosphorus*" y "*Plant-Microorganism-Interaction*" aparecen aquí. Aunque fundamentales, su posición sugiere que estos temas pueden estar evolucionando en su enfoque dentro de la investigación sobre biofertilizantes, donde Mendes *et al.* (2014) en su estudio enfatizaron la importancia de comprender mejor las interacciones planta-microorganismo para desarrollar biofertilizantes más eficientes, especialmente en la solubilización de fósforo en suelos tropicales.

Por otro lado, en la **Figura 9b**, la red temática muestra "*Seed*" como nodo central, lo cual es una corrección importante. Esto resalta la crucial importancia de las semillas en el contexto de los biofertilizantes. La centralidad de "*Seed*" sugiere que gran parte de la investigación y aplicación de biofertilizantes se enfoca en su interacción con las semillas y los primeros estadios de crecimiento de las plantas, lo que indica que la conexión entre "*Seed*" y otros nodos como "*Soils*", "*Microorganism*", y "*Fertilizers*" ilustra la interdependencia de estos elementos en la eficacia de los biofertilizantes. Autores como Chauhan *et al.* (2022) demuestran cómo la inoculación de semillas con microorganismos beneficiosos puede mejorar significativamente la germinación, el establecimiento de plántulas y la resistencia a patógenos en cultivos tropicales. De igual manera, la presencia de nodos como "*Organic Carbon*" y "*Nitrogen*" en relación con "*Seed*" subraya la importancia de estos elementos en la nutrición temprana de las plantas. Además, Oliveira *et al.* (2016) muestran que los biofertilizantes aplicados a las semillas pueden mejorar la fijación de nitrógeno y la movilización de carbono orgánico, beneficiando el crecimiento inicial de los cultivos en suelos neotropicales. Asimismo, el nodo "*Microbial Community*" conectado con "*Seed*" resalta la importancia de la diversidad microbiana en la rizosfera desde las etapas tempranas del crecimiento de las plantas; esto lo demuestran Santhoshinii *et al.* (2018) quienes enfatizan la diversidad de la comunidad microbiana está asociada a las semillas las cuales puede influir

en el desarrollo de la planta, así como su resistencia a estrés biótico y abiótico en ecosistemas tropicales.

Con los diagramas estratégicos para el período 2017-2020 de la temática, observamos que, en la **Figura 10a**, el diagrama estratégico distribuye los temas en cuatro cuadrantes significativos, en los cuales el cuadrante superior derecho (temas motores): Este cuadrante contiene los temas centrales y más desarrollados, tales como "*Antibiotics-Resistance*", "*Crops*", "*Community-Structure*", "*Phosphate-Fertilizer*", "*Nutrients*", y "*Animals*" aparecen como temas motores. La presencia de "*Antibiotics-Resistance*" sugiere una creciente preocupación por el impacto de los biofertilizantes en la resistencia a los antibióticos en el suelo, de lo cual, Cycoń *et al.* (2019) discuten el uso de biofertilizantes y su influencia en la dinámica de los genes de resistencia a antibióticos en ecosistemas agrícolas. Las palabras como "*Crops*" y "*Nutrients*" destacan la importancia central de los cultivos y la nutrición en la investigación sobre biofertilizantes; Raimi *et al.* (2017) enfatizan cómo los biofertilizantes mejoran la absorción de nutrientes en cultivos tropicales, aumentando su rendimiento y resistencia a estrés.

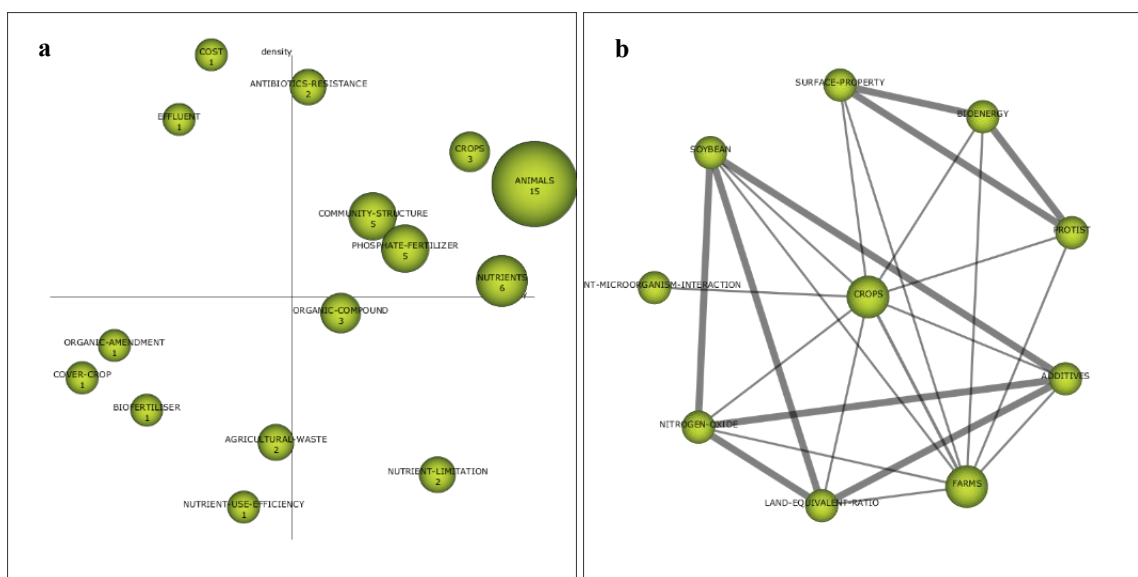


Figura 10. A) Diagrama estratégico 2017-2020, B) Red temática 2017-2020

Es así, que los temas especializados como "*Cost*" y "*Effluent*" aparecen como temas especializados, lo que sugiere un enfoque en la eficiencia económica y el manejo de efluentes en la aplicación de biofertilizantes. Bajo esta perspectiva, Timmusk *et al.* (2017) discutieron

la importancia de desarrollar biofertilizantes rentables para pequeños agricultores en países en desarrollo, abordando tanto los costos como el manejo de residuos.

