



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Fustamante Cabrera, Nélide Gloria (ORCID: 0000-0002-3008-524X)

Tarazona Gomez, Yaneth Catherine (ORCID: 0000-0003-1092-9078)

ASESOR:

Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-8683-5054)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA — PERÚ

2021

Dedicatoria

Con gratitud dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por darme mucha fortaleza, fe y esperanza. En segundo lugar, a mi madre, abuela y hermano, Elvia, María y Elder, quienes nunca dejaron de apoyarme en la obtención de la educación superior y siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo.

Nélida Gloria Fustamante Cabrera

Este trabajo de investigación va dedicado, en primer lugar, a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. En segundo lugar, a mis padres Zacarias Filomeno Tarazona Alvarez y Felisa Isabel Gomez Cordero, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mí apoyo en todo momento. En tercer lugar, a mis abuelos en especial a Maura Cordero Distra que no está presente en cuerpo, pero desde el cielo me está guiando.

Yaneth Catherine Tarazona Gomez

Agradecimiento

Es una tarea desafiante encontrar las palabras adecuadas para expresar el agradecimiento. Nuestro deseo es realizarlo simple, pero con el mayor agradecimiento posible a Dios por darnos salud, sabiduría y bendecirnos. A mi asesor. Prof. Dr. Castañeda Olivera, que siempre está cerca y proporciona gran apoyo oportuno y constante, en términos de redacción científica y asesoramiento teórico. Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer a mi encantadora familia. Gracias por su apoyo y comprensión.

Índice de contenido

Índice de tablas	vi
Índice de figuras	vii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Variables y Operacionalización	20
3.3. Población, muestra y muestreo	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.5. Validez y confiabilidad de los instrumentos	21
3.6. Procedimiento	22
3.7. Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	26
4.1. Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos utilizados para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas	27
4.2. Documentos científicos publicados en la base de datos Scopus y Web of Science	35
4.3. Análisis de las investigaciones científicas en función a los países.....	36
4.4. Análisis de las principales revistas con mayor producción científica.....	37
4.5. Cantidad de estudios publicados por área temática en la base de datos Scopus y WoS.....	40
4.6. Dosis de biofertilizantes aplicada para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.....	48
V. DISCUSIÓN.....	51

VI. CONCLUSIONES.....	57
VII. RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXOS	78

Índice de tablas

Tabla 1. Agrupación de biofertilizantes según su naturaleza y función (Umesha et al., 2018)	9
Tabla 2. Métodos de aplicación para algunos fertilizantes PCV (Kennedy et al., 2004).	15
Tabla 3. Estrategia de búsqueda.....	23
Tabla 4. Número de estudios de las bases de datos	24
Tabla 5. Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos	28
Tabla 6. Parámetros de crecimiento y rendimiento	46
Tabla 7. Efecto de las dosis de biofertilizante sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas	48

Índice de figuras

Figura 1. Impacto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y sus contaminantes en el suelo, las aguas superficiales y subterráneas (Khan et al., 2018)	6
Figura 2. Diagrama esquemático de cada uno de los pasos seguidos para el análisis bibliométrico	22
Figura 3. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para los resultados.....	26
Figura 4. Tendencia en la base de Scopus sobre la utilización de los tipos de biofertilizantes en función de los años.....	33
Figura 5. Tendencia en la base de WoS sobre la utilización de los tipos de biofertilizantes en función de los años.....	33
Figura 6. Tipos de documentos - base de datos Scopus.....	34
Figura 7. Tipos de documentos - base de datos WoS.....	35
Figura 8. Superposición de documentos en las bases de datos.....	35
Figura 9. Número de investigaciones publicadas en función a los países - base de datos Scopus	36
Figura 10. Número de investigaciones publicadas en función a los países - base de datos Web of Science	37
Figura 11. Revistas con mayor producción científica - base de datos Scopus....	38
Figura 12. Revistas con mayor producción científica - base de datos Web of Science.....	38
Figura 13. Cantidad de investigaciones publicados por año - base de datos Scopus	39
Figura 14. Cantidad de investigaciones publicados por año - base de datos Web of Science	39
Figura 15. Cantidad de investigaciones según área temática - base de datos Scopus	40
Figura 16. Investigaciones publicadas según área temática - base de datos WoS.....	41
Figura 17. Mapa de red de las investigaciones en función a los países -base de datos Scopus.....	42

Figura 18. Mapa de red de las investigaciones en función a los países - base de datos WoS	42
Figura 19. Mapa de red de los autores más citados - base de datos Scopus	43
Figura 20. Mapa de red de los autores más citados - base de datos WoS.....	44
Figura 21. Mapa de red de las palabras claves de autor - Scopus.....	45
Figura 22. Mapa de red de las palabras claves de autor - WoS.....	45

Resumen

La aplicación irracional de fertilizantes químicos causa un desequilibrio de nutrientes del suelo, reduce la diversidad microbiana, altera la calidad del suelo y es una de las principales fuentes de contaminación. Los biofertilizantes a base de microorganismos pueden mejorar el entorno del suelo, contribuir en gran medida al crecimiento y a la producción sostenible de los cultivos. El objetivo de esta investigación fue identificar los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más utilizados para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas. La información fue recolectada a partir de las bases de datos de Scopus y Web of Science (WoS), incluyendo artículos y revisiones publicados desde enero de 2011 hasta septiembre de 2021. El análisis de datos se realizó con el software VOSviewer, obteniendo mapas de co-ocurrencia, co-citas y co-autoría. Los resultados mostraron que, los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más empleados para cultivos agrícolas son los biofertilizantes fijadores de nitrógeno como *Azotobacter*, *Rhizobium* y *Azospirillum sp.* Además, el biofertilizante *Aspergillus flavus* (solubilizante de fosfato) con una dosis de 4 ml/kg, promovió eficazmente el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*), alcanzando porcentajes de 90% y 52%, respectivamente. Se llegó a la conclusión que, los biofertilizantes a base de microorganismos pueden utilizarse en sistemas agrícolas para mejorar el crecimiento, el rendimiento y la acumulación de nutrientes en diversos cultivos.

Palabras clave: análisis bibliométrico, microorganismos, biofertilizantes, crecimiento de cultivos, rendimiento de cultivos.

Abstract

Irrational application of chemical fertilizers causes soil nutrient imbalance, reduces microbial diversity, alters soil quality and is a major source of pollution. Biofertilizers based on microorganisms can improve the soil environment, contribute greatly to growth and sustainable crop production. The objective of this research was to identify the types of microorganism-based biofertilizers most commonly used for agricultural crop growth and yield. Data were collected from Scopus and Web of Science (WoS) databases, including articles and reviews published from January 2011 to September 2021. Data analysis was performed with VOSviewer software, obtaining co-occurrence, co-citations and co-authorship maps. The results showed that, the types of biofertilizers based on microorganisms most commonly used for agricultural crops are nitrogen-fixing biofertilizers such as *Azotobacter*, *Rhizobium* and *Azospirillum* sp. In addition, the biofertilizer *Aspergillus flavus* (phosphate solubilizer) with a dose of 4 ml/kg, effectively promoted the growth and yield of corn (*Zea mays*) crop, reaching percentages of 90% and 52%, respectively. It was concluded that biofertilizers based on microorganisms can be used in agricultural systems to improve growth, yield and nutrient accumulation in various crops.

Keywords: bibliometric analysis, microorganisms, biofertilizer, crop growth, crop yield.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los fertilizantes químicos se utilizan en la práctica agrícola para acrecentar la producción de cultivos y satisfacer la demanda de alimentos debido al crecimiento de la población humana. Estos fertilizantes contienen compuestos que son peligrosos, dando como resultado una mala calidad del suelo, baja nutrición de los cultivos y contaminan el nivel freático (Sonali, 2021). Para Ritchie (2021) los principales fertilizantes que se agregan a los cultivos contienen nitrógeno (N) y fósforo (P), según investigaciones indican que casi el 35% de N es utilizado por los cultivos y más del 50% del P se convierten en contaminantes que terminan en los cuerpos hídricos y entornos naturales. Estas cantidades de contaminantes que se generan gracias a la agricultura, se diferencian dependiendo de cada país, existen ciertos países que producen cientos de kg/ha de suelo cultivado y otros que generan en menor cantidad. En esta lista de contaminación total por N (cerca de 75 millones de ton/año), China genera un tercio del total mundial (33%), India produce un 18%, EE. UU genera el 11 %, seguido de Pakistán y Brasil. De igual forma, la mayoría de países que agregan nitrógeno son los que también producen fósforo (alrededor 14 millones de ton/año); empezando por China que encabeza la lista con un total del 32,6%, seguidamente India que representa el 21,8%, Brasil 6,9%, EE. UU 6,2% y Pakistán el 3% (Ritchie, 2021). Por lo tanto, el interés en encontrar alternativas sostenibles que reduzcan los impactos ambientales y que puedan presentar una capacidad de mejora tanto para el rendimiento, crecimiento de las plantas y reducir el costo de producción está creciendo y seguirá en aumento (TMZ et al., 2021).

En China, los agricultores aplican cantidades excesivas de fertilizantes nitrogenados debido a su esperanza de mantener más aumentos en el rendimiento de granos (Yang et al., 2019). Sin embargo, la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados no aumentó el rendimiento de grano, por el contrario, causó una serie de problemas ambientales, incluida la acidificación del suelo, varios problemas de contaminación del aire, aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y eutrofización de las aguas superficiales (Zhang et al., 2019). Por lo tanto, estudiar la optimización de los métodos de gestión de la utilización de N que puedan

mantener e incrementar la producción del grano y proteger sinérgicamente el medio ambiente es un desafío importante.

En Perú, en los últimos años ha disminuido el rendimiento de algunos cultivos como es el caso del fruto del camu-camu; este descenso ha sido originado, debido a la reducción de ciertos nutrientes indispensables para el suelo como N, K y Mg, ocasionados generalmente por las inundaciones y la ausencia de nuevas tecnologías de fertilizantes (Abanto et al., 2016). De igual forma, Welch (2016) constató que la concentración de vitamina C en frutos como melones, manzanas y cítricos, se ve afectada por macronutrientes, y la fertilización excesiva con nitrógeno. Otra problemática es el incremento de plagas, enfermedades y el inadecuado manejo de cultivos (Abanto et al., 2019). Como consecuencia de esta última práctica, es indispensable el uso de fertilizantes debido a que los suelos presentan diferentes características, como es el caso de los suelos en la costa presentan bajo contenido de N, provisto de P y K, en cambio los de la sierra presentan morfología desarrollada, con presencia de CaCO_3 (suelo calcáreo), bajos en N y P, y con una moderada presencia de K, en cambio en la selva existen suelos provistos de Al, Fe, Mn (MINAGRI, 2018).

A partir del análisis bibliométrico, se planteó la **pregunta general** de investigación como directriz para el proyecto de investigación: ¿Cuáles son los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos que más se utilizan para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas, desde enero de 2011 - septiembre de 2021?, y como **problemas específicos**: ¿Cuál es el número de investigaciones sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos?, ¿Cuáles son los países que presentan más investigaciones sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos?, ¿Cuáles son las revistas con alta producción científica sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos?, ¿Cuáles son las áreas temáticas con mayores investigaciones sobre biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas? y, ¿Cuál es el efecto de las dosis de biofertilizante sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas?.

El presente trabajo se justifica en base a la recopilación de estudios previos sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el rendimiento y crecimiento de cultivos agrícolas. En el **aspecto ambiental**, mediante el uso de biofertilizantes en cultivos agrícolas se pueden evitar los efectos dañinos irreparables de los agroquímicos en el medio ambiente. Además, los biofertilizantes ayudan en cierta medida a liberar a las plantas de fertilizantes químicos precipitados y aumentar la fertilidad del suelo mediante el aumento y conservación de los micronutrientes y macronutrientes a través de la fijación de N, la solubilización o mineralización de P y K, la liberación de sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas, la producción de antibióticos y la degradación de la materia orgánica del suelo. Asimismo, ayudan a movilizar nutrientes que favorecen el desarrollo de las actividades biológicas en los suelos, previniendo las deficiencias de micronutrientes en las plantas y garantizando una mejor absorción de nutrientes y un nivel de tolerancia a la sequía y al estrés hídrico (Bashan et al., 2014). Generalmente, un biofertilizante debería causar un mínimo impacto y/o controlado en términos de dispersión, persistencia, alteración de la función microbiológica y el ciclo biogeoquímico, y alteración de la macroflora y macrofauna (BIOFIT, 2017). En lo que respecta al **aspecto económico**, su costo es menor a comparación con los fertilizantes químicos, considerando así que el uso de biofertilizantes a base de microorganismos es un componente clave para la gestión integrada de nutrientes para el rendimiento y crecimiento de cultivos. En el **ámbito social**, se busca la aplicación de opciones sostenibles (uso de biofertilizantes) que puedan abordar problemas en la agricultura y hacer partícipe a los agricultores. Al mismo tiempo, los biofertilizantes se pueden utilizar junto con otras prácticas agroecológicas como sistemas de cultivo intercalado y rotación de cultivos, bajo diferentes sistemas de labranza y prácticas de enmienda orgánica para obtener los máximos beneficios de los cultivos (Nath y Das, 2018). Por ende, el uso de biofertilizantes es una alternativa potente que no solo puede alimentar a la población emergente, sino que también puede salvar a la agricultura de la severidad de diversas tensiones ambientales (Atieno et al., 2020).

Por lo tanto, para responder a las preguntas de investigación se generó el siguiente **objetivo general**: Identificar los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos que más se utilizaron para el crecimiento y rendimiento de cultivos

agrícolas, desde enero de 2011 hasta septiembre de 2021 y como **objetivos específicos**: Identificar el número de investigaciones sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos, establecer los países que presentan más investigaciones sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos, identificar las revistas con alta producción científica sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos, determinar las áreas temáticas con mayores investigaciones sobre biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas y, determinar el efecto de las dosis de biofertilizante sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.

Por último, dentro de la investigación del análisis bibliométrico se planteó como hipótesis: El uso de biofertilizantes a base de microorganismos es eficiente para el rendimiento y crecimiento de cultivos agrícolas.

II. MARCO TEÓRICO

Los fertilizantes son cualquier material de origen sintético o natural que se aplican a los suelos o tejidos vegetales para suministrar uno o varios nutrientes que son esenciales para que la planta pueda crecer, desarrollarse o para superar la deficiencia de nutrientes vegetales (Chandini et al., 2019). Se considera fertilizante a cualquier material natural o manufacturado que contenga alrededor del 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios N, P o K (FAO, 2002).

Los sistemas agrícolas emplean gran cantidad de fertilizantes químicos para lograr una mayor producción por unidad de área. Sin embargo, utilizar más dosis de las óptimas de estos fertilizantes conduce a la contaminación ambiental (suelo, agua y aire), reducción de la eficiencia de los insumos, disminución de la calidad de los alimentos, desarrollo de resistencia de diferentes malezas, enfermedades e insectos, igualmente, a la degradación del suelo, deficiencia de micronutrientes en el suelo, toxicidad para diferentes organismos vivos beneficiosos presentes en el suelo, menores ingresos de la producción, etc. (Chandini et al., 2019).

Los fertilizantes disponibles comercialmente son mezclados con una variedad de metales traza, que se introducen en el suelo junto con la aplicación de fertilizantes. Esta aplicación en condiciones ambientales desfavorables conlleva que estas sustancias se pierdan en el ambiente mediante lixiviación, drenaje o flujo superficial (Khan et al., 2018), como se muestra en la Figura 1.

La aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos al suelo, junto con nutrientes minerales, agrega HM (metales pesados), RDN (radionúclidos) y patógenos. De los fertilizantes, el nitrógeno aplicado se convierte en NH_3 y NH_4^+ , luego se oxida a NO_3^- y llega producir protones (H^+) y disminuye el pH del suelo que da como resultado un suelo acidificado. Este suelo, causa toxicidad mineral y deficiencia de minerales que, en definitiva, da como consecuencia un suelo insalubre. El NO_3^- presente en el suelo llega a contaminar los recursos hídricos tanto superficiales y subterráneos. Asimismo, el NO_2^- ingresa al agua superficial y se oxida a NO_3^- gracias al oxígeno disuelto presente en el agua, lo que provoca la reducción del nivel de oxígeno en el agua. Por otra parte, el P contenido en el suelo se filtra a las aguas superficiales y provoca la eutrofización dando como resultado

la proliferación de algas que, al morir y descomponerse, agotan el nivel de oxígeno disuelto. Los HM, RDN y coliformes ingresan a la cadena alimentaria desde el suelo por medio de las plantas y los recursos hídricos y afectan negativamente el ecosistema y a la vida. HM, metales pesados; RDN, radionucleidos; OF, fertilizantes orgánicos; NO_3^- , nitrato; NO_2^- , nitrito; NH_3 , amoníaco; NH_4^+ , amonio (Khan et al., 2018).

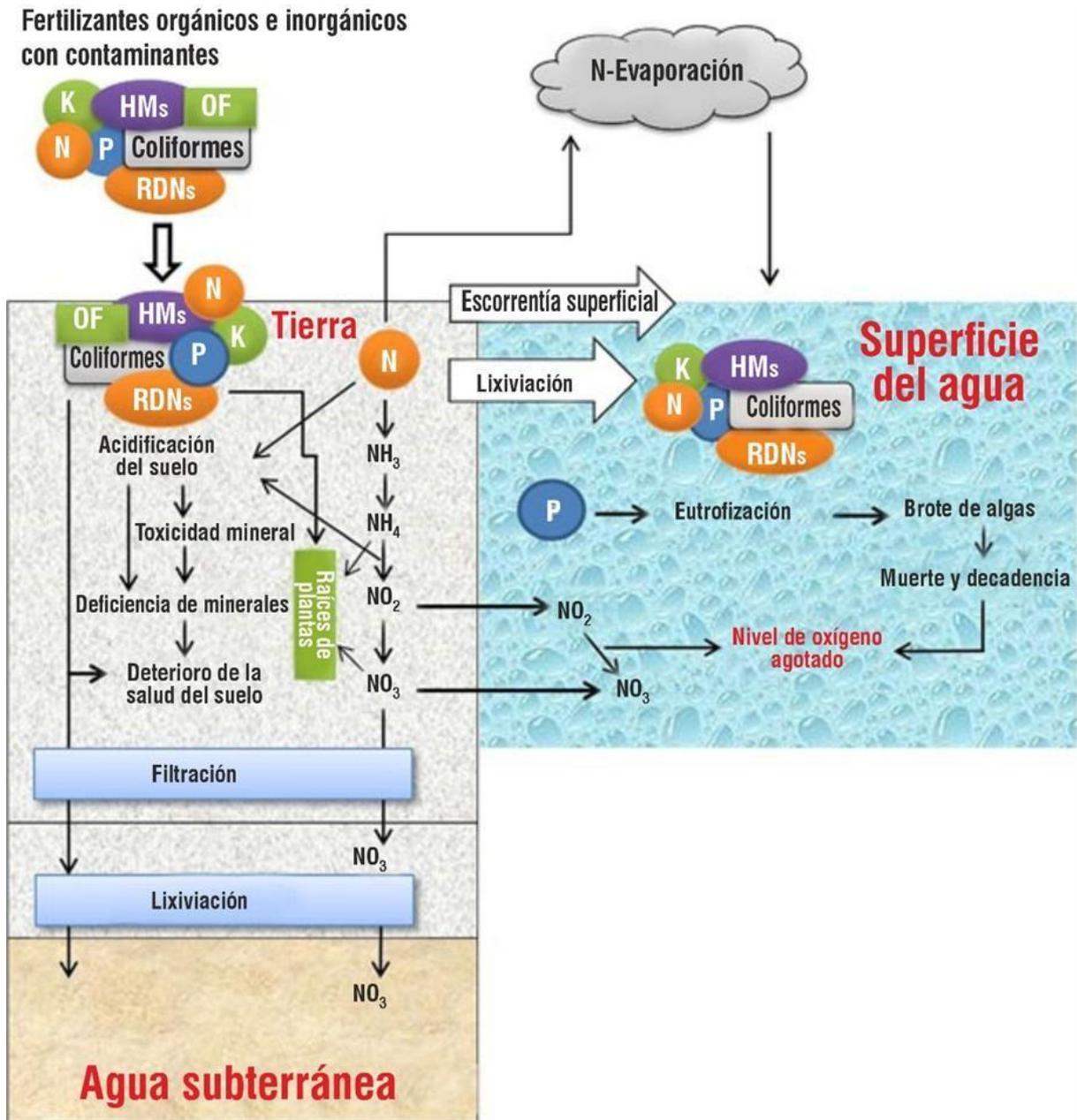


Figura 1. Impacto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y sus contaminantes en el suelo, las aguas superficiales y subterráneas (Khan et al., 2018)

Los principales fertilizantes químicos que causan la contaminación son los nitrogenados y fosfatados, que afectan a las propiedades del suelo y causa la escorrentía provocando la **contaminación del agua**, o, en algún momento, puede escapar a la atmósfera afectando la calidad del aire, aumentando así los GEI que contribuyen al cambio climático (Rashmi et al., 2020).

Según Singh y Craswell (2021), la proporción de fertilizante que contiene N aplicado a los agroecosistemas que se lixivian por debajo de la zona de las raíces es menor al 30%, que es el factor de lixiviación de nitratos, el cual afecta la calidad del agua dulce y refiere que, una de las estrategias más efectiva para controlar la fuga de nitrato-N es la aplicación de dosis óptimas de fertilizante. Para Chandini et al. (2019) el principal factor responsable de la eutrofización del agua es el fosfato y este da como resultado un mayor crecimiento de plantas acuáticas y algas en el cuerpo de agua, lo que conlleva a la pérdida de otras especies acuáticas vivas debido al suministro reducido de oxígeno. Además, las aguas superficiales deben contener $\leq 50 \mu\text{g/l}$ de fósforo.

Por otro lado, los efectos de los fertilizantes químicos en la **contaminación del aire** se dan mediante la aplicación de elevadas tasas de estos fertilizantes para el desarrollo de cultivos, los cuales originan numerosos gases de GEI, que agotan la capa protectora de ozono y expone a los humanos a rayos UV (Serpil, 2012). Por su lado, Cooper et al. (2017) indican que los GEI como el CO_2 , CH_4 , N_2O se producen durante la fabricación de fertilizantes nitrogenados. El uso en exceso de estos fertilizantes da lugar a una emisión de óxidos de nitrógeno (NO , N_2O , NO_2) responsables de la contaminación del recurso aire (Chandini et al., 2019). Otro contaminante es el amoníaco volatilizado producto emitido por tierras fertilizadas, que se depositan en la atmósfera y se oxidan en ácido nítrico y sulfúrico, generando lluvias ácidas después de la transformación química (Sharma y Chetani, 2017).

Chai et al. (2019) evaluaron cuantitativamente las emisiones de GEI durante el periodo 2015-2017. El consumo total de N fue de 12,63 Mt/año. Las emisiones de GEI asociadas con la fabricación de fertilizantes N se estimaron en 41,4 y 59,7 Tm CO_2 -eq/año para el trigo y maíz, respectivamente. Y las emisiones directas de N_2O derivadas de la fertilización con N sintético se estimaron en 35,82 y 69,44 Gg

N₂O/año. Por lo tanto, para reducir las emisiones de GEI resultantes de la fabricación de fertilizantes nitrogenados se puede adoptar tecnologías más avanzadas para la cadena de fertilizantes nitrogenados; además, la utilización de un tipo apropiado de fertilizante nitrogenado también es un medio relativamente eficaz de mejorar las emisiones de GEI inducidas por la fabricación de N sintético (Wang et al., 2017).

Según Bisht y Singh (2020), el empleo excesivo de fertilizantes químicos puede contribuir a la **acidificación del suelo** y a la formación de costras, reduciendo el contenido de materia orgánica, contenido de humus, especies beneficiosas, inhibiendo el crecimiento de las plantas, afectando el pH del suelo, aumentando las plagas e incluso liberan gases de GEI. La acidez del suelo reduce el contenido de fosfato de los cultivos, intensifica la concentración de iones nocivos en el suelo e impide el crecimiento de las plantas (Chandini et al., 2019). Un ejemplo representativo, es la aplicación del fertilizante de superfosfato triple que presenta oligoelementos como el cadmio y arsénico que se pueden acumular en las plantas y mediante las cadenas llegan a las personas y pueden causar problemas de salud (Chandini et al., 2019).

Los **cultivos agrícolas** son vegetales, o productos elaborados a partir de plantas, que se cultivan y se cosechan con fines de subsistencia o con fines de lucro (National Geographic, 2020). Estos cultivos, se han convertido en el método principal de alimentación especialmente porque se prevé que la población mundial supere la marca de 9.000 millones para el 2050 (FAO, 2017). Por ello, las tecnologías actuales abordan el desarrollo de diversas variedades mejoradas de cultivos; estas mejoras incluyen aumentar el rendimiento, mejorar la calidad y la resistencia a condiciones adversas (Sivasankar et al., 2021). Para Zahid et al. (2015) una de estas prácticas, es el uso de biofertilizantes que se emplean como una alternativa sustentable que favorece la disponibilidad de los elementos nutritivos, el crecimiento y el rendimiento de las plantas.

El uso de biofertilizantes, se refiere a preparaciones que contienen generalmente cepas activas de microorganismos en número suficiente que pueden

ayudar a las plantas a absorber nutrientes y mejorar la estructura del suelo (Galipothula, 2017).

Los **biofertilizantes** conocidos como “microorganismos inoculantes”, definidos como preparaciones microbianas que incluyen células vivas o células latentes competentes en la fijación de N, solubilizantes de fosfato u organismos celulíticos que se utilizan para colocar en el embrión, suelo o zonas de compostaje con la finalidad de aumentar la cantidad de microorganismos y acelerar algunos procesos microbianos e intensificar el paso o la forma para la absorción de los vegetales mediante la simbiosis (Umesha, Singh y Singh, 2018). Según Byiringiro y Chandra (2015), “los biofertilizantes contribuyen en el crecimiento de la vegetación al aumentar los nutrientes primarios y estimulan el crecimiento, cuando se inoculan en la semilla, en la superficie de la planta o en el suelo”. Los biofertilizantes son recursos renovables prometedores para el suministro de nutrientes, porque proporcionan un uso orgánico de microorganismos que vienen a formar parte importante de las prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Jama, 2018).

Los **tipos de biofertilizantes** en conjunto están relacionados de acuerdo a su naturaleza y función (Tabla 1). Los biofertilizantes que más se utilizan son fijadores de nitrógeno (fijador de N), solubilizante de potasio (solubilizador de K), solubilizante de fósforo (solubilizador de P) y rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (RPCV) (Mahdi et al., 2010).

Tabla 1. Agrupación de biofertilizantes según su naturaleza y función (Umesha et al., 2018)

Nro.	Naturaleza de los organismos	Funciones	Ejemplos de microorganismos
1	Vida libre	Biofertilizantes fijadores de N ₂	<i>Azotobacter, Beijerinckia, Clostridium, Klebsiella, Anabaena y Nostoc</i>
2	Simbiótico		<i>Rhizobium, Frankia y Anabaena azollae</i>
3	Simbiótico asociado		<i>Azospirillum</i>
4	Bacterias	Biofertilizantes P-solubilizantes	<i>Bacillus megaterium var phosphaticum, Bacillus subtilis,</i>

			<i>Bacillus circulans</i> y <i>Pseudomonas striata</i>
5	Hongos		<i>Penicillium sp.</i> y <i>Aspergillus awamori</i>
6	Micorrizas arbusculares	Biofertilizantes movilizadores de P	<i>Glomus sp.</i> , <i>Gigaspora sp.</i> , <i>Acaulospora sp.</i> , <i>Scutellospora sp.</i> y <i>Sclerocystis sp</i>
7	Ectomicorriza		<i>Laccaria sp.</i> , <i>Pisolithus sp.</i> y <i>Boletus sp.</i>
8	Micorrizas ericoides		<i>Pezizella ericae</i>
9	Micorrizas de orquídeas		<i>Rhizoctonia solani</i>
10	Solubilizante de silicato y zinc	Biofertilizantes para micronutrientes	<i>Bacillus sp.</i>
11	<i>Pseudomonas</i>	Rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas	<i>Pseudomonas fluorescens</i>

Biofertilizantes fijadores de nitrógeno (BFN). Según Bottomley y Myrold (2015), la fijación biológica de nitrógeno (FBN), es el proceso mediante el cual un grupo especializado de microorganismos que son portadores de un complejo enzimático (nitrogenasa) fijan el N atmosférico en una forma orgánica utilizable para las plantas NH_4^+ . Los microorganismos denominados colectivamente "diazótrofos" son capaces de fijar biológicamente N_2 en asociación con las raíces de las plantas. Específicamente, las **rizobacterias simbióticas** inducen modificaciones estructurales y fisiológicas de las células bacterianas y las raíces de las plantas en estructuras especializadas llamadas nódulos (Aasfar et al., 20219). En la agricultura, las bacterias fijadoras de N_2 asociadas con las leguminosas más estudiadas son las bacterias conocidas como rizobios, pertenecientes a la familia Rhizobiaceae (*Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* y *Allorhizobium*) (Shamseldin et al., 2017). La inoculación de *Rhizobium* mejoró significativamente el contenido de N en un 20%, el rendimiento y el crecimiento de las plantas de alfalfa (Ben-Laouane, 2021). Asimismo, (Suthar, Hingurao y Parmar, 2017) mencionan que la aplicación de biofertilizantes que contienen especies de *Rhizobium* podrían fijar entre 40 y 250 kg N / ha anualmente y aumentar el rendimiento agrícola ~ 20%. Esta cepa tiene la capacidad de mejorar el crecimiento de las plantas al producir exopolisacáridos y auxinas, aumentar el

estado de los nutrientes en la rizosfera y proporcionar elementos esenciales como NPK (Raklami et al., 2019). Además, se ha encontrado que *Frankia* fija el nitrógeno en la zona de la raíz de la atmósfera en su hospedante y de plantas no hospedantes (Thomas y Singh, 2019).

Otras bacterias fijadoras son las de **vida libre** como *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acetobacter*, *Azomonas*, *Bacillus*, *Erulidium* *Derxia*, *Corynebacterium*, *Campylobacter*, etc. (Mitter et al., 2021). Asimismo, Amirnia et al. (2021) emplearon bacterias que fijan el N (*Azotobacter chroococcum*) para el cultivo de lentejas y observaron la mejora del rendimiento de biomasa y semilla en 36,9% y 28,4. Además, el porcentaje de N de la semilla fue influenciado por el biofertilizante en 4,62%. Del mismo modo, Asiloglu et al. (2020) informaron que *Azospirillum* sp. puede fijar nitrógeno y aumentar el crecimiento de la planta de arroz al mejorar la biomasa de la planta y la absorción de nitrógeno. Por otra parte, Ladha et al. (2016) sostienen que, en un estudio de evaluación de 50 años, las estimaciones de FBN no simbióticas para los sistemas de producción de maíz, arroz y trigo aportaron un promedio de 15,5 kg N ha⁻¹.

Biofertilizantes solubilizantes y movilizadores de fosfato (BSP y BMP).

La planta contiene un aproximado de 0,2% de fósforo (P) en peso seco y es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de vegetales, porque ayuda en la elongación, en la fotosíntesis, en la transferencia de energía y proliferación de las raíces para la adquisición de más nutrientes y agua del suelo (Singh et al., 2020). En comparación con otros macronutrientes, el P es hasta ahora el nutriente menos móvil disponible para las plantas en la mayoría de las condiciones del suelo (Kalayu, 2019). Esto se debe a que la mayor parte del P del suelo está en forma ocluida o insoluble (Soumare et al., 2020). Los (BSP) convierten el fosfato insoluble, como HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- en la forma soluble a través del uso de varios mecanismos, incluida la producción de ácidos orgánicos, la quelación y las reacciones de intercambio iónico (Nosheen et al., 2021). Entre las poblaciones microbianas, las bacterias solubilizadoras de fosfato representan del 1 al 50%, mientras que los hongos representan solo el 0,1–0,5% de las actividades de solubilización del fosfato (Antoun, 2012). Según Anand (2016), las cepas de los géneros bacterianos más

conocidos como solubilizadores de fosfato son las *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium* y *Enterobacter*, junto con los hongos *Penicillium* y *Aspergillus*. Además, Yu et al. (2019) refieren que las BSP juegan un papel crucial en la transformación y el ciclo biogeoquímico del P insoluble y soluble en los agroecosistemas. Rezakhani et al. (2019) indican que, la inoculación con BSF como biofertilizantes aumenta la absorción de P, mejora el contenido de N y P de las hojas (Wu et al., 2019), promueve el crecimiento de las plantas (Parastesh et al., 2019) y ayudan a aumentar el rendimiento de los cultivos (Jaybhay et al., 2017).

Kumar et al. (2016) identificaron que las *Pseudomonas putida* y *P. fluorescens* eran los más eficaces solubilizadores de P y mitigadores del estrés por salinidad. Cuando estas cepas se inocularon en *Curcuma longa* L., mejoraron significativamente el número de hojas, la altura del tallo y la biomasa de la planta. De igual manera, Kour (2020) informa que las *Pseudomonas libanensis* es una cepa tolerante a la sequía para solubilizar P, e indica que la inoculación de BSF en plántulas de trigo en condiciones de invernadero mejoró el crecimiento de la planta y alivió la tolerancia a la sequía.

Los microbios movilizadores de fosfato pueden movilizar las formas inmóviles del fósforo; es decir, transfieren y movilizan el fosfato insoluble de las capas del suelo a la corteza de la raíz (Suthar et al., 2017). Según Etesami et al. (2021), la micorriza arbuscular es un ejemplo de hongos movilizadores de fosfato, donde los hongos ingresan en las raíces y aumentan la superficie de las raíces, estimulan los procesos metabólicos y absorben los nutrientes en las raíces. Las BSP a veces actúan como movilizadores de fosfato, y en condiciones óptimas, tienen potencial para solubilizar / movilizar cerca de 30 a 50 kg de P_2O_5 / ha, por lo que el rendimiento del cultivo podría aumentar entre un 10 y un 20% (Asoegwu, 2020).

Biofertilizantes solubilizantes de potasio (BSK), el potasio es el segundo nutriente vegetal más abundante e importante después del N y el P. En el suelo, solamente el 0.1-0.2% está disponible para las plantas y el resto está presente como mineral K que no puede ser absorbido por los vegetales (Etesami et al., 2017). Este mineral no intercambiable está atrapado dentro de las estructuras cristalinas

de los minerales feldespato y mica (p. Ej., Moscovita, biotita) (Srivastava et al., 2019). Algunos microorganismos que pueden incrementar el K disponible mediante la solubilización son *Bacillus*, *Rhizobium*, *Acidithiobacillus*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, y *Burkholderia*) y hongos (*Aspergillus*, *Cladosporium*, *Macrophomina*, *Sclerotinia*, *Trichoderma*, *Glomus*, y *Penicillium*) (Kour et al., 2020). Según Sattar et al. (2019), el mecanismo más conocido, por la cual la comunidad microbiana solubiliza el K, es la síntesis y descarga de ácidos orgánicos (tartárico, cítrico, oxálico, glucónico, láctico y málico); es decir, estos ácidos conducen a la acidificación de su entorno y, por lo tanto, liberan acidólisis de K^+ de los minerales. Asimismo, Raji y Thangavelu (2021) realizaron la inoculación de BSK (*B. licheniformis* y *B. subtilis*) en el cultivo de tomate durante 192 h, obtuvieron como resultado una cantidad de 58.40 y 47.05 $\mu\text{g} / \text{mL}$, de K solubilizado, y una mejora del crecimiento de las plantas, del área foliar, de la longitud total de las raíces y de la biomasa en los diferentes tipos de suelo. Sin embargo, un estudio anterior de Saha et al. (2016) reportaron que las *B. licheniformis* aislado de la rizosfera de trigo (*Triticum aestivum*) después de 504 h de incubación, solo solubilizaron 7.22 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de K. De igual importancia, los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) mejoran la adquisición de micronutrientes incluido el potasio, en plantas hospedantes de simbiosis micorrícica (Hart et al., 2017)

Los **Biofertilizantes oxidantes de azufre**, la mayor parte del azufre (S) en los suelos (~ 95%) están en forma orgánica (S con enlaces C o ésteres de sulfato), mientras que las formas inorgánicas solo representan el (5-10%). La forma más común en la que las plantas absorben el S en forma de sulfatos SO_4^{2-} . Es por ello, que se emplean microorganismos que oxidan el S a sulfatos (Ju et al., 2018). Este proceso, es llevada a cabo por bacterias quimioautotróficas y fotosintéticas que oxidan S elemental (S^0) o compuestos como el sulfuro de hidrógeno, el sulfito y el tiosulfato en SO_4^{2-} (Macik, Gryta y Frac, 2020). Estas bacterias pueden usar S^0 como fuente de energía, liberando sulfato disponible para las plantas (Metter et al., 2021). Algunas bacterias competentes con la oxidación de S son Xanthobacter, Alcaligenes, Bacillus, Pseudomonas, Streptomyces y Thiobacillus, y algunos hongos como hongos como Fusarium, Aspergillus y Penicillium (Macik, Gryta y Frac, 2020). De igual forma, Rana et al. (2020) indican que la bacteria común que oxida

el S es *Thiobacillus thiooxidans*, un quimio-litotrofo que utiliza tiosulfato y sulfuro como fuentes energéticas para producir ácido sulfúrico, dando como resultado valores de pH tan bajos como 1.0 debido a su crecimiento.

Biofertilizantes solubilizantes de zinc, el zinc es un micronutriente que se encuentra en proporciones pequeñas (5 a 100 mg/kg) en los tejidos disponibles para las plantas. El Zn generalmente se encuentra en el suelo en formas intercambiables, ligadas a carbonatos, complejados orgánicamente y adsorbidos en minerales arcillosos (Hidoto et al., 2017). Itelima et al. (2018) indican que el zinc participa en la síntesis de hormonas de crecimiento, y si existe deficiencia de este nutriente se puede producir un retardo en el desarrollo de los brotes, de las hojas, y una mayor susceptibilidad a la luz, al calor y a las infecciones fúngicas, esto afecta el rendimiento de los granos, el crecimiento de las raíces, la formación de polen y la absorción y transporte de agua. Algunos inoculantes microbianos identificados para solubilizar la forma compleja de zinc en el suelo son las *Micorrizas*, *Saccharomyces spp.* y varios géneros de rizobacterias como *Pseudomonas spp.* y *Bacillus spp.*, estos microbios aumentan la disponibilidad de Zn en el suelo y solubilizan el zinc mediante ligandos quelatos y sistemas oxidorreductores (Itelima et al., 2018).

Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) producen fitohormonas que promueven el crecimiento de las raíces, mejoran la disponibilidad de nutrientes e incrementan el rendimiento de los cultivos (Erdemci, 2020). Asimismo, Arif et al. (2017) indican que estas rizobacterias producen exopolisacaridos, mejoran la actividad de la quitinasa, solubilizan fosfatos, producen sideróforos y auxinas, que mejoran la actividad de la desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (AAC), para la mejora de la productividad y fertilidad del suelo. Asimismo, Rai et al. (2020), mencionan que la inoculación de RPCV imparte varios efectos beneficiosos a la planta y algunos de estos géneros incluyen, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Acinetobacter*, *Actinoplanes*, *Bacillus*, *Frankia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Micrococcus*, *Streptomyces*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, etc.

Nazneen et al. (2021) emplearon la bacteria *Serratia proteamaculans* con actividad desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) in vitro para mejorar el crecimiento y rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.). Obtuvieron como resultados, el aumento de la biomasa de la planta hasta un 27% y el rendimiento de grano hasta un 33,3%. Por su parte, (Yarzabal et al., 2018) inocularon *Pseudomonas spp.* en semillas de trigo, e indican que estas cepas promovieron la germinación y el crecimiento del cultivo a bajas temperaturas y, además, inhibieron el crecimiento de algunos patógenos.

En cuanto a los **métodos de aplicación de inoculantes**, se ha trabajado poco para optimizar los procesos de inoculación. Cuando se emplean caldos de cultivo frescos con un gran número de bacterias viables (mayor a 108/ ml) el método probablemente no tenga gran importancia Kennedy et al. (2004). Algunos de estos métodos utilizados para la aplicación a las plantas de cultivo se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Métodos de aplicación para algunos fertilizantes PCV (Kennedy et al., 2004).

Biofertilizante	Método de aplicación	Referencias
<i>A. chroococcum</i>	Raíces de semillas o plántulas sumergidas en cultivo de caldo antes de la siembra; aplicación al suelo en el vivero o en el campo principal; cima apósitos o aplicaciones foliares	Kannaiyan y col (1980)
<i>Azospirillum spp.</i>	Semilla inoculada antes de la siembra, raíces de las plántulas sumergidas antes del trasplante; aplicación de suspensión bacteriana al suelo	Creus et al. (1996), Sapatnekar et al. (2001)
<i>H. seropedicae</i> <i>B. vietnamiensis</i>	Inoculación de semillas Inoculación de la semilla antes de la siembra, inmersión de la raíz de la plántula antes del trasplante	Riggs et al. (2001), Trân Van et al. (2000)
<i>Burkholderia sp.</i> <i>R.</i> <i>leguminosarum</i> <i>bv. trifolii</i>	Inoculación de semillas antes de la siembra, inoculación de plántulas Inoculación de semillas en suspensión bacteriana antes de la siembra, recubrimiento de semillas con cepas de inóculo y aplicación de suspensión	Yanni y col (1997)

	bacteriana en el suelo del campo de arroz trasplantado	
<i>R. etli</i> bv. <i>Phaseoli</i> <i>A. caulinodans</i> <i>A. diazotrophicus</i>	Inoculación de plántulas Inoculación de semillas antes de la siembra Inoculación de plántulas y plantones de caña de azúcar	Gutiérrez-Zamora y Martínez-Romero (2001)

Di Benedetto y Tognetti (2016) definen al **crecimiento de cultivos** como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta y, para determinar este parámetro, se pueden medir los cambios en el volumen. En el caso que se presenten dificultades en este tipo de mediciones, se puede determinar las variables relacionadas, como la acumulación de peso, las variaciones en la altura o el diámetro, o los cambios que presente el área foliar. Según (Byiringiro, 2015), para determinar la altura de cada planta de guisante se mide al final de la etapa de floración utilizando una escala de metros desde el suelo hasta la parte superior.

Algunos investigadores que aplicaron biofertilizantes para el crecimiento de cultivos:

Youssef et al. (2021) exploraron el efecto del crecimiento de las plantas de stevia bajo la influencia de biofertilizante líquido de microorganismos efectivos (ME) que contenía *Lactobacillus casei* (9×10^7 UFC), *Lactococcus lactis* (5×10^7 UFC), *Saccharomices cerevisiae* (2×10^6 UFC), *Rhodopseudomonas palustris* (4×10^6 UFC). Obtuvieron como resultados, un incremento en la altura de las plantas (59,5 cm) y un rendimiento de hojas secas que alcanzó los 17,39 g.

Aguilera (2016) evaluó el crecimiento de la soja empleando RPCV (*Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*) a razón de 150 ml/50 kg semilla, *Trichoderma viride* (500 g/ha), *Mycorrhiza* (1,5 kg/ha), *Penicillium Janthinellum* (500 g/ha) y *Microgeo* 320 L/ha. Determinó que la aplicación del biofertilizante no afectó la altura de la planta y en cuanto al rendimiento, el tratamiento con *Trichoderma viride* y *Bradyrhizobium japonicum* alcanzó una media de 4 129 kg ha⁻¹ en comparación con el tratamiento sin inocular de 2 297.25 kg ha⁻¹.

El rendimiento es la cantidad de producto de la cosecha en un área específica (cantidad de productos de la cosecha/área de cultivo) (Ferment y Benson, 2011).

Para calcular el rendimiento de grano (Byiringiro, 2015) indica que, en la etapa de madurez del cultivo, todas las parcelas se cosechan manualmente, y se registra el peso de las semillas. Luego el rendimiento de la parcela se convierte en kg / ha mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento de semillas (kg/ha)} = \frac{\text{parcela de rendimiento de semillas (kg)}}{\text{Tamaño de la parcela}} \times 10000$$

Estudios previos que evaluaron el rendimiento aplicando biofertilizantes son los siguientes:

Recharte (2015) aplicó microorganismos efectivos en el cultivo de tomate y obtuvo como resultado, un incremento en el rendimiento de cultivo en un promedio de 5 440,90 kg/ha, en comparación con el testigo que obtuvo 3 198, 50 kg/ha.

Kalita et al. (2019) trataron las semillas con *Azotobacter* y Bacterias solubilizantes de fósforo (BSF) sobre el crecimiento y rendimiento de Toria. En sus resultados observaron que las semillas inoculadas con *Azotobacter* y BSF 40 g/kg semilla + 75% NPK alcanzaron un rendimiento máximo de grano (1135 kg/ha), la mayor altura de la planta (88,52 cm), y el peso de 1000 semillas (4,82 g).

Asadu et al. (2020) Aplicaron inóculos microbianos, *Streptomyces spp* y *Rothia spp*, para el rendimiento de los cultivos de okra y maíz y determinaron que después de la segunda semana del trasplante, el promedio de N en la hoja de Okra y maíz fue de 5,42% y 4,74%, respectivamente. En cuanto a la altura, determinaron un promedio de 26,1 cm y 78,53 cm para la planta de okra y maíz, respectivamente.

Gou et al. (2020) emplearon como biofertilizantes rizobacterias beneficiosas (*Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Sinorhizobium meliloti*) para el crecimiento y rendimiento en chile (*Capsicum annuum L.*). El biofertilizante promovió significativamente el crecimiento en un 58.8%, el diámetro del tallo se

incrementó en 31%, la longitud y el ancho de las hojas aumentó en un 16,9% y 13,7%, respectivamente, y el rendimiento aumentó en un 115%.

Liu et al. (2019) utilizaron rizobacterias *Enterobacter aerogenes* y *Pseudomonas aeruginosa* con actividad de ACC desaminasa para mejorar el rendimiento y calidad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.). Sus resultados demuestran que las plantas inoculadas con *E. aerogenes* y *Ps. aeruginosa* alcanzaron una altura de 60,9 cm y 61,9 cm, respectivamente. En cuanto al rendimiento alcanzó los 12 362,85 kg/ha y 12 432,50 kg/ha.

Dong et al. (2019) emplearon una suspensión de gel líquido (T1) que contenía un consorcio de bacterias fototróficas y fijadoras de N (*Burkholderia* y *Rhizobium*) cultivadas in vitro, este gel contenía más de 8000 propágulos/ml y el contenido de T2 con actinomicetos Gram-positivos (*Actinomyces*), *Bacillus* y *Aspergillus* que comprendía más de 10.000 propágulos/mL para el rendimiento de *Panax ginseng*. Como resultados obtuvieron que, el T1 promovió el crecimiento de la raíz y el rendimiento de P. en un 16,5% y un 17%, respectivamente, el T2 mejoró el crecimiento y rendimiento en un 13,5-15,7% y un 18,1-19,1%, respectivamente.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación fue de enfoque cuantitativo, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), representa una serie de procesos que están secuenciados y enunciados de manera convincente, siempre que en cada fase se muestren los pasos en el orden definido en cada etapa; premisa que restringe y delimita una gran cantidad de objetivos del proyecto. Asimismo, se realiza una revisión bibliográfica con el fin de estructurar un marco teórico adecuado que permita definir las variables, se obtiene un diseño que analiza y mide las variables mediante el método estadístico, para finalmente llegar a las conclusiones.

La presente investigación fue de tipo aplicada, la cual busca una solución para la problemática planteada en base a los hallazgos de la investigación; asimismo, para Mumba (2018) este tipo de investigación consiste en adquirir conocimientos sobre la aplicación práctica de la base teórica ya construida que se espera que resuelva un problema crítico y se caracteriza por ser específica de la solución y aborda cuestiones prácticas.

El diseño de la investigación fue no experimental de tipo transversal y análisis retrospectivo, debido a que se estudia la variable sin ser manipulada ni se tiene el control directo sobre la misma. Esta investigación estará orientada a recopilar sucesos o fenómenos de un tema en específico del autor, a través de artículos y revisiones (Hernández et al., 2014). El alcance transversal consiste en la recopilación de datos en un intervalo de años (Korrapati, 2016). En el estudio retrospectivo se utiliza datos existentes que se han registrado en las investigaciones (Assaad, Krafft y Yassin, 2018).

En esa misma línea, el nivel del estudio fue de descriptivo, ya que su objetivo es explicar los datos recolectados y la caracterización de la población o fenómeno estudiado que se aplica a diferentes variables, y así poder comparar grupos relacionados con la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.2. Variables y Operacionalización

La operacionalización de variables de estudio se muestra en el Anexo 01.

Variables de investigación:

V. independiente: Uso de biofertilizantes a base de microorganismos

V. dependiente: Crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

3.3. Población, muestra y muestreo

La **población** es aquel grupo de componentes infinitos o finitos que poseen la peculiaridad de ser extensivos en las conclusiones de la exploración científica realizada (Hernández et al., 2014). Por lo tanto, la población de la presente investigación estuvo conformada por 1 680 estudios que guardan relación con el uso de biofertilizantes para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.

La **muestra** es una porción de la población que se somete a ciertas condiciones de acuerdo a las variables dependientes de la investigación sobre el cual se tomarán las estadísticas o las mediciones que nos permitan obtener resultados y datos concluyentes (García, Rending y López, 2013). Para esta investigación, la muestra estuvo constituida por 1 245 investigaciones que cumplen con los criterios de inclusión, donde 592 investigaciones corresponden a la base de datos de Scopus y 653 investigaciones están indexadas en la base de datos de Web of Science.

Para el **muestreo** se consideró el análisis bibliométrico, que se define como una evaluación estadística de los artículos investigados y es una forma eficaz de medir la influencia de la publicación (Iftikhar et al., 2019). Este muestreo fue no aleatorio o no probabilístico por conveniencia, ya que los estudios que conforman la muestra se seleccionaron de acuerdo a la relevancia que guarda con el tema de investigación.

La **unidad de análisis** de este estudio fue cada artículo tomado de la muestra, el cual en su contenido presenta información relevante sobre biofertilizantes para el crecimiento y rendimiento de cultivos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica es definida como una herramienta que recolecta una data mediante la consulta bibliográfica y otros tipos de materiales, que se emplean de una manera peculiar para cumplir con el objeto de estudio (Hernández et al., 2014).

La técnica empleada fue el análisis bibliométrico, para el análisis de documentos, con la finalidad de obtener información válida y recolectar de acuerdo al tema planteado, mediante estudios tanto experimentales como descriptivos, haciendo uso de filtros, palabras clave, acompañados tanto de criterios de inclusión y exclusión.

Para la recolección de información de las investigaciones seleccionadas, los instrumentos empleados fueron 3 fichas de recolección de información detalladas en el Anexo 2.

Ficha 1: Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos usados para el crecimiento y rendimiento de cultivos.

Ficha 2: Dosis de los biofertilizantes.

Ficha 3: Efecto de diferentes biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento.

3.5. Validez y confiabilidad de los instrumentos

El instrumento fue validado por tres expertos, quienes emitieron un ponderado a través de una ficha para la validación del instrumento. Según (De Souza et al., 2017), consideran que la validez se refiere a la propiedad de un instrumento para medir exactamente lo que se plantea hacer.

El instrumento sometido a juicio de expertos, fue aprobado por los profesionales, quienes indicaron la existencia de coherencia y conformidad tanto de las dimensiones e indicadores propuestos. Según sus resultados presentaron un promedio de 92%; es decir, si cumple con las disposiciones mínimas para poder aplicar.

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo del estudio de investigación se siguió el diagrama de flujo del proceso que se muestra en la Figura 2.

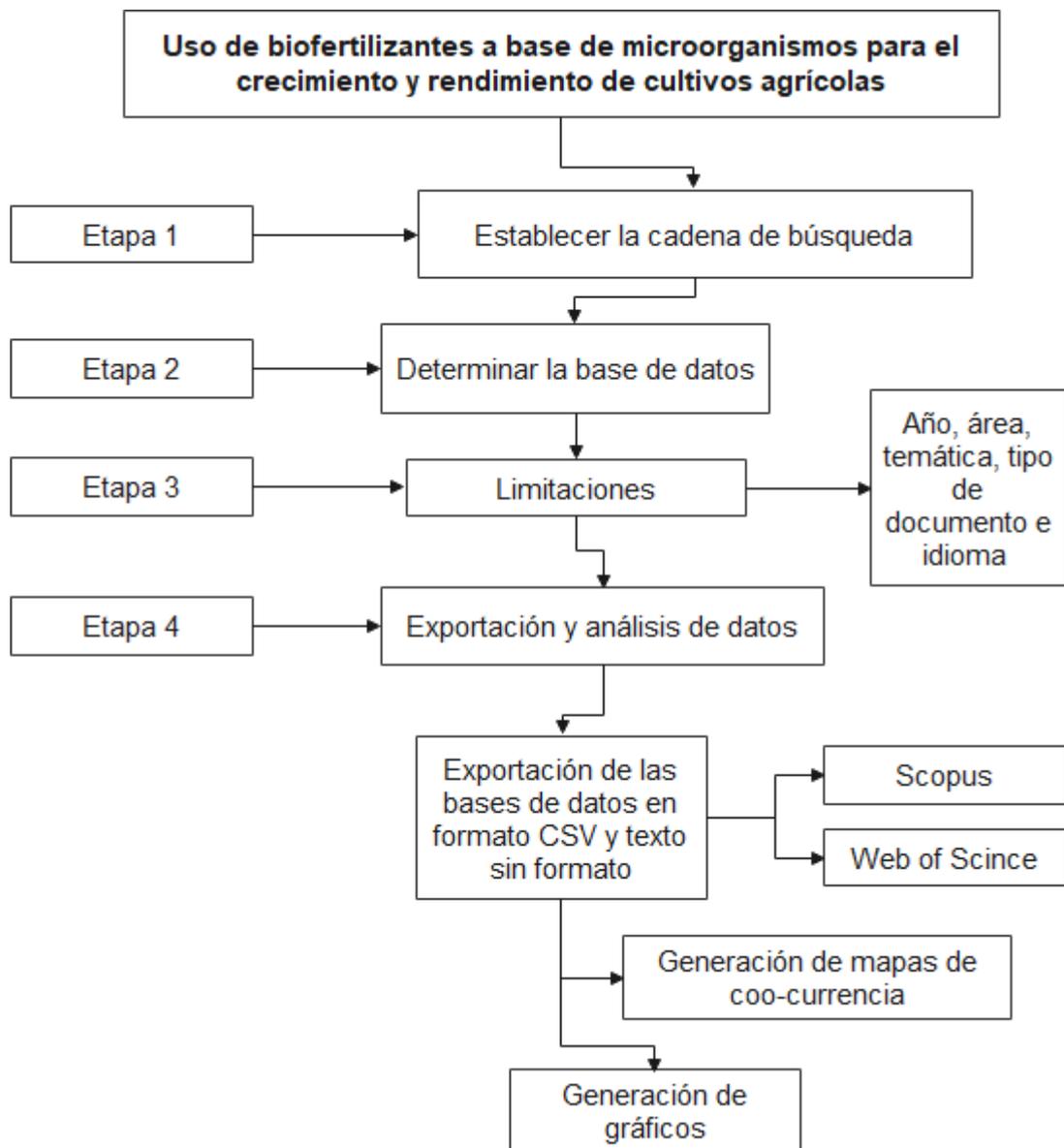


Figura 2. Diagrama esquemático de cada uno de los pasos seguidos para el análisis bibliométrico.

Para la recopilación de investigaciones, se incluyeron artículos y Reviews referentes al uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos, siguiendo los lineamientos del proceso esquemático.

Esta investigación fue un estudio bibliométrico descriptivo que incluye información relacionada al tema desarrollado mediante la búsqueda de información acerca de ingeniería y medio ambiente.

El método bibliométrico se empleó para la evaluación estadística en relación al tema de estudio. Este método facilita procesar los datos de los artículos y determinar el tamaño, crecimiento y cómo están distribuidas estas investigaciones (Rivera y Solorzano, 2020).

Etapa 1: Base de datos

El estudio utilizó la base de datos Web of Science (WoS) y la base de datos Scopus. Las bases de datos seleccionadas cubren la mayoría de las revistas internacionales clave e indexan una gran cantidad de contenido científico de calidad y se complementan entre sí, ya que ninguno de los recursos incluye todo (Burnham, 2006).

Etapa 2: Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda en las bases de datos se utilizó las palabras clave como: Biofertilizer, Bio-fertilizers, microorganisms, crop yield, plant growth, agriculture, cultivation y crop production. Para delimitar más la búsqueda de las investigaciones se empleó el uso de operadores booleanos: OR y AND.

Para el análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes para el recrecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas se empleó la cadena de búsqueda que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Estrategia de búsqueda

Base de datos	Cadena de búsqueda
Scopus	(Biofertilizer OR “natural fertilizer” OR bio-fertilizer) AND (agriculture or agricultural) and (“crop growth” OR “crop
Web of Science	yield” OR benefits OR productivity or cultivation)

Etapas 3: Inclusión y exclusión

Para el estudio sobre uso de biofertilizantes para el crecimiento y rendimiento de cultivos, se tomó en cuenta el alcance transversal que consta de los últimos 10 años, además se incluyó las palabras claves, el área temática, el idioma (inglés), y los tipos de documentos (artículos científicos y revisiones), para maximizar la precisión del resultado de la investigación.

El número total de las investigaciones arrojadas por ambas bases se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Número de estudios de las bases de datos

Base de datos	Investigaciones sin filtrar	Investigaciones después del filtrado
Scopus	877	592
WoS	803	653
Total	1 680	1 245

Debido a la especificidad del presente análisis bibliométrico, se hizo una revisión de los artículos que incluía tanto: título, abstract, y en algunos casos revisión de texto completo. En cuanto a las investigaciones que estaban en ambas bases de datos se optó por incluir la referencia bibliográfica de la data de Scopus.