Por otro lado, en los temas básicos y transversales como "*Nutrients-Limitation*" y "*Organic-Compound*" se presentan como temas fundamentales; reflejando la importancia de comprender las limitaciones nutricionales y el papel de los compuestos orgánicos en la eficacia de los biofertilizantes. Autores como Bargaz *et al.* (2018) exploraron las ventajas de los biofertilizantes en la superación de las barreras nutricionales que posee los suelos tropicales mediante la movilización de compuestos orgánicos.

De igual forma, "*Organic-Amendment*", "*Cover-Crop*", "*Biofertiliser*", "*Nutrient-Use-Efficiency*", y "*Agricultural-Waste*" aparecen como temas emergentes; lo que sugiere un creciente interés en integrar biofertilizantes con otras prácticas agrícolas sostenibles. Scotti *et al.* (2015) discutieron la combinación de biofertilizantes con enmiendas orgánicas y cultivos de cobertura para mejorar la salud del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes en agroecosistemas tropicales.

El análisis de esta red temática **Figura 10b** presentada por el software SciMAT, nos muestra como el nodo central y de mayor tamaño es "*Crops*" (cultivos), lo que sugiere que este tema es el dominante y más relevante dentro de esta área de investigación, ya que los biofertilizantes y microorganismos eficientes buscan mejorar la productividad y el rendimiento de los cultivos agrícolas; alrededor de este nodo principal, encontramos otros temas estrechamente vinculados a través de conexiones gruesas, indicando su importancia y estrecha relación. Entre ellos se destacan "*Surface Property*" (propiedades de superficie), "*Energy*" (energía), "*Soybean*" (soya), "*Nt-Microorganism-Interaction*" (interacción microorganismo-planta), "*Nitrogen*" (nitrógeno), "*Biotic*" (biótico), "*Additives*" (aditivos), "*Farms*" (granjas) y "*Land-Equiv-Ratio*" (ratio equivalente de tierra).

Las conexiones entre "*Crops*", "*Nitrogen*", "*Nt-Microorganism-Interaction*", y "*Biotic*" subrayan la integridad de las interacciones en el sistema suelo-planta-microorganismo. De igual modo "*Surface Property*" y "*Energy*" podrían referirse a las características físicas del suelo y los procesos energéticos involucrados en la actividad microbiana. Autores como Jacob *et al.* (2017) exploraron las propiedades de superficie del suelo en relación a la

infestación de la colonización microbiana y la eficacia de los biofertilizantes. Asimismo, la temática "*Soybean*" aparece como un cultivo específico, probablemente debido a su importancia en la fijación de nitrógeno; donde Hungria *et al.* (2015) demostraron que los beneficios de los biofertilizantes en el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo de soja en regiones tropicales. Las temáticas "*Additives*" y "*Farms*" podrían indicar la aplicación práctica de los biofertilizantes en sistemas agrícolas, en este caso, Parnell *et al.* (2016) discutieron el papel de los aditivos en la mejora de la eficacia y la estabilidad de los biofertilizantes en condiciones de campo. Y finalmente, "*Land-Equiv-Ratio*" podría proporcionar un enfoque en la eficiencia del uso de la tierra, crucial en la agricultura sostenible.

En la **Figura 11a**, el diagrama estratégico distribuye los temas en cuatro cuadrantes significativos, en los cuales el cuadrante superior derecho (temas motores): En este cuadrante se encuentran los temas más relevantes y desarrollados. "*Biofertilizer*" destaca como uno de los principales, junto con "*Celulose*", "*Ecosystem*", "*Bioenergy*", y "*Degradation-Mechanism*". La prominencia de "*Biofertilizer*" subraya su papel central en la investigación actual. Malusá y Vassilev (2014) destacan la importancia de los biofertilizantes en la agricultura sostenible, mejorando la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo. La presencia de "*Celulose*" y "*Degradation-Mechanism*" sugiere un enfoque en la descomposición de materia orgánica, crucial para la liberación de nutrientes. Bhardwaj *et al.* (2014) demostraron que los microorganismos pueden mejorar la degradación de celulosa, aumentando la fertilidad del suelo. Asimismo, el tema "*Heavy-Metal*", que abre tanto el cuadrante superior como el derecho inferior, indica una creación previa por la contaminación del suelo y el papel de los biofertilizantes en la biorremediación. Ullah *et al.* (2015) exploraron ciertos microorganismos en biofertilizantes pueden ayudar en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