Etapas 4: Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico se llevó a cabo utilizando los documentos disponibles en la base de datos de Scopus y Web of Science Web of Science y utilizando la técnica de mapeo con la ayuda de VOSviewer. Los datos de ambas bases se exportaron al programa Microsoft Excel, para la obtención de figuras y tablas. Para el análisis de redes se realizó utilizando la co-citación de autores, co-ocurrencia de palabras clave y co-autoría de países.

Análisis de datos con el software VOSviewer

VOSviewer es una herramienta que sirve para construir y visualizar mapas bibliométricos. “Este software incluye las distribuciones de las revistas de publicación, los autores, las afiliaciones y los artículos muy citados que informan el

progreso, así como la frecuencia de las palabras clave y sus relaciones que se encuentran en el motor de búsqueda” (Hamidah et al., 2021).

Este estudio utiliza este software para hacer varios mapas de visualización, incluyendo mapas de co-ocurrencia, citas y co-citas de palabras clave basados en datos bibliográficos sobre uso de biofertilizantes para el crecimiento y rendimientos de cultivos agrícolas.

Cada círculo en el mapa visual de VOSviewer muestra un término. El círculo y el tamaño del texto muestran el término actividad. El círculo grande y el texto indican los términos que se prefieren en un campo. La distancia entre los dos términos indica el nivel de relación entre ellos. En decir, si la distancia entre dos términos es pequeña, la relación entre ellos es más sólida (Hamidah et al., 2021).

3.7. Aspectos éticos

Esta investigación ampara primordialmente la propiedad del investigador, en sus teorías planteadas y conocimientos que presentaron, en su redacción e indagación científica se tiene como pilares a la honestidad y la ética, por medio de citas adecuadas. Además, se respeta la autoría de los artículos científicos usados mediante el correcto citado usando la norma internacional ISO-690. Por último, se utilizó el Software Turnitin para verificar el nivel de similitud y la originalidad de la investigación.

IV. RESULTADOS

En la Figura 3 se presentan los procesos de seguimiento para obtener los resultados de las investigaciones incluidas.

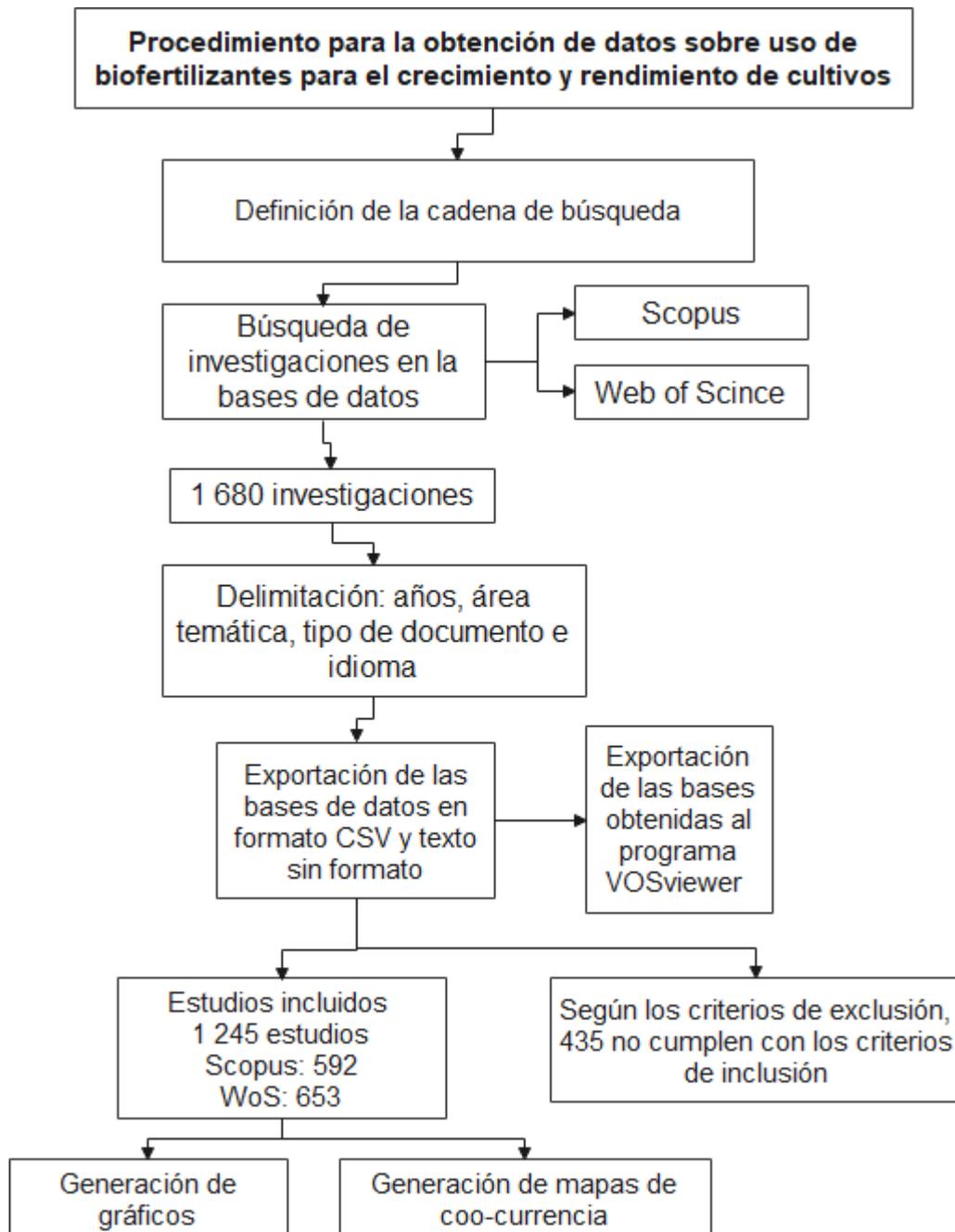


Figura 3. Proceso de obtención de investigaciones incluidas para los resultados

En la siguiente descripción se detalla cada proceso para la obtención de resultados.

- Los estudios más relevantes se obtuvieron de la base de datos de Scopus y Web of Science, aplicando o insertando la estrategia de búsqueda. Se obtuvo como resultado un total de 1 680 investigaciones posiblemente consideradas.
- De este total de investigaciones se delimitaron según año, área temática, tipo de documento e idioma
- Los estudios excluidos fueron 435; es decir, investigaciones que no presentan los criterios de inclusión.
- Finalmente, las investigaciones consideradas de acuerdo a los criterios de inclusión fueron 1 245 investigaciones.

4.1. Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos utilizados para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

En la Tabla 5 se recogen los datos de acuerdo al tipo de biofertilizante a base de microorganismos y la metodología empleada para diferentes cultivos agrícolas.

Tabla 5. Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos

Tipo de biofertilizante	Tipo de Cultivo	Método de aplicación	Función	Nombre del microorganismo	Observaciones	Referencia (Autores)
Fijadores de nitrógeno	Arroz	Inoculación de la semilla antes de la siembra	Aumentar el contenido de nitrógeno del suelo al fijar el N atmosférico y ponerlo a disposición de las plantas	<i>Rhizobium</i>	Aumentó el contenido de N en el suelo (184 kg/ha)	Thiyageshwari et al. (2018)
	Trigo	Semillas tratadas con consorcios microbianos líquido		<i>Azotobacter</i>	Aumentaron la productividad y el perfil de nutrientes	Jain et al. (2021)
	Maní	Inoculación con cepas en suspensión		<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Mejoraron el contenido de N (770,22 mg/kg) y K (236,85 mg/kg)	Wang et al. (2021)
	Arroz	Inoculación con de la semilla		<i>Anabaena variabilis</i>	Aumento el contenido de N en un 36% aproximadamente	Bao et al. (2021)
	Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Producto comercial utilizado como inoculante biológico de semillas		Endomicorriza	Promovió el crecimiento y aumento el contenido de nutrientes	Erdemci (2020)
				<i>Bacillus megaterium</i>		
	Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	Aplicación de la mezcla de biofertilizantes alrededor del tronco		<i>Azotobacter chroococcum</i> , <i>Azospirillum brasilense</i> y <i>Bacillus megaterium</i>	Aumentaron el contenido de nutrientes: N (0,5%), P (0,5%) y K (1,17%)	Das et al. (2017)
	Garbanzo y maíz	Aplicación antes de la siembra		<i>Rhizogold</i>	Mejora significativa del contenido de N (2,79g/kg), P (0,61g/kg) y K (1,56g/kg)	Zaman et al. (2017)
Maíz	Inoculación de la semilla con la cepa bacteriana	<i>Azospirillum brasilense</i>	Mejoro el contenido de nutrientes de N y K e incremento el rendimiento y promovió el crecimiento	Pedrosa et al. (2020)		

	Caña de azúcar	Inoculación de la semilla antes de la siembra		<i>Azotobacter chroococcum</i>	El contenido de N disponible 376 kg/ha	Gosal et al. (2012)
	Stevia (<i>Stevia rebaudiana Bertoní</i>)	Riego por inmersión después del trasplante		<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Aumentó el contenido de N (2,5%), P (0,7%) y K (4%)	Youssef et al. (2021)
	Berenjena	Inmersión radicular de plántulas		<i>Rhizobium sp., Azotobacter sp., Azospirillum sp.</i>	Nutrientes disponibles en el suelo: N (364kg/ha) y P (27,70kg/ha)	Upamanya et al. (2020)
	garbanzo verde (<i>Vigna mungo L.</i>)	Aplicación mediante pulverización foliar		<i>Chlorella vulgaris</i>	Contenido de nutrientes en el suelo: N (3,56mg/kg), P (25,4mg/kg), y K (446mg/kg)	Dineshkumar et al. (2020)
	Arroz	Método de empapado del suelo		<i>Chlorella vulgaris, Spirulina platensis</i>	Contenido de nutrientes: N (0,24g/kg), P (1,81g/kg) y K (2,18g/kg)	Dineshkumar et al. (2018)
	Maíz (<i>Zea mays L.</i>)	Suelo tratado con microalgas			N (18,9mg/kg), P (14,29mg/kg) y K (60,86mg/kg)	Dineshkumar et al. (2017)
Solubilizantes de fosfato	Trigo	Semillas tratadas con consorcios microbianos líquido	Solubilizar las formas insolubles de P en el suelo en formas solubles secretando ácidos orgánicos y bajando el pH del suelo para disolver los fosfatos unidos	<i>Enterobacter cloacae</i>	Solubilizó el fosforo e incremento la productividad del cultivo	Jain et al. (2021)
	Arroz	Inoculación de la semilla		Phosphobacterium (T10)	Solubilizó el contenido de P disponible (11,8 kg/ha)	Thiyageshwari et al. (2018)
	Trigo	Producto comercial se utilizó como inoculante biológico de semillas		<i>Bacillus subtilis</i>	Mejóro el contenido de P (2kg/ha)	Erdemci (2020)
	Maní	Inoculación con cepas bacterianas en suspensión		<i>Burkholderia cepacia</i>	Contenido de fósforo (506,69mg/kg) disponible en el suelo	Wang et al. (2021)
	Arroz (<i>Oryza sativa L.</i>)	Inoculación de semillas con cada suspensión		<i>Rahnella aquatillis, Enterobacter sp., Pseudomonas</i>	Aumentó el rendimiento de grano (7%), el número de	Bakhshandeh et al. (2015)

		bacteriana durante 5h a temperatura ambiente		<i>fluorescens</i> y <i>Pseudomonas putida</i>	tallos (7%) y la altura de la planta (20%)	
	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Inoculación de semillas en suspensión de esporas		<i>Aspergillus flavus</i>	Solubilizó el fosfato en 5 días la cantidad de 6,63 mg/kg	Omomowo et al. (2020)
	Berenjena	Inmersión radicular de plántulas		<i>Bacillus sp.</i>	Contenido de P en el suelo (27,7 kg/ha)	Upamanya et al. (2020)
Movilizadores de fosfato	Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	Aplicación del biofertilizante alrededor del tronco	Transfiera fósforo del suelo a la corteza de la raíz	HMA (<i>Glomus mosseae</i>)	Contenido de P disponible en el suelo (0,47kg/ha)	Das et al. (2017)
Promotores del crecimiento vegetal	Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Inoculación con cepa bacteriana	Promueven el crecimiento de las plantas, como la producción de exopolisacáridos, la actividad de la quitinasa, la solubilización de fosfato, la producción de sideróforos, la producción de auxinas y la actividad de ACC-desaminasa	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Mejora el rendimiento y la calidad del cultivo	Arif et al. (2016)
	Arroz	Inoculación de las semillas con bacterias		<i>Enhydrobacter aerosaccus</i>		Thiyageshwari (2018)
	Lenteja	Inoculación de la semilla		<i>Serratia marcescens</i> , <i>Bacillus megaterium</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>		Incrementa la disponibilidad de nutrientes o factores de crecimiento vegetal
	Pimientos (<i>Capsicum annuum</i> L.)	El desove sólido preparado (con más de 10 ¹⁰ g ⁻¹ dw conidios y fertilizantes biológicos se mezclaron con los suelos secados al aire		<i>Trichoderma guizhouense</i>	Aumentó el rendimiento del cultivo y se correlaciona positivamente con las actividades enzimáticas, el carbono orgánico del suelo, el N total y el P disponible	Liu et al. (2020)
	Trigo	Inoculación de las semillas antes de la siembra	Solubilizan el potasio (silicatos)	<i>Enterobacter hormaechei</i>	Mejoró el contenido de nutrientes incluido el K	Jain et al. (2021)

Solubilizante y movilizadores de K	Arroz	Inoculación con hongo	mediante la producción de ácidos orgánicos	<i>Aspergillus sp</i>	Contenido de K disponible en el suelo (2kg/ha)	Thiyageshwari et al. (2018)
Solubilizantes de zinc	Trigo	Inoculación de las semillas antes de la siembra	Solubilizar el zinc por protón, quelatos, ligandos, acidificación y por sistemas oxidorreductores	<i>Pantoea agglomerans</i>	Mejóro el contenido de micronutrientes incluido el K	Jain et al. (2021)
Bacterias del ácido láctico (Biofertilizantes acelerados)	Stevia (<i>Stevia rebaudiana Bertoní</i>)	Riego por inmersión después del trasplante	Productoras del ácido láctico que promueve la descomposición de la materia orgánica	<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactococcus lactis</i> ,	Mejora el crecimiento, el rendimiento y la acumulación de nutrientes	Youssef et al. (2021)

Según los resultados de la Tabla 3, se aprecia los diferentes tipos de biofertilizantes empleados para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas en diferentes investigaciones, de las cuales 14 estudios trabajaron con microorganismos que fijan el nitrógeno atmosférico y aumentan el contenido de N disponible para las plantas, algunos microorganismos resaltantes son las bacterias *Azotobacter*, *Rhizobium sp.*, *Azospirillum*. Seguidamente 8 investigaciones trabajaron con biofertilizantes que solubilizan el fósforo como *Enterobacter cloacae*, *Bacillus subtilis* y *Rahnella aquatilis*. Además, están los movilizadores de K y, por último, solo un estudio hace mención del tipo de biofertilizante movilizadores de fósforo, micronutrientes que solubilizan el Zinc y el biofertilizante acelerado. Para la aplicación o inoculación de las cepas microbianas en los cultivos, se emplearon diversas metodologías; las que resaltan son la inoculación de la semilla antes de la siembra y la inoculación por inmersión de raíces.

- **Análisis de los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más utilizados en los estudios de las bases de datos Scopus y WoS**

En la Figura 4 y Figura 5 se presenta la cantidad de investigaciones de los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos publicadas por año.

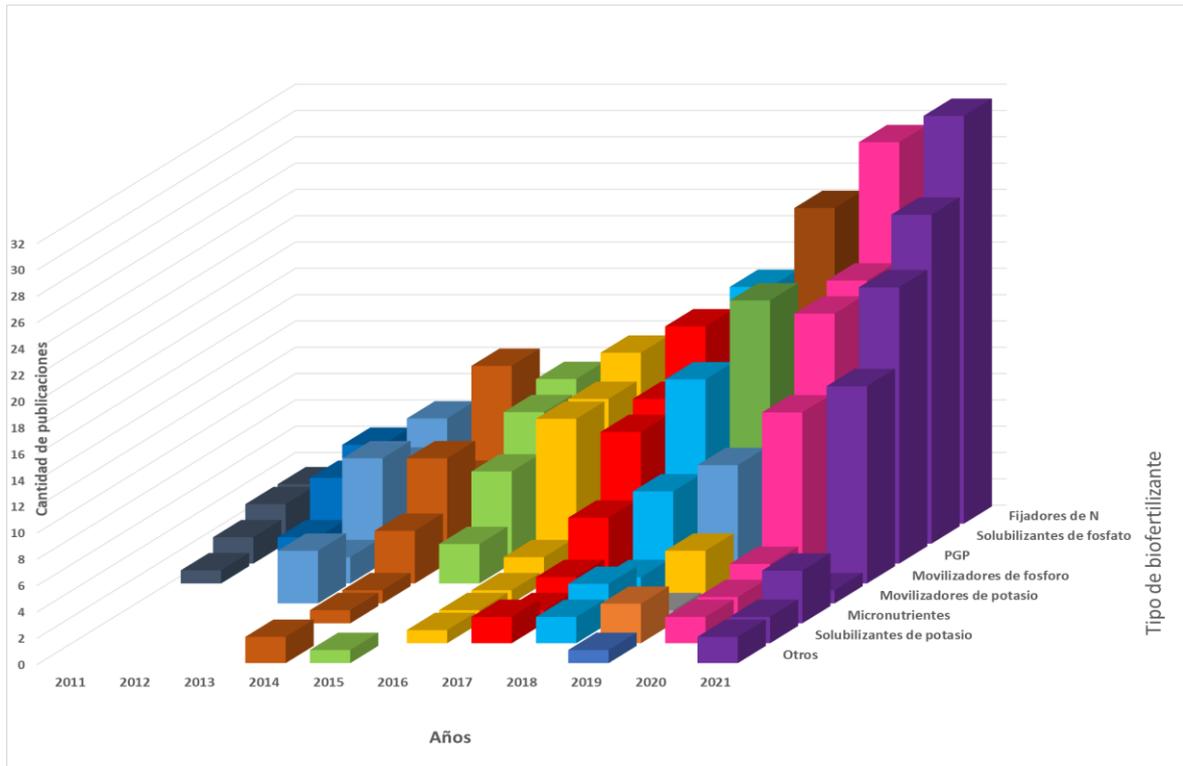


Figura 4. Tendencia en la base de Scopus sobre la utilización de los tipos de biofertilizantes en función de los años

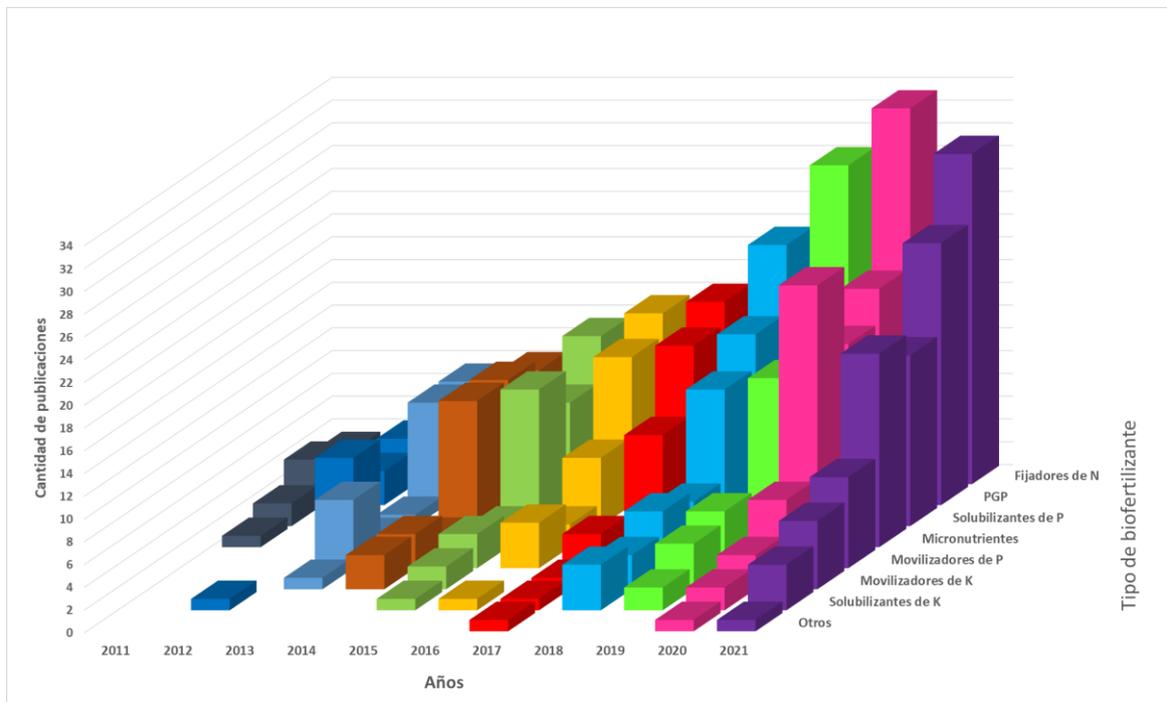


Figura 5. Tendencia en la base de WoS sobre la utilización de los tipos de biofertilizantes en función de los años

Los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más empleados para cultivos agrícolas en el transcurso de los años en la base de Scopus, son los biofertilizantes fijadores de N, estos representan al porcentaje más alto, seguidamente están los solubilizantes de fosfato y los promotores del crecimiento vegetal. Asimismo, en la figura de la base de WoS, se observa que, los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más empleados son los fijadores de N, en segundo lugar, están los promotores del crecimiento vegetal y solubilizantes de fosfato.