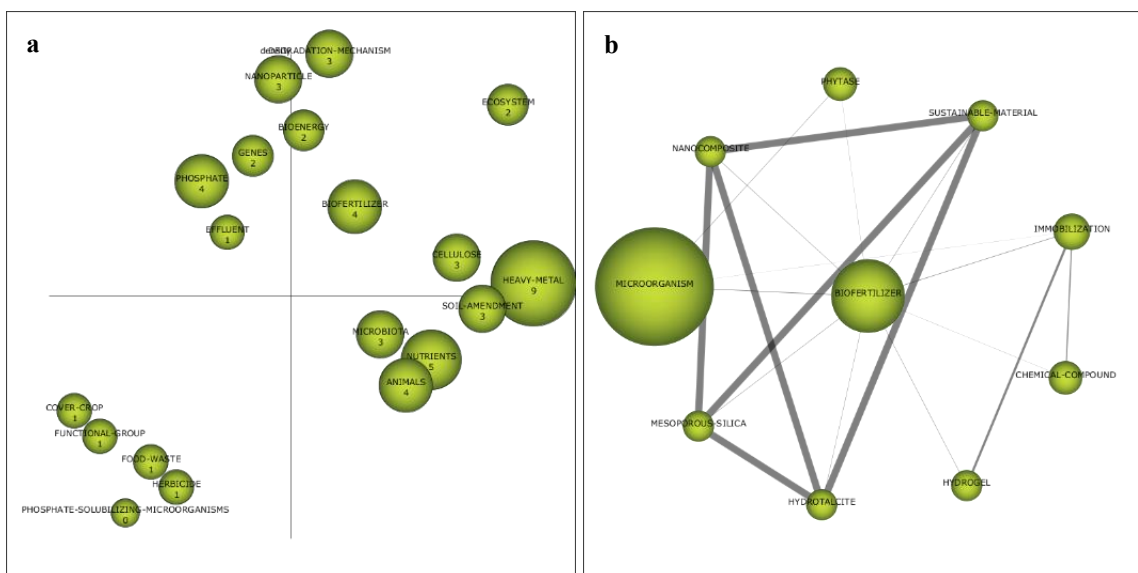


Figura 11. A) Diagrama estratégico 2021-2023, B) Red temática 2021-2023

Los temas especializados incluyeron "*Effluent*", "*Genes*", "*Phosphate*", y "*Nanoparticle*", siendo relevantes para el desarrollo y aplicación de biofertilizantes avanzados. La presencia de "*Nanoparticle*" sugiere una tendencia hacia la nanotecnología en biofertilizantes, en relación a esto, Drobek *et al.* (2019) discutieron el potencial de las nanopartículas para mejorar la eficacia de los biofertilizantes, aumentando su absorción y liberación controlada de nutrientes.

Por otra parte, palabras claves como "*Nutrients*", "*Animals*", "*Microbiota*", y "*Soil-Amendment*", son temas fundamentales para entender la diversión de los biofertilizantes en el ecosistema del suelo, además, la presencia de "*Microbiota*" resalta la importación de la comunidad microbiana del suelo. Es por ende que, Mendes *et al.* (2014) enfatizaron en cómo la microbiota del suelo influye en la salud de las plantas y la eficacia de los biofertilizantes.

En los temas emergentes se encontraron palabras claves como "*Phosphate-Solubilizing-Microorganisms*", "*Herbicide*", "*Cover-Crop*", "*Food-Waste*", y "*Functional-Group*"; los cuales sugieren direcciones futuras en la investigación de biofertilizantes. El interés en "*Phosphate-Solubilizing-Microorganisms*" indica un enfoque en mejorar la disponibilidad de fósforo, por lo que Alori *et al.* (2017) discutieron el potencial de estos microorganismos para aumentar la eficiencia del uso de fósforo en la agricultura sostenible.

En la **Figura 11b**, la red temática muestra "*Biofertilizer*" como el nodo central, conectado con "*Microorganism*", "*Nanocomposite*", "*Hidrogel*", "*Hidrotalcita*", "*fitasa*", "químico-compuesto", "mesoporoso-sílice", y "material sostenible". Esta roja refleja las tendencias actuales en la investigación de biofertilizantes. La conexión entre "*Biofertilizer*" y "*Microorganism*" es fundamental, reflejando la base biológica de estos productos, así mismo, la presencia de Nanocompuesto e Hidrogel sugiere avances en la formulación de biofertilizantes (Vessey, 2003).

En relación con los hidrogeles, Karipçin (2023) los emplea como componentes químicos en el cultivo de perejil con la finalidad de superar las brechas de la escasez de agua durante su desarrollo, los cuales pueden ser usados a gran escala dentro de los cultivos mejorándola optimización del riego dando rendimiento agrícola bajo estrés por déficit hídrico; de igual manera, la relación entre "*Hidrotalcita*" y "*mesoporoso-sílice*" indican un interés en materiales avanzados como portadores de microorganismos o nutrientes. Autores como Bernardo *et al.* (2018) discutieron el uso de hidrotalcitas como vehículos para la liberación controlada de nutrientes en biofertilizantes. De igual manera, la conexión con "*phytase*" y "*immobilization*" sugiere un enfoque en mejorar la disponibilidad de fósforo. Dado a esto, Menezes-Blackburn *et al.* (2018) exploraron cómo la inmersión de fitasas puede aumentar la eficiencia de los biofertilizantes en la solubilización de fósforo, y no menos importante, el tema "*sustainable-material*" que refleja la creencia en la sostenibilidad en el desarrollo de biofertilizantes; donde Bhardwaj *et al.* (2014) indicaron la necesidad de materiales sostenibles en la producción de biofertilizantes para minimizar el impacto ambiental.

Finalmente, las tendencias en los estudios muestran una clara estructuración temática que resalta las áreas clave de investigación en biofertilizantes, destacando elementos cruciales como la gestión de metales pesados y la interacción con las semillas, mostrando una relación directa con la eficiencia en la biorremediación y el mejoramiento del crecimiento vegetal en suelos tropicales. De igual forma, se observa un enfoque en la especialización de las técnicas de fertilización adaptadas a las condiciones agroecológicas. Además, subrayan la relevancia de elementos como el estiércol y su sinergia con los microorganismos, mientras que las tendencias futuras apuntan hacia la nanotecnología y la solubilización de fósforo.

9. CONCLUSIONES

La investigación de los beneficios de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas de cultivos neotropicales ha experimentado una evolución significativa entre 2013 y 2023; donde se caracteriza por tres aspectos principales: el crecimiento y enfoque de la investigación, la integración de tecnologías avanzadas, y la evolución de los temas de investigación.