- **Análisis de los tipos de documentos de las bases de datos de Scopus y WoS**

En la Figura 6 y Figura7 se presenta el porcentaje de los tipos de documentos utilizados de la base de datos de Scopus y WoS para el análisis bibliométrico.

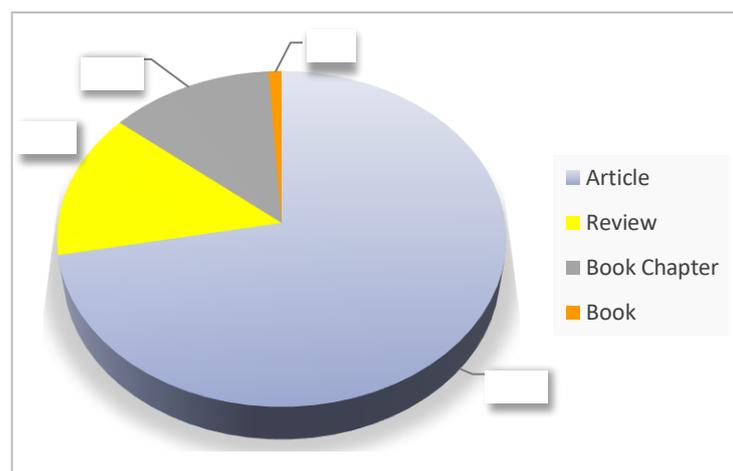


Figura 6. Tipos de documentos - base de datos Scopus

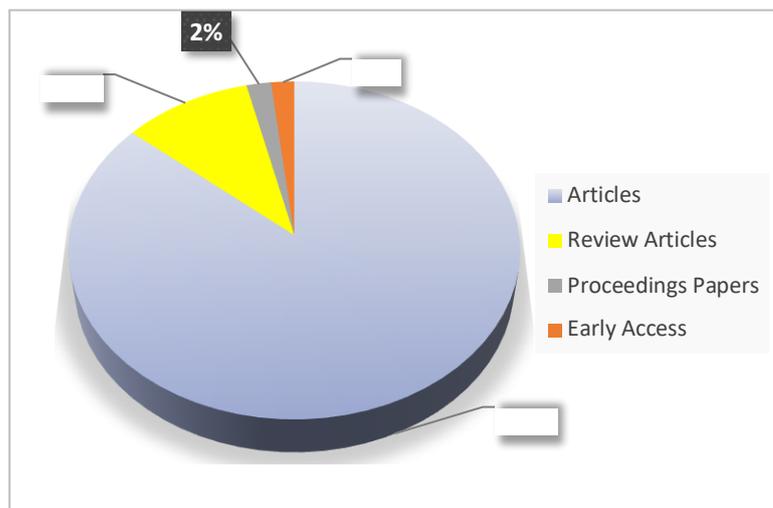


Figura 7. Tipos de documentos - base de datos WoS

Los porcentajes referentes a los tipos de documentos considerados para el análisis bibliométrico. En la base de datos de Scopus, se observa que está constituido por artículos (72%) y reviews (14%) de 592 documentos. Asimismo, en la base de Wef of Science se visualiza que los artículos representan el 90% y el 10% tiende a ser revisiones de 653 documentos.

4.2. Documentos científicos publicados en la base de datos Scopus y Web of Science

En la Figura 8 se presenta el diagrama de Venn E. para identificar la cantidad de artículos y reviews extraídos de la base de datos de Scopus y WoS. El número de artículos publicados sobre biofertilizantes es 1 245 durante el periodo 2011-2021.

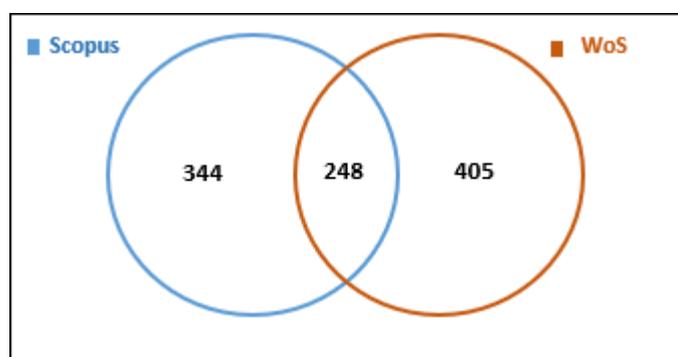


Figura 8. Superposición de documentos en las bases de datos

Se identificó que 344 y 405 investigaciones están indexadas en la base de Scopus y WoS, respectivamente. Además, se evidencia la superposición de 248 estudios en ambas bases.

4.3. Análisis de las investigaciones científicas en función a los países

En la Figura 9 y Figura 10 se muestra los 9 primeros países con más publicaciones de investigaciones sobre uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento para cultivo agrícolas de ambas bases de datos.

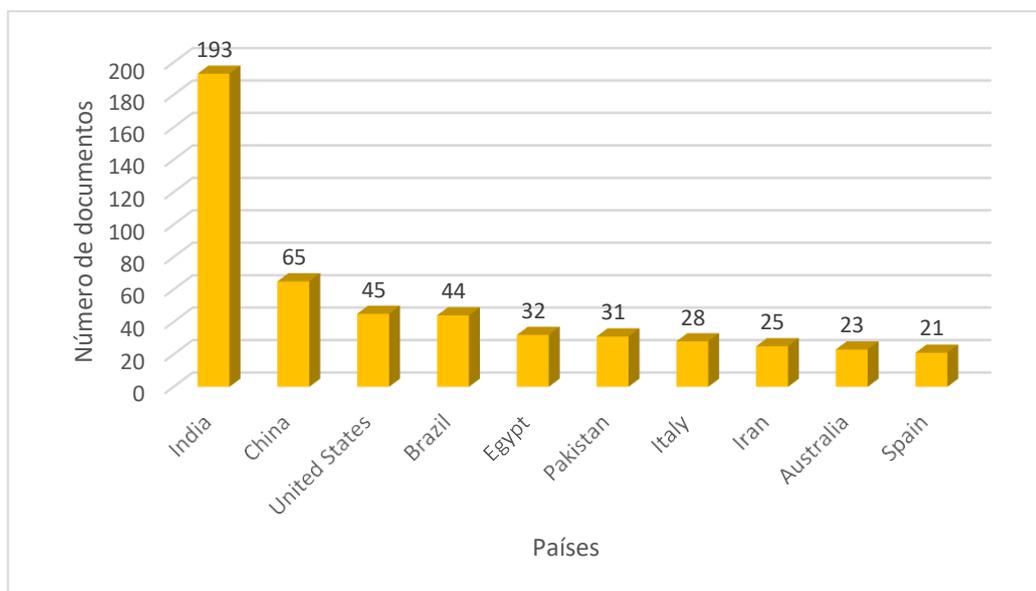


Figura 9. Número de investigaciones publicadas en función a los países - base de datos Scopus

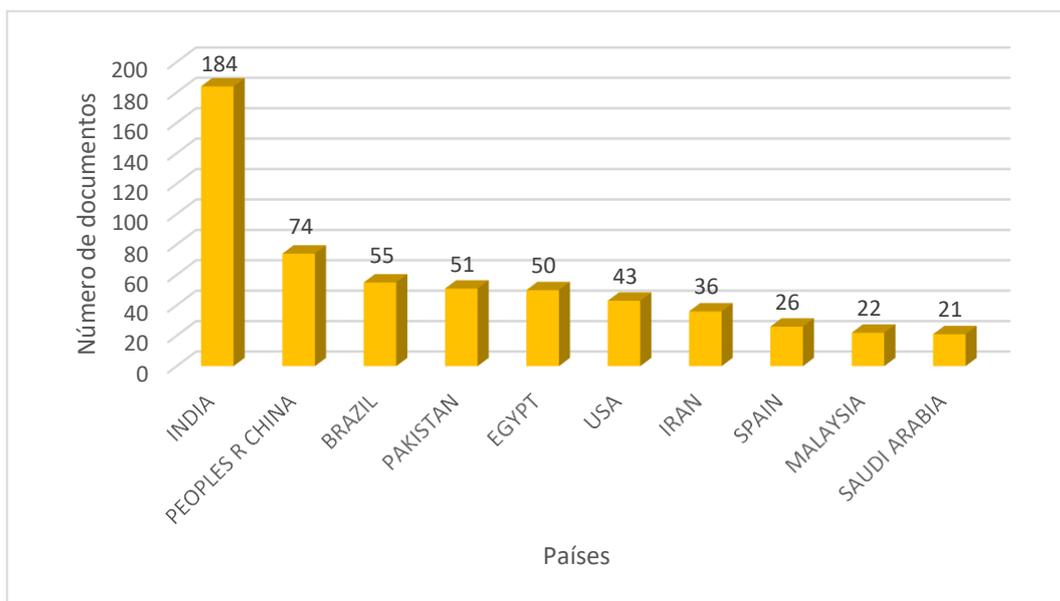


Figura 10. Número de investigaciones publicadas en función a los países - base de datos Web of Science

India (193 publicaciones), China (65 publicaciones) y United States (45 publicaciones) son los primeros países del mundo con mayores publicaciones sobre biofertilizantes a base de microorganismos en la base de datos de Scopus. De forma semejante, en la base de WoS, India, China, Brazil y Pakistán son los países con mayor número de investigaciones con cifras respectivas de 184, 74, 55 y 51.

4.4. Análisis de las principales revistas con mayor producción científica

En la Figura 11 y Figura 12 se muestra las principales revistas con mayor número de artículos sobre biofertilizantes a base de microorganismos.

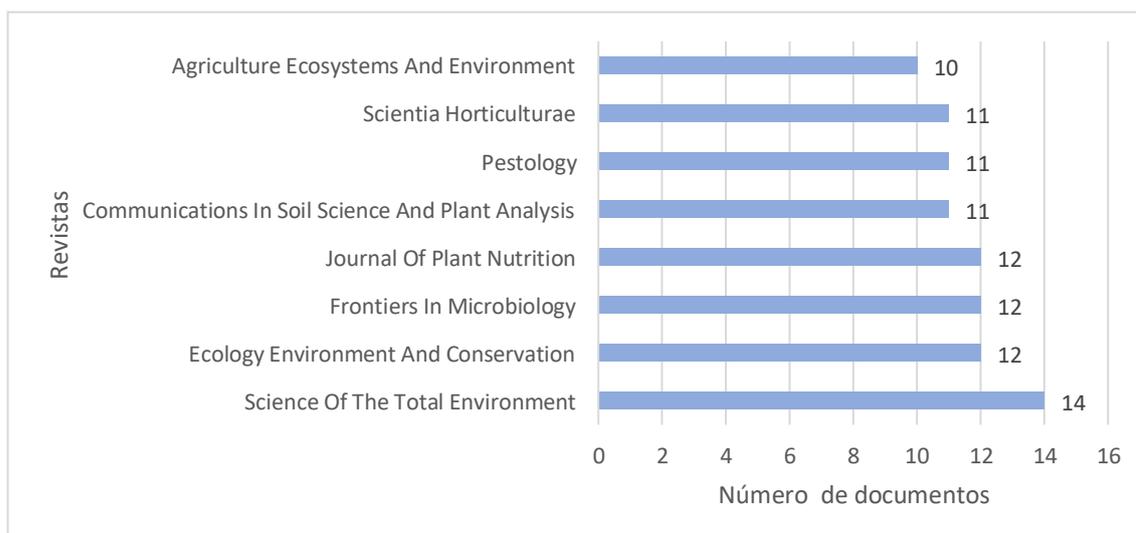


Figura 11. Revistas con mayor producción científica - base de datos Scopus

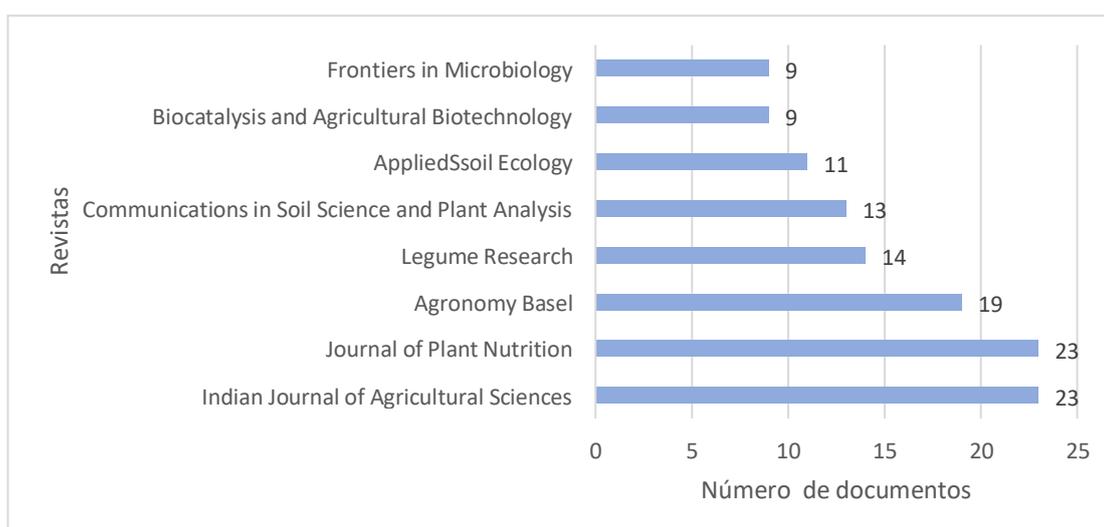


Figura 12. Revistas con mayor producción científica - base de datos Web of Science

La revista con mayor producción científica en la base de datos de Scopus es “Science Of The Total Environment” (14 publicaciones), seguido de “Ecology Environment And Conservation” (12 publicaciones) y “Frontiers In Microbiology” (12 publicaciones). En cambio, en la base de Web of Science, las revistas científicas con mayor publicación son “Indian Journal of Agricultural Sciences” y “Journal Plant of Nutrition” (23 publicaciones), seguido de “Agronomy Basel” (19 publicaciones).

- **Cantidad de publicaciones por año en las bases de datos de Scopus y WoS**

A partir de los 592 documentos de la base de datos Scopus y los 653 documentos de la base de datos Web of Science, se presenta cuantitativamente la variación de la publicación de investigaciones durante el periodo de 2011 – 2021 en la Figura 13 y Figura 14.

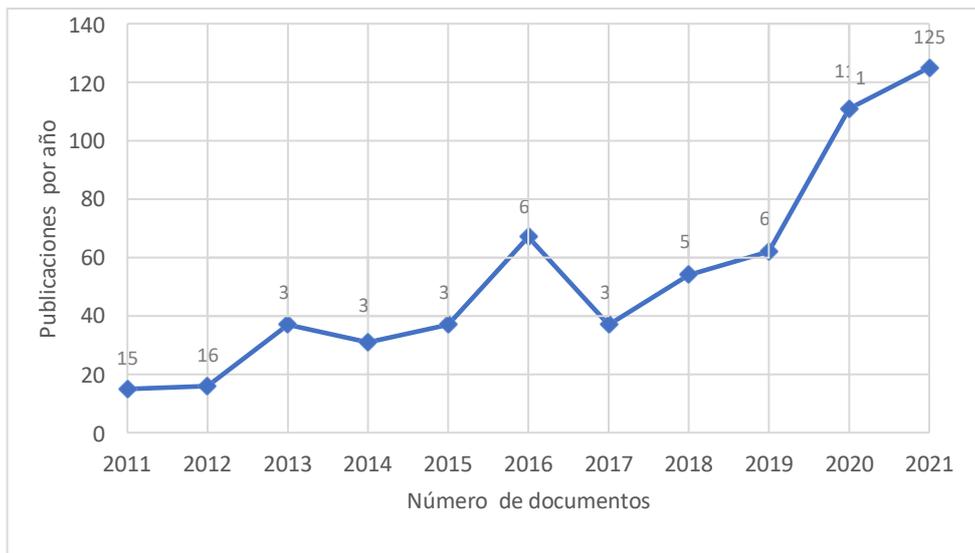


Figura 13. Cantidad de investigaciones publicados por año - base de datos Scopus

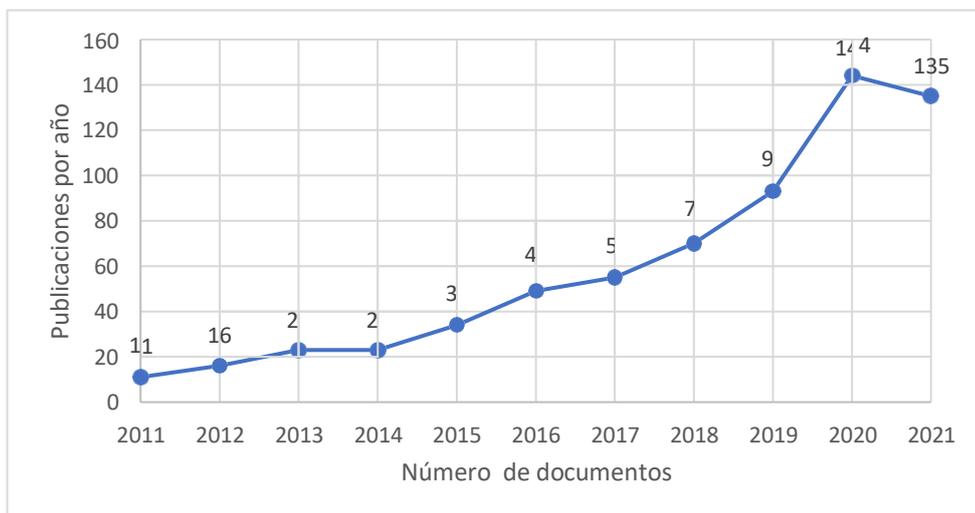


Figura 14. Cantidad de investigaciones publicados por año - base de datos Web of Science

En la Figura 13 de la base de datos Scopus, se observa una tendencia constante entre 15 y 37 estudios publicados desde el 2011-2013, y en los años 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 esta tendencia incrementó en 54, 62, 111 y 125, respectivamente. Así mismo, en la base de Web of Science hay una tendencia constante entre 5 y 4 publicaciones por año en el periodo 2011 – 2015 y en los años 2018, 2019, 2020 y 2021, ascendió la cantidad de publicaciones a 70, 93, 144 y 135, respectivamente. Esto reafirma que, las investigaciones referentes al uso de biofertilizantes para el crecimiento y rendimiento para cultivo agrícolas ha ido incrementando a través de los años.