En primer lugar, la investigación en este campo ha experimentado un aumento considerable en los últimos años, con un énfasis creciente en la sostenibilidad y la eficiencia agrícola. Los estudios destacan la importancia de microorganismos beneficiosos como *Bacillus spp*, *Aspergillus sp.* y *Trichoderma sp.* en la promoción del crecimiento vegetal, la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfatos. Estos microorganismos han demostrado ser particularmente efectivos en cultivos fundamentales para la seguridad alimentaria en la región neotropical, como maíz, legumbres, tomates y hortalizas. En segundo lugar, se observa una tendencia hacia la incorporación de tecnologías avanzadas en el desarrollo de biofertilizantes. El uso de nanocompuestos, hidrogeles y materiales mesoporosos como vehículos para microorganismos y nutrientes está ganando atención, lo que promete mejorar la eficacia y la liberación controlada de estos productos. Además, la investigación se está enfocando cada vez más en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados, utilizando microorganismos específicos en los biofertilizantes.

En tercer lugar, el análisis bibliométrico revela una evolución en los temas de investigación a lo largo del tiempo. En los primeros años, el foco estaba en las semillas y los fertilizantes básicos. Sin embargo, en períodos más recientes, se ha ampliado para incluir temas como la resistencia a los antibióticos, la estructura de la comunidad microbiana y la eficiencia en el uso de nutrientes. Esta evolución refleja una comprensión más profunda y holística de los ecosistemas agrícolas y el papel de los microorganismos en ellos. Finalmente, el campo de los biofertilizantes potenciados con microorganismos eficientes en zonas neotropicales está en constante evolución, con un enfoque creciente en soluciones sostenibles y adaptadas a las condiciones locales.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar la interacción entre distintos tipos de fertilizantes orgánicos y la microbiota del suelo, considerando factores como la diversidad de agregados del suelo y la duración de los experimentos para optimizar la salud del suelo.

Se recomienda realizar más estudios regionalizados, enfocándose en cómo las condiciones locales influyen en la efectividad de la inoculación de microorganismos. Esto es crucial para adaptar las prácticas agrícolas a las particularidades de cada región.

Se recomienda investigar la eficiencia de los nanocompuestos combinados ME en diversos cultivos, evaluando su impacto económico y ambiental.

LITERATURA CITA

- Acevedo, E., Galindo-Castañeda, T., Prada, F., Navia, M., & Romero, H. M. (2014). Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Colombia. *Applied Soil Ecology*, 80, 26–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.011>
- Acosta Ramos, J. A. (2022). *Abonos orgánicos como alternativa para el mejoramiento y conservación de suelos afectados por el incorrecto manejo de pesticidas agrícolas* [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13311>
- Afanador, L. N. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Ingeciencia*, 2(1), 65–76.
- Ahkar B, B. & T. (2017). Potential of efficient microorganisms (EM) as a biofertilizer: an overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2056–2069.
- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial Phosphorus Solubilization and Its Potential for Use in Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Álvarez-Sánchez, D., Chaves-Morillo, D., Gómez-López, E., & Hurtado-Benavides, A. (2020). Estimación del riesgo ambiental causado por plaguicidas en cultivos de arveja de Ipiales, Nariño-Colombia. *TecnoLógicas*, 23(47), 76–90.
- Arbeláez Gómez, M. C., & Onrubia Goñi, J. (2016). Análisis bibliométrico y de contenido. Dos metodologías complementarias para el análisis de la revista colombiana Educación y Cultura. *Revista de Investigaciones · UCM*, 14(23), 14–31. <https://doi.org/10.22383/ri.v14i1.5>
- Bargaz, A., Lyamlouli, K., Chtouki, M., Zeroual, Y., & Dhiba, D. (2018). Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>
- Barrera-Violeth, J. L., Cabrales-Herrera, E. M., & Sáenz-Narváez, E. P. (2017). Respuesta

- del maíz híbrido 4028 a la aplicación de enmiendas orgánicas en un suelo de Córdoba – Colombia. *Orinoquia*, 21(2), 38–45. <https://doi.org/10.22579/20112629.416>
- Beltrán Pineda, M. E. (2014). Hongos solubilizadores de fosfato en suelo de páramo cultivado con papa (*Solanum tuberosum*). *Ciencia En Desarrollo*, 5(2).
- Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. C. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits. In *Advances in Agronomy* (pp. 143–233). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Bernardo, M. P. (2018). *Hidróxidos duplos lamelares como matrizes para interação com fósforo: avaliação físico-química e aplicações* [Universidade Federal de São Carlos]. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9973>
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Olivera Viciado, D., Quintero Rodríguez, E., Peña Calzada, K., Theodore Nedd, L. L., & Jiménez Hernández, J. (2019). Effect of different application forms of efficient microorganisms on the agricultural productive of two bean cultivars. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8927–8935. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.76272>
- Calero Hurtado, A., Quintero Rodríguez, E., Pérez Díaz, Y., González-Pardo Hurtado, Y., & González Lorenzo, T. N. (2019). Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1167>
- Campo Martinez, A. del P., Acosta Sanchez, R. L., Morales Velasco, S., & Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. In *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 12, Issue 1).
- Ceballos, I., Ruiz, M., Fernández, C., Peña, R., Rodríguez, A., & Sanders, I. R. (2013). The

- In Vitro Mass-Produced Model Mycorrhizal Fungus, *Rhizophagus irregularis*, Significantly Increases Yields of the Globally Important Food Security Crop Cassava. *PLoS ONE*, 8(8), e70633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070633>
- Cedeño Viteri, N. (2012). La Investigación Mixta, Estrategia Andragógica fundamental para fortalecer las capacidades intelectuales superiores. *Revista Res Non Verba*, 17–36.
- Chauhan, A., Saini, R., & Sharma, J. C. (2022). Plant growth promoting rhizobacteria and their biological properties for soil enrichment and growth promotion. *Journal of Plant Nutrition*, 45(2), 273–299. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952221>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609–1630. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Companioni, B., Domínguez, G., & García, R. (2019). Trichoderma: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología Vegetal*, 19(4), 237–248.
- Correo, C. M. (2007). Tendencias De La Gerencia Y Entorno Económico. *El Cuaderno de Ciencias Estratégicas*, 1(2011–0170), 39–52.
- Cortés Mura, H. G., & Peña Reyes, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 78(0120–8160), 40–54.
- Coutino-Puchuli, A. E., Peña-Borrego, M. D., & Infante-Jimenez, Z. T. (2023). Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Revista Terra Latinoamericana*, 41, 1–14. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1449>
- Cycoń, M., Mrozik, A., & Piotrowska-Seget, Z. (2019). Antibiotics in the Soil Environment—Degradation and Their Impact on Microbial Activity and Diversity. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00338>
- Dodds, W. K., Bouska, W. W., Eitzmann, J. L., Pilger, T. J., Pitts, K. L., Riley, A. J., Schloesser, J. T., & Thornbrugh, D. J. (2009). Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages. *Environmental Science & Technology*, 43(1), 12–19. <https://doi.org/10.1021/es801217q>

- Drobek, M., Frac, M., & Cybulska, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- FAO. (2018). *Organización para la Alimentación y la Agricultura*. Los Contaminantes Agrícolas: Una Grave Amenaza Para El Agua Del Planeta. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., ... Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Franco Polo, R. (2022). “Biofertilizantes” una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos 10 años. *HIGH TECH-ENGINEERING JOURNAL*, 2(1), 90–97. <https://doi.org/10.46363/high-tech.v2i1.4>
- Fustamante Cabrera, N. G., & Tarazona Gomez, Y. C. (2021). *Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81848>
- Gil Rivera, M. del C. (1994). La base de datos. Importancia y aplicación en educación. *Perfiles Educativos*, 65. <https://www.redalyc.org/pdf/132/13206506.pdf>
- Ginès, N. G., & Simòn, N. G. (2023). *fertilizantes quimica y accion* (2nd ed.). Ediciones MundiPrensa.
- Gómez Vargas, M., Galeano Higueta, C., & Jaramillo Muñoz, D. A. (2015). El estado del arte: una metodología de investigación. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 6(2), 423. <https://doi.org/10.21501/22161201.1469>
- González-Rodríguez, G., Preciado-Rangel, P., Lizárraga-Bernal, C. G., & Espinosa-Palomeque, B. (2023). Análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el abono orgánico Bokashi: alternativa en la agricultura sostenible. *Biotecnia*, 25(2), 181–193. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1848>

- Hata, F. T., Ventura, M. U., Fregonezi, G. A. de F., & de Lima, R. F. (2021). Bokashi, boiled manure and penergetic applications increased agronomic production variables and may enhance powdery mildew severity of organic tomato plants. *Horticulturae*, 7(2), 1–8. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020027>
- Helwig, N. E., Hong, S., & Hsiao-wecksler, E. T. (2016). *Efficient microorganisms and its benefits for farmers*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernández X, E., Inzunza M, F. R., Solano S, C. B., Arias R, L. M., & Parra V, M. R. (2011). La tecnología del cultivo. *Geografía Agrícola*, 46–47, 91–96. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75729625008.pdf>
- Hidalgo Dávila, J. L. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: el sector florícola ecuatoriano*. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2015). Soybean Seed Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A New Biotechnological Tool to Improve Yield and Sustainability. *American Journal of Plant Sciences*, 06(06), 811–817. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Hurtado, Y. G. P., Simón, L. A. Y., Viciado, D. O., Calzada, K. P., & Rodríguez, J. F. M. (2020). Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes MICROORGANISMS. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 9(1), 112–124. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Rodríguez, E. Q., Viciado, D. O., & Calzada, K. P. (2019). Effect of the associated application between *Rhizobium leguminosarum* and efficient microorganisms on common bean production. *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, 20(2), 309–322. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art1460

- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jiménez-Tobón, D., Vahos-Posada, D. A., Galo-Molina, J. J., & Ríos-Osorio, L. A. (2023). Efecto del uso de biofertilizantes sobre la productividad agrícola. *Hechos Microbiológicos*, 13(2). <https://doi.org/10.17533/udea.hm.v13n2a05>
- Karipçin, M. Z. (2023). Hydrogels improved parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman) growth and development under water deficit stress. *PeerJ*, 11, e15105. <https://doi.org/10.7717/peerj.15105>
- Kaschuk, G., Nogueira, M. A., de Luca, M. J., & Hungria, M. (2016). Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. *Field Crops Research*, 195, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.05.010>
- Lin, Y., Ye, G., Kuzyakov, Y., Liu, D., Fan, J., & Ding, W. (2019). Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa. *Soil Biology and Biochemistry*, 134(January), 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.030>
- Lozano-Povis, A. A. (2023). Agricultura y cambio climático: principales hallazgos y propuestas para la toma de decisiones en dos regiones naturales del Perú. *South Sustainability*, 4(1), e068. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e068>
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101–108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Luna Feijoo, M. A., & Mesa Reinaldo, J. R. (2017). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Agroecosistemas*, 4(2), 31–40. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/84>
- Malusá, E., & Vassilev, N. (2014). A contribution to set a legal framework for biofertilisers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(15), 6599–6607. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5828-y>