4.5. Cantidad de estudios publicados por área temática en la base de datos Scopus y WoS

En la Figura 15 y Figura 16 se presentan las 10 primeras áreas temáticas de 23 con más publicaciones de investigaciones de la base de datos de Scopus y las 10 primeras áreas temáticas de 25 con más publicaciones de investigaciones de la base de datos de Web of Science.

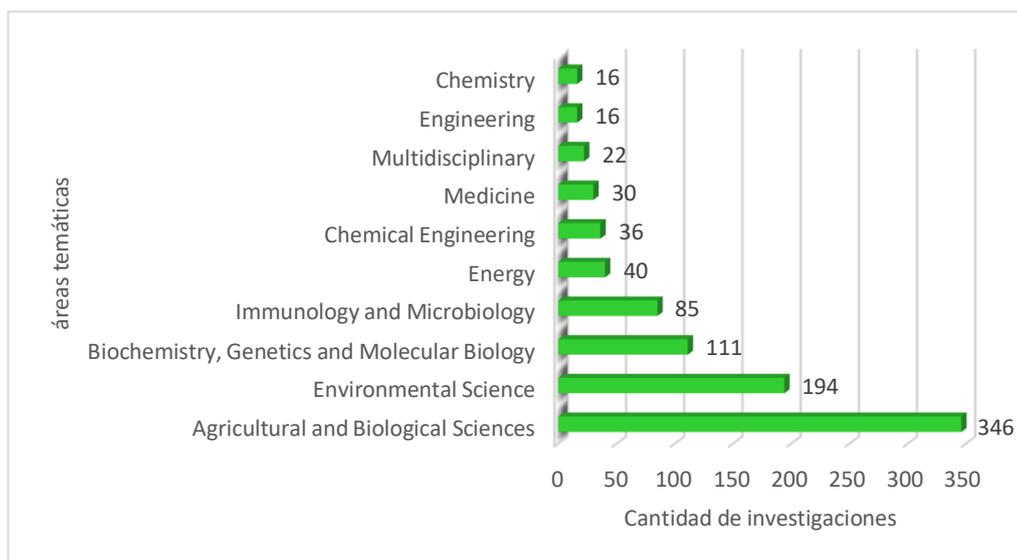


Figura 15. Cantidad de investigaciones según área temática - base de datos Scopus

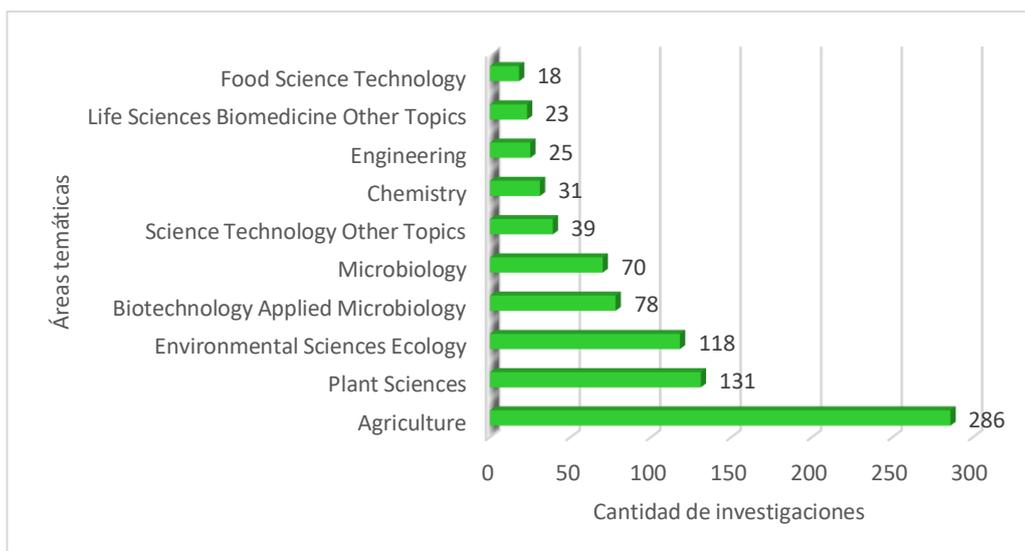


Figura 16. Investigaciones publicadas según área temática - base de datos WoS

En la base de datos Scopus, el área temática más representativa es “Agricultural and Biological Sciences” con 346 investigaciones, “Environmental Science” con 194 investigaciones, es la segunda área de la lista y, en tercer lugar, está “Biochemistry, Genetics and Molecular Biology” con 111 investigaciones. Por otro lado, en la base de datos de Web of Science el área temática “Agriculture” (286 investigaciones) tiene mayores publicaciones, seguido de “Plant Sciences” (131 investigaciones) y el área temática de “Environmental Sciences” (118 investigaciones).

- **Análisis de las investigaciones científicas en función a los países en la base de datos de Scopus y Web of Science**

En la Figura 17 y Figura 18 se presenta los países más activos en la investigación de biofertilizantes a base de microorganismos. Este mapa fue generado mediante el software VOSviewer.

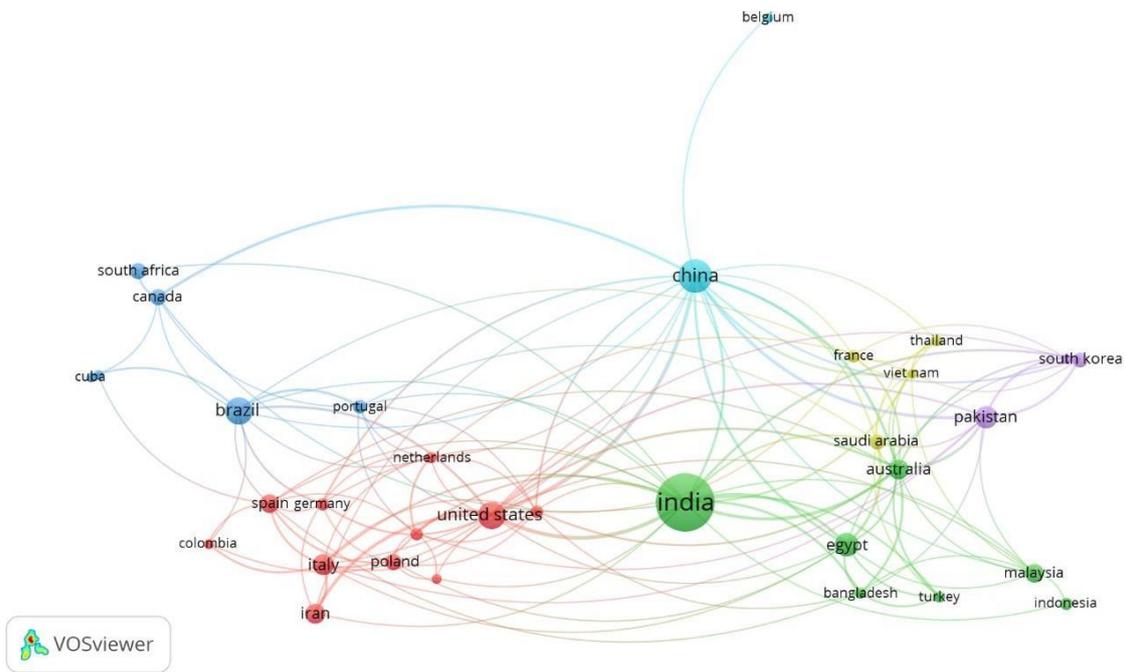


Figura 17. Mapa de red de las investigaciones en función a los países - base de datos Scopus

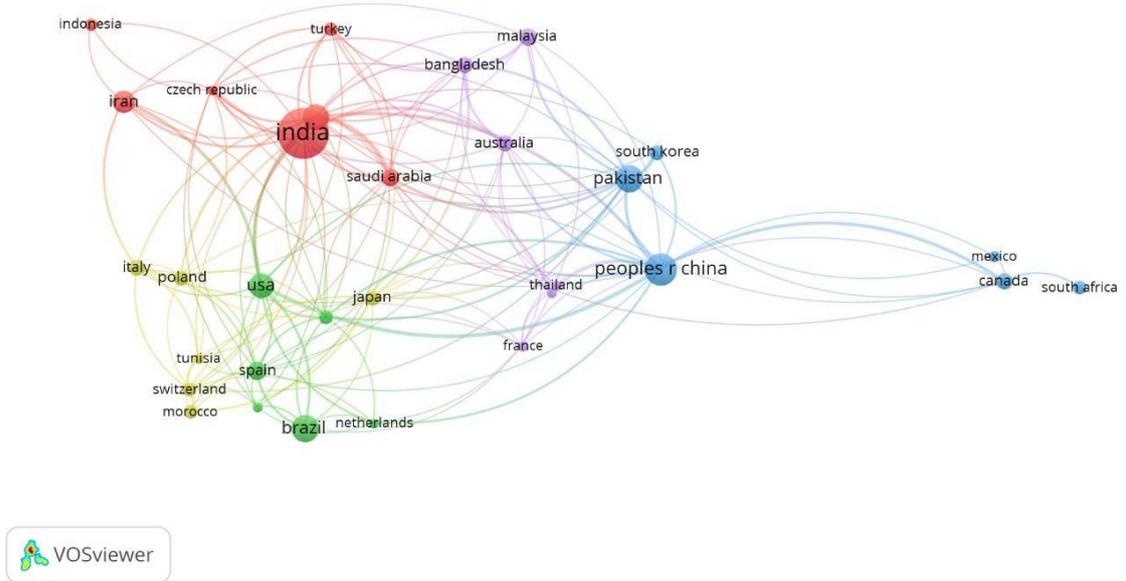


Figura 18. Mapa de red de las investigaciones en función a los países - base de datos WoS

Según el mapa de red de Scopus, los países con un mayor número de investigaciones durante el periodo (2011-2021) son India (193 publicaciones), China (65 publicaciones) y United States (45 investigaciones). Asimismo, en la Figura de la base de datos de Web of Science se visualiza que India (184 publicaciones) tiene el mayor número de investigaciones, seguido de China (74 publicaciones) y Brasil (55 publicaciones).

- **Análisis de autores más citados en la base de datos Scopus y Web of Science**

El análisis de la red de co-autor cita se realizó mediante el uso del software VOSviewer tal como se aprecia en la Figura 19 (base de datos de Scopus) y en la Figura 20 (base de datos de WoS).

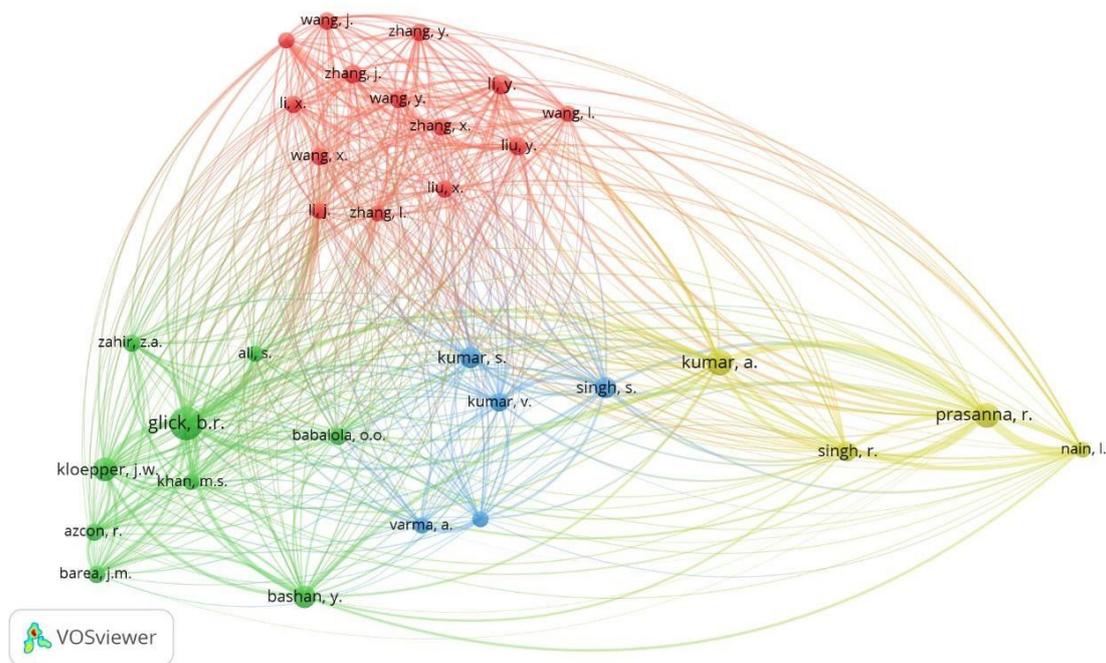


Figura 19. Mapa de red de los autores más citados - base de datos Scopus

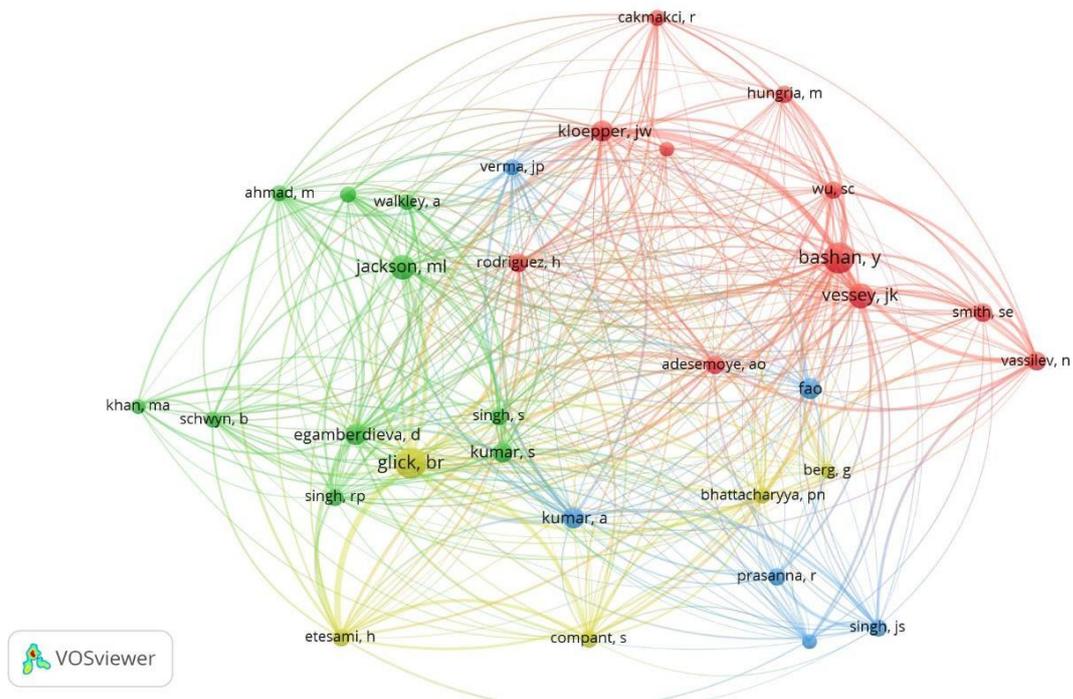


Figura 20. Mapa de red de los autores más citados - base de datos WoS

Según el mapa de red de co-autor cita de Scopus, Glick B.R., Kumar, A. y Prasanna, R. son los autores principales con cifras de citación respectiva de 319, 192 y 183. En cuanto a la base de datos Web of Science, los principales autores son Glick, Br (111 citas) Bashan, Y. (109 citas), y Jackson, MI (72 citas), respectivamente.

- **Análisis de tendencia de las palabras claves de autor en la base de Scopus y Web of Science**

En la Figura 21 y Figura 22 se presenta la co-ocurrencia de las palabras clave entre el año 2011 y 2021 en la base de Scopus y WoS.

Según el análisis de la Figura de Scopus, “biofertilizer” es la palabra clave que atrajo mayor cantidad de ocurrencias (142). Otras palabras clave importantes son “sustainable agriculture” (39), “biobertilizers” (36) y “yield” (36). De forma similar, en el mapa de Web of Science, la palabra clave “biofertilizer” es la que mayor ocurrencia tiene (188), seguido de “yield” y “bio-fertilizer” con 38 y 37, respectivamente.

- **Efecto del uso de biofertilizantes en los parámetros de crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas**

En la Tabla 6 se presentan el efecto del biofertilizante sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento en diversos cultivos agrícolas.

Tabla 6. Parámetros de crecimiento y rendimiento

Tratamiento	Tipo de cultivo	Altura de la planta (cm)	Número de hojas /planta	Raíz			Rendimiento del cultivo (t/ha)	Autor (es)
				Longitud de la raíz (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)		
<i>Azotobacter, Enterobacter cloacae, Enterobacter hormaechei y Pantoea agglomerans</i>	Trigo	92,86	-	8,23	-	-	5,483	Jain et al. (2021)
<i>Rhodopseudomonas palustris, Burkholderia cepacia</i>	Maní	48.65	-	-	229.82 (45.96)	142.43 (28,48)	5.12	Wang et al. (2021)
<i>A. variabilis</i>	Arroz	121.67	-	26,77	-	-	5.7	Bao et al. (2021)
<i>Bacillus subtilis, Endomycorrhiza Bacillus megaterium, Trichoderma spp</i>	Trigo	52.9	-	-	-	-	7.5	Erdemci (2021)
<i>Rhizobium sp., Azotobacter sp., Azospirillum</i>	Berenjena	47.87	49.69	21.57	41.2	-	33	Upamanyu et al. (2020)

sp. Y <i>Bacillus</i> sp.								
<i>Chlorella vulgaris</i>	Garbanzo	55.6	-	9.3	27.8	9	47,2	Dinesh Kumar et al. (2020)
<i>S. platensis</i> <i>C. vulgaris</i>	Arroz	4	-	3	-	-	2.170	Dinesh Kumar et al. (2019)
<i>C. vulgaris</i> <i>S. platensis</i>	Maíz	63 66	41 44	-	13 20	2 3	1 2	Dinesh Kumar et al. (2018)
<i>Rhizobium</i> and phosbacterium	Arroz	27	-	27	-	-	10	Thiyage shwari et al. (2018)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	169.63	-	31	-	-	13.3	Arif et al. (2016)
<i>Rahnella aquatilis</i> <i>Enterobacter</i> sp.	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	43 44	-	-	-	0.20 0.20	5 7	Bakhsh andeh et al. (2015)
<i>A. chroococcum</i> + <i>B. megatherium</i> <i>A. chroococcum</i> + AMF <i>A. brasilense</i> + <i>B. megatherium</i> <i>A. brasilense</i> + AMF	Guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	187 191 196 199	-	-	-	-	10.32 10.59 11.15 11.50	Das et al. (2017)
<i>Rhizogold</i>	Garbanzo y maíz	Garbanzo :58.68 Maíz: 143	17.67	15 16.17	6.57 25.33	1.43 4.15	4	Zaman et al. (2017)
<i>Azospirillum brasilense</i>	Maíz	51.33	-	-	-	-	8	Pedrosa et al. (2020)
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Caña de azúcar	233.9	-	-	-	-	85	Gosal et al. (2012)
<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Saccharomice</i>	Stevia (<i>Stevia rebaudiana</i>)	51.55	-	-	-	-	1.06	Youssef et al. (2021)

<i>s cerevisiae y Rhodopseudomonas palustris</i>	Bertoni)							
<i>Aspergillus flavus</i>	Maíz (Zea mays L.)	228	16.84	-	-	-	7	Omomowo et al. (2020)
<i>Serratia marcescens, Bacillus megaterium y Pseudomonas fluorescens</i>	Lenteja	47.06	-	-	-	-	4	El-Tahlawy y Hassan en (2021)
<i>Trichoderma guizhouense</i>	Pimientos	15.04	-	-	-	-	5	Liu et al. (2020)

Según los resultados se observaron que, los autores con el fin de comprobar el efecto de los biofertilizantes en los cultivos agrícolas comprometen a diversos consorcios microbianos. De los cuales, el 100% de la revisión de estudios presentan los parámetros de crecimiento y rendimiento, seguido del 50% de investigaciones no presentan la longitud, peso fresco y peso seco de la raíz, finalmente 4 estudios determinaron el número de hojas por planta.