- Mamani, A. (2023). Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: una revisión sistemática. In *Revista Acciones Médicas* (Vol. 2, Issue 4, pp. 43–55). <https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.04.004>
- Marín, S., Bertsch, F., & Castro, L. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 41(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31298>
- Martins, G. L., de Souza, A. J., Osti, J. F., Gontijo, J. B., Cherubin, M. R., Viana, D. G., Rodrigues, M. M., Tornisielo, V. L., & Regitano, J. B. (2023). The role of land use, management, and microbial diversity depletion on glyphosate biodegradation in tropical soils. *Environmental Research*, 231(March). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116178>
- Meena, V. S., Maurya, B. R., & Verma, J. P. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? In *Microbiological Research* (Vol. 169, Issues 5–6, pp. 337–347). <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.003>
- Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., Bisht, J. K., Pattanayak, A., Naveed, M., & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
- Mendes, F. F., Guimarães, L. J. M., Souza, J. C., Guimarães, P. E. O., Magalhaes, J. V., Garcia, A. A. F., Parentoni, S. N., & Guimaraes, C. T. (2014). Genetic Architecture of Phosphorus Use Efficiency in Tropical Maize Cultivated in a Low-P Soil. *Crop Science*, 54(4), 1530–1538. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.11.0755>
- Menezes-Blackburn, D., Giles, C., Darch, T., George, T. S., Blackwell, M., Stutter, M., Shand, C., Lumsdon, D., Cooper, P., Wendler, R., Brown, L., Almeida, D. S., Wearing, C., Zhang, H., & Haygarth, P. M. (2018). Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. *Plant and Soil*, 427(1–2), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3362-2>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*,

6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- Moreno-Ramírez, L., González-Mendoza, D., Cecena-Duran, C., & Grimaldo-Juarez, O. (2015). Molecular identification of phosphate-solubilizing native bacteria isolated from the rhizosphere of *Prosopis glandulosa* in Mexicali valley. *Genetics and Molecular Research*, 14(1), 2793–2798. <https://doi.org/10.4238/2015.March.31.9>
- Moreno Guerrero, A. J., Romero Rodríguez, J. M., Navas-Parejo, M. R., & García, S. A. (2020). Bibliometric analysis on educational inspection in the web of science database. *REICE. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educacion*, 18(1), 83–103. <https://doi.org/10.15366/REICE2020.18.1.005>
- Morocho, M. T., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos ecientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas Efficient microorganisms, functional properties and agricultural applications. *Ctro. Agr. Santa Clara Abr*, 46(2), 93–103.
- Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Costas, A. G., Geddes, B. A., Kouri, E. D., Paramasivan, P., Ryu, M. H., Oldroyd, G. E. D., Poole, P. S., Udvardi, M. K., Voigt, C. A., Ané, J. M., & Peters, J. W. (2016). Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. In *Applied and Environmental Microbiology* (Vol. 82, Issue 13, pp. 3698–3710). <https://doi.org/10.1128/AEM.01055-16>
- Nascimento, J. M. do, Vieira Netto, J. A. F., Valadares, R. V., Mendes, G. de O., Silva, I. R. da, Vergütz, L., & Costa, M. D. (2021). *Aspergillus niger* as a key to unlock fixed phosphorus in highly weathered soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 156(February). <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108190>
- Ncube, L. (2024). Effective Microorganisms (EM): A Potential Pathway for Enhancing Soil Quality and Agricultural Sustainability in Africa. In R. Nogueira de Sousa (Ed.), *Strategic Tillage and Soil Management - New Perspectives*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114089>
- Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2019). Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 103, Issue 3, pp. 1179–1188). <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577-y>
- Oliveira, R. S., Rocha, I., Ma, Y., Vosátka, M., & Freitas, H. (2016). Seed coating with

- arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 79(7), 329–337. <https://doi.org/10.1080/15287394.2016.1153448>
- Oves, M., & Khan M, S. (2016). Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 07(02). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000334>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Parnell, J. J., Berka, R., Young, H. A., Sturino, J. M., Kang, Y., Barnhart, D. M., & DiLeo, M. V. (2016). From the Lab to the Farm: An Industrial Perspective of Plant Beneficial Microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01110>
- Passos Simancas, E. S. (2015). *Metodología para la presentación de trabajo de investigación: una manera práctica de aprender a investigar, investigando* (2nd ed.). Institución Tecnológica Colegio Mayor de Bolívar.
- Raimi, A., Adeleke, R., & Roopnarain, A. (2017). Soil fertility challenges and Biofertiliser as a viable alternative for increasing smallholder farmer crop productivity in sub-Saharan Africa. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1400933. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1400933>
- Ramirez, S. R., Sánchez-Lucio, R., Zelaya-Molina, L. X., Chávez-Díaz, I. F., Cruz-Cárdenas, C. I., & Valdivia-Bernal, R. (2021). Germinación y vigor de semillas de especies hortícolas inoculadas con biofertilizantes y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1199–1208. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2539>
- Ramos, C., Delgado, A., Serna-Socio, B., & Herrera, P. (2018). Assessing the efficiency of biofertilizers in improving agricultural productivity. *Scientia Agropecuaria*, 7–18.

- Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K., & Hinman, H. R. (2001). Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410(6831), 926–930. <https://doi.org/10.1038/35073574>
- Ropero Pallares, R. (2015). *Proyecto Educativo del Programa (Ingeniería Ambiental y Sanitaria)*. <https://bit.ly/3npYjhw>
- Santana, M. (2020). Mapeo De La Investigación En La Gestión Internacional De Los Recursos Humanos Mapping Research in the International Human Resource Management Field. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época. Número, 1*, 91–112.
- Santhoshinii, E., Doggalli, G., Navarasu, S., & Sivaramakrishnan, S. (2018). Soil Health and Its Influence On Plant Protection. In J. Singh, U. Sarkar, A. Kukreti, & J. Phookan (Eds.), *Plant Protection Insights: Diverse Perspective On Plant Pathology and Entomology* (p. 238). Stella International Publication Kurukshetra.
- SCImago. (2023). *SJR — SCImago Journal Rank*. <http://www.scimagojr.com>
- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., & Rao, M. . (2015). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, ahead*, 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031>
- Smith-Spangler, C., Brandeau, M. L., Hunter, G. E., Bavinger, J. C., Pearson, M., Eschbach, P. J., Sundaram, V., Liu, H., Schirmer, P., Stave, C., Olkin, I., & Bravata, D. M. (2012). Are Organic Foods Safer or Healthier Than Conventional Alternatives? *Annals of Internal Medicine*, 157(5), 348. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-157-5-201209040-00007>
- Souza, R. de, Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), 401–419. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>
- Tamayo-Velez, A., & Osorio, N. W. (2017). Co-inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing fungus promotes the plant growth and phosphate uptake of avocado plantlets in a nursery. *Botany*, 95(5), 539–545.