4.6. Dosis de biofertilizantes aplicada para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

En la Tabla 7 se recogieron los datos relacionados a la dosis aplicada a diferentes cultivos, junto con el porcentaje de rendimiento y crecimiento. Sin embargo, las dosis se encontraron en diferentes unidades de medida, por lo tanto, se convirtió algunas dosis a g/kg de semilla y las otras se trabajaron con L/ha y kg/ha.

Tabla 7. Efecto de las dosis de biofertilizante sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

Biofertilizantes	Tipo de cultivo	Dosis aplicada	Porcentaje de rendimiento	Porcentaje de crecimiento	Observaciones	Autor(es)
<i>Azotobacter, Enterobacter cloacae, Enterobacter hormaechei,</i>	Trigo	5 ml/kg	52%	35%	Dosis a criterio del autor	Jain et al. (2021)

<i>Pantoea agglomerans</i>						
<i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Maní	300 L/ha	40%	20,4%	Dosis aplicada dos veces: en el momento de la siembra y en la etapa clavado	Wang et al. (2021)
<i>A. variabilis</i>	Arroz	30 L/ha	22%	4%	Consideran 4 dosis	Bao et al. (2021)
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Endomycoriza Bacillus megaterium</i> , <i>Trichoderma spp</i>	Trigo	4 g/kg	49%	3%	Consideran 4 dosis	Erdemci (2021)
<i>Rhizobium sp.</i> , <i>Azotobacter sp.</i> , <i>Azospirillum sp.</i> Y <i>Bacillus</i> spp.	Berenjena	100 g/L	47%	30%	Dosis a criterio del autor	Upamanya et al. (2020)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Garbanzo	4,5 g/100ml agua	60%	-	Consideran 10 dosis de biofertilizantes	Dinesh Kumar et al., (2020)
<i>C. vulgaris</i> y <i>S. platensis</i>	Arroz	3 g/kg	28%	-	Dosis a criterio del autor	Dinesh Kumar et al. (2018)
<i>C. vulgaris</i> <i>S. platensis</i>	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	1 g/kg	50% 75%	-	Dosis a criterio del autor	Dinesh Kumar et al., (2017)
<i>Rhizobium</i> y <i>phosbacterium</i>	Arroz	20 g/kg	53%	63%	Esta dosis fue aplicada junto con cáscara de arroz compostada	Thiyageshwari et al. (2018)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Girasol	150 g/ kg	10%	14%	Consideran 3 dosis	Arif et al. (2016)
<i>Rahnella aquatilis</i> , <i>Enterobacter sp.</i> ,	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	80 kg/ha	9% 27%	3,35% 4,55%	Dosis a criterio del autor	Bakhshandeh et al. (2015)
<i>A. chroococcum</i> + <i>B. megatherium</i>	Guayaba (<i>Psidium</i>	75 g	47,42% 51,28% 59,28%	13% 17% 22%	Consideran 2 dosis anual	Das et al. (2017)

<i>A. chroococcum</i> + AMF (<i>Glomus mosseae</i>) <i>A. brasilense</i> + <i>B. megatherium</i> <i>A. brasilense</i> + AMF	guajava L.)		64,27%	23%		
<i>Rhizogold</i>	Garbanzo y maíz	107-108 UFC/ mL	1,43% 4,15%	26% 6%	Dosis a criterio del autor	Zaman et al. (2017)
<i>Azospirillum brasilense</i>	Maíz	20 g/kg	10.4%	3%	Consideran 2 dosis	Pedrosa et al. (2020)
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Caña de azúcar	10 kg/ha	17%	13%	Consideran 2 dosis	Gosal et al. (2012)
<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Saccharomices cerevisiae</i> y <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Stevia (<i>Stevia rebaudiana Bertonii</i>)	9 x 10 ⁷ UFC 5 x 10 ⁷ UFC 2 x 10 ⁶ UFC 4 x 10 ⁶ UFC	52%	51%	4 dosis	Youssef et al. (2021)
<i>Aspergillus flavus</i>	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	4ml (1 x 10 ⁶ esporas / ml) /kg	52%	90%	Dosis a criterio del autor	Omomowo et al. (2020)
<i>Serratia marcescens</i> , <i>Bacillus megaterium</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Lenteja	300 g /30 kg	26%	22%	Consideran 4 dosis	El-Tahlawy y Hassanein (2021)
<i>Trichoderma guizhouense</i>	Pimientos	10 g/kg	51,6%	19%	Consideran 6 dosis	Liu et al. (2020)

Según los resultados, el biofertilizante más eficaz fue la inoculación de *Aspergillus flavus* con una dosis de 4ml/kg (1 x 10⁶ esporas / ml), la cual promovió el rendimiento del cultivo de maíz en un 52 % e incrementó el crecimiento en un 90%. Seguido de la inoculación con *Rhizobium* y *phosphobacterium* con una dosis de 20 g/kg aplicado al cultivo de arroz, está dosis promovió el crecimiento y el rendimiento de arroz en 63 y 53%, respectivamente y, en tercer lugar, está la aplicación del consorcio de biofertilizantes (*Azotobacter*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter hormaechei*, *Pantoea agglomerans*) a razón de 5ml/kg; este consorcio mejoro el rendimiento en 52% y el crecimiento en 35%.

V. DISCUSIÓN

Los agricultores para garantizar la fertilidad del suelo debido a la creciente demanda de alimentos, utilizan diversas estrategias, una de ellas es el uso de diferentes tipos de agroquímicos para obtener los nutrientes que requieren los cultivos y lograr mayor producción. De acuerdo, (Koovalamkad et al., 2021) manifiesta que la mejor forma de lograr fertilidad en el suelo es utilizando biofertilizantes para obtener una producción sostenible y una calidad ambiental. Los resultados de esta investigación mostraron que los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más utilizados son los microorganismos fijadores de N como, *Azotobacter* (*Azotobacter chroococcum*) que promovió el aumento del contenido de N disponible (376 kg/ha), *Azospirillum sp*, y *Rhizobium*; este último aplicado al cultivo de arroz mejoró el N disponible (2,5 kg/ha) en la etapa de cosecha. De igual forma, Das (2019) indica que la bacteria de vida libre *Azotobacter*, fijó el N alrededor de 15-20 kgN/ha/año, además aporta 20-40 mgN/ha e incrementa el rendimiento de algunos cultivos como mostaza, girasol, uvas, caña de azúcar, plátano, sandía, papaya, coco, plantación y cultivos forestales en 10-15%. Por su parte, Kumar et al. (2017) estudiaron la bacteria *Azospirillum* y obtuvieron, que estas bacterias fijan el N hasta 10-20 kg/ha, mejorando la ingesta tanto de minerales como de agua y aumento del desarrollo de raíces, el crecimiento de las plantas y el rendimiento en cultivos de maíz, arroz, trigo, mijo, sorgo y bajra. Sin embargo, la cantidad de N proporcionada por BFN variará según las especies de plantas y los factores ambientales, que en última instancia determinarán una colonización exitosa (Parnell et al., 2016).

La investigación guarda similitud con un estudio realizado por Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021) donde exploran las tendencias globales de investigación en biofertilizantes mediante un enfoque bibliométrico, refieren que los **biofertilizantes** y la capacidad para **fijar nitrógeno** es el tema que ha atraído la mayor atención de la investigación entre las otras áreas de investigación sobre biofertilizantes. Otro estudio bibliométrico de producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012, realizado por Borrego, Pérez y Fernández (2015) indican que, los biofertilizantes más estudiados son *Glomus*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter* y *Pseudomonas*.

Del mismo modo, Zambrano et al. (2021) en su estudio de biofertilizantes en la producción agrícola determinaron que, los microorganismos más importantes que se han utilizado en la formulación de biofertilizantes son *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y micorrizas vesicular-busculares.

Otros biofertilizantes más empleados fueron los solubilizadores de fósforo. En su estudio, Thiyareshwari et al. (2018) registraron un contenido máximo de P en grano de 0,37% y 0,40%, mediante a la inoculación con *Phosphobacterium* en el cultivo de arroz. Las cepas sobresalientes fueron *Enterobacter cloacae*, esta especie solubilizó el fósforo e incrementó la productividad del cultivo, *Aspergillus flavus*, el cual solubilizó el fósforo en 5 días la cantidad de 6,63 mg/kg y, *Bacillus subtilis* que aumentó el contenido de fósforo, el rendimiento y la calidad de la semilla de trigo (Erdemci, 2020). Por otra parte, Pradhan et al. (2017) al inocular las semillas de maní en *Bacillus amyloliquefaciens*, obtuvieron el mejor P disponible para la planta (8,11 mg/kg) y observaron un aumento significativo en el crecimiento y rendimiento del cultivo. De igual forma, Chen et al. (2021) mencionan que *Bacillus* sp. solubiliza el P insoluble mediante la producción de ácidos orgánicos y baja el pH del suelo para disolver los fosfatos ligados; además, aumenta el crecimiento y el rendimiento de los cultivos de Trigo y albahaca. Asimismo, Pradhan et al. (2017) investigaron más a fondo para determinar la solubilización de P con fuentes de $AlPO_4$, $FePO_4$ y $Fe_3(PO_4)_2$ empleando *Bacillus cereus*, *Burkholderia cepacia*, *B. cepacia*, junto con *B. amyloliquefaciens*, y obtuvieron resultados eficientes, después de 48 h de incubación, estos microorganismos, solubiliaron los fosfatos complejos de Al y Fe. Por lo tanto, la intervención microbiana de BSF de alta eficiencia parece ser una forma efectiva de resolver el problema de la disponibilidad de P en el suelo y evita los efectos negativos de los fertilizantes químicos.

Los **artículos y revisiones** incluidos en este estudio fueron 1 245 investigaciones sobre biofertilizantes a base de microorganismos usados para el crecimiento y rendimiento de cultivos durante el periodo de 2011-2021, estas investigaciones se encuentran indexadas en la base de datos de Scopus (592) y base de datos WoS (653). Por otro lado, Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021) en su estudio bibliométrico que comprende 344 artículos de investigaciones sobre biofertilizantes durante el periodo de 2010-2019 disponibles en la Web of Science,

concluyen que, el biofertilizante es un campo de investigación emergente a nivel mundial y se puede identificar los investigadores y organizaciones creíbles que se dedican a la investigación de alta calidad sobre biofertilizantes y las revistas clave que transmiten los resultados de la investigación al mundo que contribuyen al avance del campo.

El **país** con mayor publicación en ambas bases de datos fue India. Según Fertilizer Association of India (2019), indica que este país es el segundo productor y consumidor de fertilizantes del mundo. Asimismo, Moring et al. (2021) refiere que, se ha sugerido sobre el consumo de fertilizantes de la India podría duplicarse para el 2050. Por tal razón, nace la necesidad urgente de investigaciones científicas para apoyar una mejor gestión del nitrógeno en la agricultura. Otro país con mayor producción científica relacionada al tema fue China, siendo este el primer país que utiliza de manera excesiva los fertilizantes químicos; donde, en el 2015 se lanzó un plan de acción para el crecimiento cero en la aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos y, a fines del año 2017 más de 4.600 biofertilizantes que se utilizan con 151 especies/cepas microbianas funcionales, las que fueron registradas solamente con 8 nombres, por la rigurosa evaluación de seguridad (Fang, 2020). Para ello, es necesario realizar más investigaciones para formular y adoptar biofertilizantes de alta calidad (Atieno, 2020). Este estudio, guarda relación con el análisis bibliométrico explorando las tendencias globales de biofertilizantes, realizado por (Koovalamkadu, Singh y Korekallu, 2021) indican que los países que más publicaron durante el período 2000-2019 fueron Brasil (83 documentos), India (66 publicaciones), y China (38 publicaciones).

Las **revistas con mayor producción científica** en la base de datos de Scopus fue "Science Of The Total Environment" (14 publicaciones), esta es una revista internacional para la publicación de nuevas investigaciones basadas en hipótesis y con alto impacto sobre el medio ambiente. En segundo lugar, esta "Ecology Environment And Conservation", esta es una de las mejores revistas ambientales, el editor es el país de India y está incluida en la base de datos de Scopus (EM International, 2019). En la base de datos de Web of Science, la revista científica con mayor publicación fue "Indian Journal of Agricultural Sciences" (23 publicaciones). Esta revista por pares publica investigaciones originales de

científicos destacados sobre todos los aspectos de la ciencia de las plantas y el suelo (Agricultural RCC, 2019). La siguiente revista representativa fue “Journal Plant of Nutrition” (23 publicaciones). Asimismo, en el estudio bibliométrico explorando tendencias globales de biofertilizantes de Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021), indican que la "Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental" fue la primera revista que presentó mayor número de artículos publicados (14) y, “Semina-Ciencias Agrarias” fue la segunda revista de la lista con 10 publicaciones”.

En la base de datos Scopus el **área temática** más representativa fue “Agricultural and Biological Sciences” (346 investigaciones), considerándose así la primera área, “Environmental Science” (194 investigaciones), sobresalió como la segunda área de la lista y, en tercer lugar, “Biochemistry, Genetics and Molecular Biology” (111 investigaciones). Por otro lado, en la base de datos de Web of Science el área temática “Agriculture” con 286 investigaciones tiene mayores publicaciones, seguido el área temática “Plant Sciences” con 131 investigaciones y el área temática de “Environmental Sciences” con 118 investigaciones. Asimismo, Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021) en su estudio bibliométrico sobre tendencias de biofertilizantes, indican que las áreas temáticas más importantes que publicaron artículos sobre el tema fueron “Agronomy” (16%), Biotechnology and Applied Microbiology (14%) y “Agriculture Multi-disciplinary” (12%).

Según el análisis de **co-citas** de la base de datos de Scopus, Babalola O.O., Du jardín P. y Glick B.R. son los autores principales con cifras de citación respectiva de 771, 669 y 539. En cuanto a la base de datos Web of Science, el autor más citado fue Glick Bernard R, (549 veces), seguido de Tuteja Narendra (421 veces) y Babalola Olubukola Oluranti (339 veces). Este análisis de co-citas fue comparado con el estudio bibliométrico sobre tendencias globales de biofertilizantes de Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021), indicando que los autores principales con cifras de citación de 45 y 24 fueron Cavalcante LF y Malavolta E, respectivamente.

En la base de datos Scopus, la **palabra clave** “biofertilizer” con 293 es la que atrajo la mayor cantidad de ocurrencias, seguido de “crop yield” con 115 y “plant growth” con 73. Por otro lado, en la base de Web of Science, la palabra clave

“biofertilizer” con 213 es la que mayor ocurrencia tiene, seguido de “yield” y “plant-growth” con 161 y biomasa con 88 ocurrencias. Este análisis de co-ocurrencia de palabras clave, fue comparado con el estudio bibliométrico sobre las tendencias globales de investigación en biofertilizantes de Koovalamkadu, Singh y Korekallu (2021), mostraron que, las palabras clave que han generado mayor interés en la investigación fueron “biofertilizer”, “nitrogen fixation”, “plant Growth”, y “*Rhizobium*”.

Según los resultados, la **dosis** del biofertilizante más eficaz, fue la inoculación de *Aspergillus flavus*, de 4ml/kg (1 x 10⁶ esporas / ml); este hongo, promovió el crecimiento del cultivo de maíz en un 52 % e incrementó el rendimiento en un 90%. De igual manera, Sane (2015) en su investigación sobre aislamiento y evaluación de hongos solubilizantes de fosfatos, inóculo *Aspergillus* con una dosis de 5 ml de suspensión de esporas (concentración final de 1x10⁷ células/ml) /1,5 kg en el cultivo de bajra, y obtuvieron que esta cepa mostró diversos niveles de actividad de solubilización de fosfato en caldo de cultivo utilizando diferentes fuentes minerales y exhibió un aumento notable en el crecimiento de las plantas, donde la longitud de las raíces y brotes aumentaron en un porcentaje de 56 y 50%, respectivamente; esta capacidad solubilizante se debe a su producción de enzimas degradantes de fosfato. Por otra parte, Wang et al (2018) estudiaron la caracterización de fosfofungos y sus actividades promotoras del crecimiento de las plantas; para ello, inocularon las raíces de las plántulas de trigo en *Aspergillus niger* que contenía 15 ml de una suspensión de esporas de hongos en suspensión en agua estéril. Sus hallazgos demostraron que la aplicación de hongos solubilizadores de fosfato no afectaron el crecimiento, y las raíces aumentaron en 31,5%. Según Dash y Dangar (2017), refieren que los hongos solubilizadores de fosfato mejoran el crecimiento de las plantas mediante la producción de biomoléculas vitales como enzimas líticas, ACC desaminasa, sustancias antimicrobianas, sideróforos, producción hormonal, cianuro de hidrógeno, entre otros. Por otra parte, CRIDA (2017) indica que los BSF se pueden aplicar mediante tratamiento de semillas o tratamiento de plántulas. En el caso del primer método la dosis que se debe aplicar es 200 g de inoculante en 10 kg de semillas de tamaño mediando como maní, maíz, algodón, etc. Por lo tanto, el uso de estos biofertilizantes a base de microorganismos mejora la disponibilidad de fosfato para

los cultivos y reduce el número de fertilizantes de fosfato sintético. De manera similar, la inoculación con *Rhizobium* y *phosphobacterium* con una dosis de 20 g/kg aplicado al cultivo de arroz, también promovió el crecimiento y el rendimiento de arroz, alcanzando porcentajes de 63 y 53%, respectivamente. Por su parte, De Matos (2020) indica que los mayores valores de altura y rendimiento de la planta de maíz, se encontraron con el tratamiento que presentaba la dosis más alta de biofertilizantes (60 mm/hojas), además no observaron efectos nocivos en las plantas, ni en el suelo. En cambio, Campos et al. (2017) al aplicar dosis crecientes en cultivos de maíz, obtuvo un incremento menor. Según CRIDA (2017), para el tratamiento de semillas con *Rhizobium*, el método más aplicado es el lodo, la cantidad debe ser de 400-500 ml de agua para 200 g de inoculante, generalmente recomienda que se apliquen en cultivos de leguminosas.