<https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0224>

- Timmusk, S., Behers, L., Muthoni, J., Muraya, A., & Aronsson, A.-C. (2017). Perspectives and Challenges of Microbial Application for Crop Improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00049>
- Ullah, A., Heng, S., Munis, M. F. H., Fahad, S., & Yang, X. (2015). Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 117, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.001>
- Urgiles-Gómez, N., Loján, P., Ávila-Salem, M. E., Benavidez-Silva, C., Hurtado, L., Livisaca, F., Guaya, P., Villamagua, M., Poma, L., & Quichimbo, L. (2023). Microorganismos benéficos con potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo. *CEDAMAZ*, 13(1), 103–113. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1310>
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). PRISMA_Spanish.pdf. In *Medicina Clínica* (Vol. 135, Issue 11, pp. 507–511).
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Eck, N. J., Waltman, L., van den Berg, J., & Kaymak, U. (2006). Visualizing the computational intelligence field. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 6–10. <https://doi.org/10.1109/mci.2006.329702>
- Velázquez-Herrera, F. D., Lobo-Sánchez, M., & Fetter, G. (2022). LDH/SBA-15 nanocomposite containing nitrogen-fixing bacteria as an efficient biofertilizer. *Materials Today Communications*, 31(June). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103832>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 225, 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Villalva, S., & Fuentes, J. (2006). Agricultura Sostenible. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación*, 7(93), 32.

http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_07.pdf

Villarreal Contreras, J. D. (2021). *Impacto del uso de agroquímicos en el servicio ecosistémico de polinización que brindan las abejas* [Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1695>

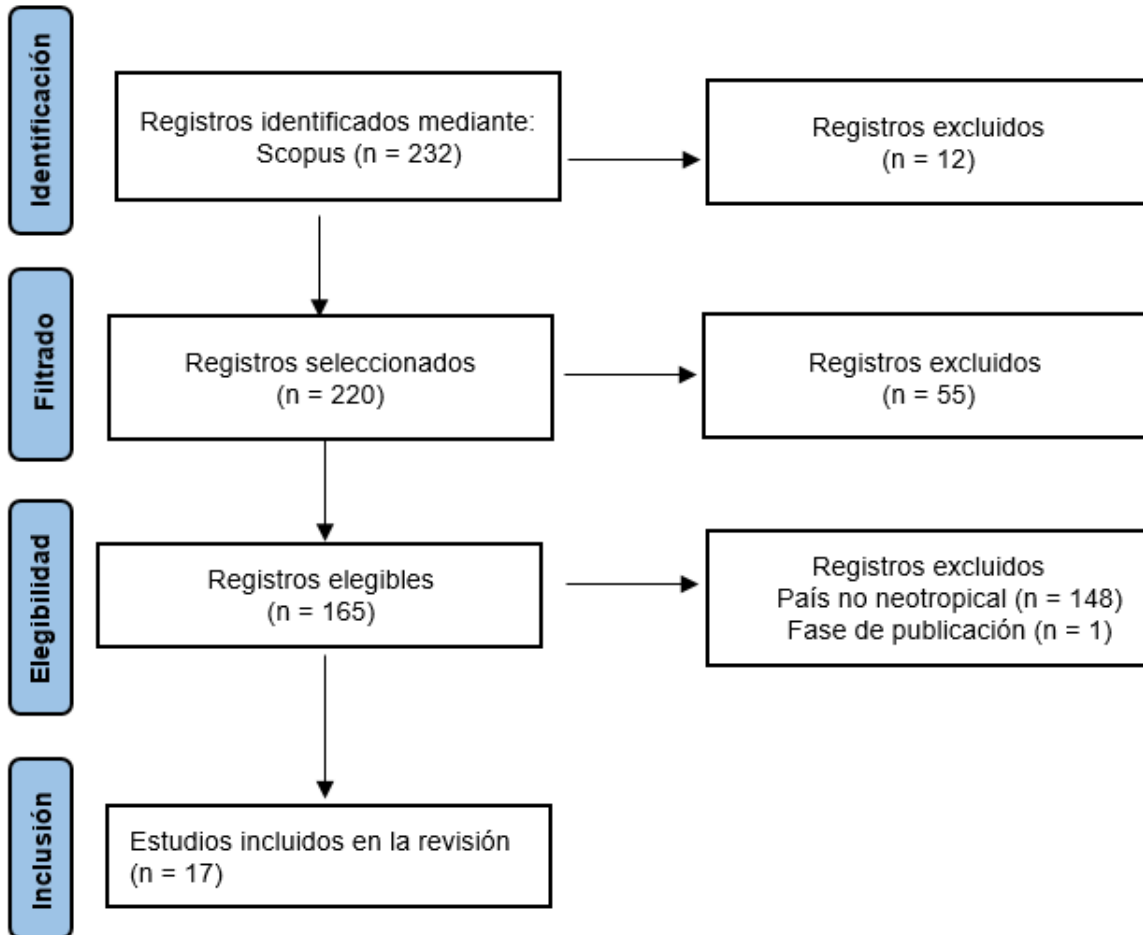
Zamora Noviteño, L. V. (2023). *Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) en suelos de agroecosistemas cafeteros*. Universidad Libre.

Zeballos H., M. F. (2017). *Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales* [Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6199>

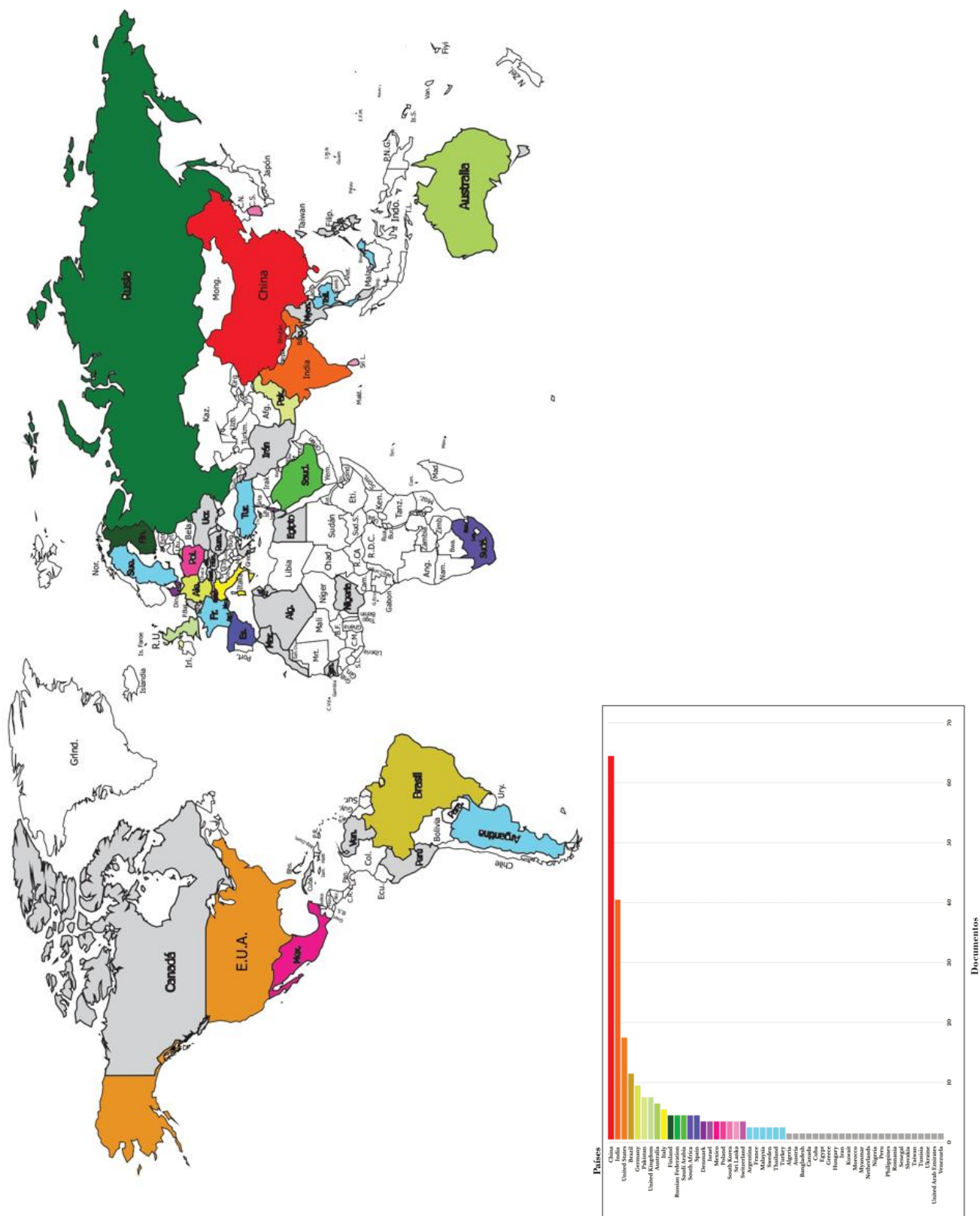
Zhen, Z., Liu, H., Wang, N., Guo, L., Meng, J., Ding, N., Wu, G., & Jiang, G. (2014). Effects of manure compost application on soil microbial community diversity and soil microenvironments in a temperate cropland in China. *PLoS ONE*, 9(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108555>

ANEXOS

Anexo 1. Metodología PRISMA



Anexo 2. Mapa global de la densidad del aporte científico en el área de estudio asignado.



Anexo 3. *Artículos con mayor número de citas 2013-2023.*

Titulo	Autores	Año	Revista	Citaciones
<i>Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils</i>	Souza, R. D., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M	2015	Genetics and Molecular Biology	630
<i>Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes</i>	Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Garcia Costas, A., Geddes, B. A., Kouri, E. D., ... & Peters, J. W	2016	Applied and Environmental Microbiology	360
<i>Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils?</i>	Meena, V. S., Maurya, B. R., & Verma, J. P..	2014	Microbiological Research	321
<i>Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa</i>	Lin, Y., Ye, G., Kuzyakov, Y., Liu, D., Fan, J., & Ding, W	2019	Soil Biology and Biochemistry	299
<i>Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion</i>	Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O	2019	Applied Microbiology and Biotechnology	224
<i>A review with recent advancements on bioremediation-based abolition of heavy metals</i>	Gaur, N., Flora, G., Yadav, M., Tiwari, A.	2014	Environmental Sciences: Processes and Impacts	207
<i>Effects of manure compost application on soil microbial community diversity and soil microenvironments in a temperate cropland in China</i>	Zhen, Z., Liu, H., Wang, N., Guo, L., Meng, J., Ding, N., ... & Jiang, G.	2014	PLoS ONE	184
<i>Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review</i>	Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., ... & Dotaniya, M. L	2017	Ecological Engineering	183
<i>Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review</i>	Möller, K.	2015	Agronomy for Sustainable Development	183
<i>Phosphorus recovery from the liquid phase of anaerobic digestate using biochar derived from iron-rich sludge: A potential phosphorus fertilizer</i>	Wang, H., Xiao, K., Yang, J., Yu, Z., Yu, W., Xu, Q., ... & Liu, B	2020	Water Research	120

Anexo 4. Diagrama de número de palabras clave