VI. CONCLUSIONES

Los tipos de biofertilizantes a base de microorganismos más utilizados en cultivos agrícolas son los fijadores de nitrógeno como *Azotobacter*, *Rhizobium* y *Azospirillum brasilense*, y los biofertilizantes solubilizadores de fosfato como *Enterobacter cloacae*, *Bacillus subtilis* y *Rahnella aquatillis*. Los resultados de mayor importancia fueron:

- El número de investigaciones indexadas en las bases de datos Scopus y Web of Science fueron 592 y 653, respectivamente.
- India y China son los primeros países del mundo en términos de número total de publicaciones relacionadas con biofertilizantes a base de microorganismos.
- La revista con mayor producción científica en la base de datos de Scopus fue "Science Of The Total Environment" (14 publicaciones). En cambio, la revista con mayores publicaciones de la base de Web of Science fue "Indian Journal of Agricultural Sciences" (23 publicaciones).
- El área temática que presenta mayor número de publicaciones fue "Agricultural and Biological Sciences" (346 publicaciones) y "Agriculture" (286 publicaciones) de la base de datos de Scopus y Web of Science, respectivamente.
- El biofertilizante *Aspergillus flavus* (solubilizante de fosfato) con una dosis de 4 ml/kg promovió eficazmente el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*), alcanzando porcentajes de 90% y 52%, respectivamente. De manera similar, la dosis de 20 g/kg de *Rhizobium* y *phosphobacterium* aplicado al cultivo de arroz, promovió el crecimiento en 63% y el rendimiento de arroz en 53%.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis sistemático y metaanálisis sobre el uso de biofertilizantes para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.
- Investigar las especies mixtas de biofertilizantes que mejoran el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.
- Realizar búsquedas de información en diversas bases de datos para obtener un análisis comparativo más completo.

REFERENCIAS

AASFAR, Abderrahim et al. Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Front. Microbiol.* [online]. Febrero 2021. vol.12, nº. 628379. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

ABANTO-RODRIGUEZ, Carlos et al. Relation between the mineral nutrients and the Vitamin C content in camaca plants (*Mercuria Dubai*) cultivated on high soils and flood soils of Ucayali, Peru. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2016, vol.7, n.3. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021], pp.297-304. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.18>.

ABANTO-RODRIGUEZ, Carlos et al. Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. *Ceres, Viçosa* [online]. 2019, vol.7, n.3. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020005>

AGUILERA, Bettina. Biofertilizantes y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento de la soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Paraguay: Repositorio UNE [en línea]. 2016 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.une.edu.py/handle/123456789/241>

AMIRNIA, Reza et al. Nitrogen-Fixing Soil Bacteria Plus Mycorrhizal Fungi Improve Seed Yield and Quality Traits of Lentil (*Lens culinaris* Medik). *J Soil Sci Plant Nutr* [en línea]. Mayo de 2018, vol. 9. [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00058-3>

ANTOUN, Hani. Beneficial Microorganisms for the Sustainable Use of Phosphates in Agriculture. *Procedia Engineering* [en línea]. 2012, vol. 46. [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.446> ISSN: 1877-7058

ANAND, Kumar, KUMARI, Bebé, y MALLICK, Ma. Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as biofertilizers. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* [en línea]. Febrero 2016, vol. 8, nº 2.

[Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://innovareacademics.in/journals/index.php/ijpps/article/view/9747>

ARIF, Muhammad et al. Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria (*Pseudomonas aeruginosa* QS40) with nitrogen fertilizers improves sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity and fertility of aridisol. *Applied Soil Ecology* [en línea]. 2016, vol. 108. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.016> ISSN: 0929-1393

ASADU, Christian et al. Investigation of the influence of biofertilizer synthesized using microbial inoculums on the growth performance of two agricultural crops. *Biotechnology Reports* [en línea]. Septiembre 2019, vol. 27. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00493> ISSN 2215-017X

ASSAAD, Ragui, KRAFFT, Caroline, YASSIN, Shaimaa. Comparing retrospective and panel data collection methods to assess labor market dynamics. *IZA J Develop Migration*. [en línea]. Septiembre 2018, vol. 8, nº.17. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40176-018-0125-7>

ASILOGLU, Rasit. Protist-enhanced survival of a plant growth promoting rhizobacteria, *Azospirillum* sp. B510, and the growth of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Appl Soil Ecol* [en línea]. Octubre 2020, vol. 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103599>

ASOEGWU, Chisom et al. A Review on The Role of Bio fertilizers In Reducing Soil Pollution and Increasing Soil Nutrients. *Himalayan Journal of Agriculture* [en línea]. December 2020, vol. 275. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://himjournals.com/article/articleID=50> ISSN: 2709-3611

ATIENO, Mary et al. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong Region, *Journal of Environmental Management* [en línea]. December 2020, vol. 275. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300> ISSN: 0301-4797

BAKHSHANDEH, E. Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. *Journal of Applied Microbiology* [en línea]. Agosto 2015, vol. 119, nº. 5. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jam.12938> ISSN: 1364-5072

BAO Jiangqiao et al. Potential applicability of a cyanobacterium as a biofertilizer and biopesticide in rice fields. *Plant Soil* [en línea]. Mayo 2015, nº. 463. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04899-9>

BASHAN, Yoav et al. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant Soil* [en línea]. 2014, vol. 378. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>

BEN-LAOUANE, Raja, et al. Green Compost Combined with Mycorrhizae and Rhizobia: A Strategy for Improving Alfalfa Growth and Yield Under Field Conditions. *Gesunde Pflanzen* [en línea]. Diciembre 2017, vol. 73. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00537-z>

BIJAY-SINGH y CRASWELL, Eric. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem [en línea] nº. 518, 31 March 2021. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>

BIOFIT. Biofertilizers application for sustainable economic development - advantages and constraints - 2. Limitations. [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.bio-fit.eu/q5/lo9-biofertilizers-application-for-sustainable-economic-development-advantages-andconstraints?start=1>

BISHT, Nikita y SINGH, Punnet. Excessive and Disproportionate Use of Chemicals Cause Soil Contamination and Nutritional Stress. *Soil Contamination - Threats and Sustainable Solutions* [en línea]. December 2019. [Fecha de consulta: 20 de

septiembre de 2021]. Disponible en:
<https://www.intechopen.com/chapters/74460#B35>

Borrego, Maida, Pérez, María y Fernández, Rosa. Scientific production about biofertilizer in Cuba in the 2008-2012 period: a bibliometric analysis of Cuban journal [en línea]. Marzo 2015, vol. 36, nº 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n1/ctr06115.pdf>

BOTTOMLEY, Peter y Myrold, David. Biological N Inputs. [en línea]. Oregon State University, Corvallis, 2015 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Capítulo 15. Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. Disponible en: <https://doi.org/10.1016 / B978-0-12-415955-6.00015-3>

BYIRINGIRO, Emmanuel. Effect of different biofertilizers on growth and yield parameters of wheat – pea intercropping system. Tesis (Magister en Ciencias in (Agronomía). India: Lovely Profesional University, 2015. Disponible en: http://dspace.lpu.in:8080/jspui/bitstream/123456789/3417/1/11313053_6_13_2015%201_03_36%20PM_COMPLETE%20PROJECT%20REPORT.pdf

BURNHAM, Judy. Scopus database: a review. Biomedical Digital Libraries. [en línea]. Marzo 2006, vol. 3, nº 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>

CABALLERO, Jesus y Fuente, Luis. Bacterial Biofertilizers. In: Siddiqui Z.A. (eds) PGPR: Biocontrol and Biofertilization [en línea]. December 2019, nº. 20. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_5 ISBN: 978-1-4020-4152-5

CAMPOS, Silvane et al. Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. Revista Ceres [en línea]. Mayo 2017, vol. 64, nº. 3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764030008>

CENTRAL Research Institute for Dryland Agriculture (CRIDA). Biofertilizers in Rainfed Farming [en línea]. India: Santosh Nagar, Hyderabad, 2017 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: Disponible en

<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08ce4ed915d3cfd0016bc/R8192Bio.pdf>

CHAI, Rushan et al. Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance and Management* [en línea]. no. 20, December 2019 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0133-9>

CHANDINI et al. The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. [en línea]. 2.a ed. India: Research Trends in Environmental Sciences, 2019. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331132826_The_Impact_of_Chemical_Fertilizers_on_our_Environment_and_Ecosystem ISBN: 978-93-5335-062-8

CHEN, Jen-Hshuan, WU, Jeng -Tzung Y YOUNG, Chiu-Chung. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer* [en línea]. January 2007, vol. 5. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. DOI:10.30058/SE.200706.0001

COOPER, Julia et al. Phosphorus availability on many organically managed farms in Europe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [en línea]. December 2017, no.13518. [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9894-2>

DAS, Kaushik et al. Influence of bio-fertilizer on guava (*Psidium guajava* L.) Cultivation in gangetic alluvial plain of west bengal, India. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* [en línea]. Septiembre 2017, vol 5, nº.4. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.18006/2017.5\(4\).476.482](http://dx.doi.org/10.18006/2017.5(4).476.482) ISSN: 2320-8694

DASH, Nilima y DANGAR, Tushar. Perspectives of Phosphate Solubilizing Microbes for Plant Growth Promotion, Especially Rice - A Review. *International Journal of Biochemistry* [en línea]. January 2017 vol. 18. [Fecha de consulta: 16 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.9734/IJBCRR/2017/34136>

DE MATOS, et al. Biofertilizer Application on Corn (*Zea mays*) Increases the Productivity and Quality of the Crop Without Causing Environmental Damage. *Water Air Soil Pollut* [en línea]. Julio 2020 vol. 231, no.414. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>

DI BENEDETTO, A y TOGNETTI, J. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos [en línea]. Diciembre 2016, vol.42, nº 3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2016dibenedetto.pdf>

DINESHKUMAR, R., SUBRAMANIAN, J. y SAMPATHKUMAR, P. Prospective of *Chlorella vulgaris* to Augment Growth and Yield Parameters Along with Superior Seed Qualities in Black Gram, *Vigna mungo* (L.). *Waste Biomass Valor* [en línea]. Septiembre 2018, vol.11. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0465-9>

DINESHKUMAR, R. et al. The Impact of Using Microalgae as Biofertilizer in Maize (*Zea mays* L.). *Waste Biomass Valor* [en línea]. Mayo 2019, vol.10. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0123-7>

DINESHKUMAR, R. et al. Microalgae as Bio-fertilizers for Rice Growth and Seed Yield Productivity. *Waste Biomass Valor* [en línea]. Febrero 2018, vol.9. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9873-5>

DONG, Linlin et al. Biofertilizers regulate the soil microbial community and enhance *Panax ginseng* yields. *Chinese Medicine* [en línea]. Mayo 2019, vol. 14, nº. 20. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13020-019-0241-1>

EL-TAHLAWY, Yasser y HASSANEN, Salwa. Response of Lentil to Crude Humates and Rhizobacteria Inoculation under Calcareous Soils Conditions. *Egyptian Journal of Agronomy* [en línea] 2021. Vol. 43, nº. 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/agro.2021.62856.1247>

ETESAMI, Hassan, RYONG, Byoung, GLICK, Bernard. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate–Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant. *Front. Plant Science* [en línea]. July 2021 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699618>

ERDEMCI, Irfan. Effects of Seed Microbial Inoculant on Growth, Yield, and Nutrition of Durum Wheat (*Triticum Durum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [en línea]. Febrero 2021, vol. 52, n°. 7. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1869764>

FANG, Lin. Overview of Biofertilizer Registration in China. [en línea]. China, 2020. Disponible en: <https://agrochemical.chemlinked.com/chempedia/overviewbiofertilizer-registration-china>

FERMENT, Anneke y BENSON, Tood. Estimating Yield of Food Crops Grown by Smallholder Farmers. *Internacional Food Policy Research Institute*. [en línea]. Junio 2020 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Full_Report_1379.pdf LAND AND WATER, división. Los fertilizantes y su uso. [en línea]. FAO [Fecha de consulta: 11 de November de 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/b0f8bfc5-4c95-54b0-80cd96b810006037/> ISBN: 9253044144

FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. [en línea]. Rome, 2017. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> ISBN: 9789251095515

GALIPOTHULA, Anil. Effect of biofertilizers in combination with inorganic nutrients on growth, yield and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.). Tesis (Magister en Ciencias en Horticultura). Krishna: Horticultural University College of Horticulture Venkataramannagudem, 2017. Disponible en: <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810036378>

GARCÍA, José, RENDING, Arturo y LÓPEZ, Juan. Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica* [en línea]. 2013, 2 (8), 217-224 [fecha de consulta 23 de noviembre de 2021]. ISSN: 2007-865X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349733226007>

GOSAL, Satwant et al. Assessing the Benefits of Azotobacter Bacterization in Sugarcane: A Field Appraisal. *Sugar Tech* [en línea]. Vol.14, enero 2012. [Fecha de Consulta 23 de noviembre de 2021]. ISSN: 2007-865X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0131-z>

GOU, Jing-Yi et al. Biofertilizers with beneficial rhizobacteria improved plant growth and yield in chili (*Capsicum annuum* L.). *World journal of microbiology & biotechnology* [en línea]. Junio 2020, vol. 36, nº 86. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02863-w>

HAMIDAH, Ida et al. A bibliometric analysis of micro electro mechanical system energy harvester research. *Heliyon* [en línea]. Marzo 2021, vol. 7, nº 3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06406>

HART, Miranda, ANTUNES, Pedro y ABBOTT, Lynette. Unknown risks to soil biodiversity from commercial fungal inoculants. *Nat Ecol Evol.* [en línea]. Marzo 2017, vol. 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0115>

HERNÁNDEZ, Roberto. FERNÁNDEZ, Carlos. y BAPTISTA, Milar. Metodología de la investigación [en línea]. 6ª. ed. México: McGRAW-HILL, 2014. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf ISBN: 9781456223960

HIDOTO, Legesse; WORKU, Waleign; MOHAMMED, Hussein y BUNYAMIN, Taran. Effects of zinc application strategy on zinc content and productivity of chickpea grown under zinc deficient soils. *Journal of Soil Science and Plant*

Nutrition. Plant Nutr. [en línea]. Noviembre 2017, vol. 17, nº. 1. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000009> ISSN 0718-9516

IFTIKHAR, Pulwasha et al. A Bibliometric Analysis of the Top 30 Most-cited Articles in Gestational Diabetes Mellitus Literature (1946-2019). Cereus [en línea]. Febrero 2019 Vol. 11, nº 2. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.7759/cureus.4131>

JAIN, Dvendra et al. Effect of microbial consortia on growth and yield of wheat under typic haplustepts. Plant Physiol. Rep. [en línea]. Julio de 2021, vol. 26. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00607-y>

JAMA, Aisha. Nitrogen mineralization biofertilizer Azolla mexicana compared to traditional organic fertilizers. Tesis (Magister en Ciencias). Spring: Colorado State University, 2018. Disponible en: <https://mountainscholar.org/handle/10217/189434>

JAYBHAY SA, TAWARE SP y PHILIPS Varghese. Microbial inoculation of Rhizobium and phosphate-solubilizing bacteria along with inorganic fertilizers for sustainable yield of soybean [Glycine max (L.) Merrill], Journal of Plant Nutrition [en línea]. Agosto 2017, Vol. 40 nº 15. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346678>

JU, Itelima et al. A review: Biofertilizer - A key player in enhancing soil fertility and crop productivity. J Microbiol Biotechnol. [en línea]. Febrero 2018 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.pulsus.com/scholarly-articles/a-review-biofertilizer-a-key-player-inenhancing-soil-fertility-and-crop-productivity-4328.html>

KALITA, Nilim et al. Effect of Biofertilizer Seed Treatment on Growth, Yield and Economics of Toria (Brassica Campestris L.) under Rainfed Condition in Hill Zone of Assam. Cuurent Agriculture Research Journal. [en línea]. Noviembre 2019, ol. 7, nº.3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.7.3.08>

KHAN, MN. et al. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. Encyclopedia of the Anthropocene [en línea]. 2018, vol. 5. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09888-8> ISBN: 9780128135761

KOOVALAMKADU Praveen et al. Exploring the global research trends in biofertilizers: a bibliometric approach. 3 Biotech [en línea]. Mayo 2021, vol. 11, nº. 304. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02794-9>

KORRAPATI, Raghu. Five Chapter Model for Research Thesis Writing: 108 Practical Lessons for MS/MBA/M.Tech/M.Phil/LLM/Ph.D Students [en línea]. Mayo 2021, vol. 11. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=I2jNDQAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navli ISBN: 9789352617616

KOUR, Divjot et al. Chapter 11 - Potassium solubilizing and mobilizing microbes: Biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. [en línea]. India, 2020 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Capítulo 11. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00012-9>

KOUR, Divjot et al. Alleviation of drought stress and plant growth promotion by *Pseudomonas libanensis* EU-LWNA-33, a drought-adaptive phosphorus-solubilizing Bacterium. Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci [en línea]. Noviembre 2019, vol. 90. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40011-019-01151-4>

LADHA, JK et al. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems. Scientific Reports [en línea]. Enero 2016, vol. 6, nº. 19355. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep19355>

LIU, Jiali et al. Enhancement of alfalfa yield and quality by plant growth-promoting rhizobacteria under saline-alkali conditions. *Journal of the science of food and agriculture* [en línea]. Junio 2018, vol. 99. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9185>

LOS fertilizantes y su uso. 4ª. ed. Paris: FAO, 2002. 83 pp. [Fecha de consulta: septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>.

LIU, Qiumei et al. The Growth Promotion of Peppers (*Capsicum annuum* L.) by *Trichoderma guizhouense* NJAU4742-Based Biological Organic Fertilizer: Possible Role of Increasing Nutrient Availabilities. *Microorganisms* [en línea]. Agosto 2020, Vol. 8, nº. 9. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091296>

MAHDI, SS et al. Bio-fertilizers in Organic Agriculture. *The Journal of Phytology* [en línea]. Diciembre 2010, vol. 2, nº. 10. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/jp/article/view/2180> ISSN: 2075-6240

MANUAL de abonamiento con guano de las islas. Lima: MINAGRI, 2018. 123 pp. [Fecha de consulta: septiembre de 2021]. Disponible en: <https://acortar.link/3Lfovu>

MACIK, Mateusz, GRYTA, Agata y FRAC, Magdalena. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Adv. Agron.* [en línea]. 2020, vol.162. [Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001> ISSN: 0065-2113

MITTER, Eduardo. Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: Innovative Biofertilizer Technologies. *Front. Sustain. Food Systems.* [en línea]. Febrero 2021, vol. 5, nº. 606815. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>

MUMBA, Elliot. Applied research. [en línea]. Junio 2020, vol. 36, nº 86. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ndejjeuniversity.ac.ug/wp-content/uploads/2018/12/NDU8.pdf>

NATH, Bhowmik y DAS, Anup. A Sustainable Approach for Pulse Production [en línea]. Singapore: Legumes for Soil Health and Sustainable Management, 2021 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_14 ISBN: 978-981-13-02534

NATIONAL Geographic. Crops. Biology, Earth Science [en línea]. Enero 2020 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/crops/?utm_source=BiblioRCM_Row

NOSHEEN, Shaista, AJMAL, IQRA y SONG, Yuanda. Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. Sustainability [en línea] Vol. 13, n°. 4, febrero 2021 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/d5f01d4d1d6483efcf3ed216b7dd4bff/1?pqorigsite=gscholar&cbl=2032327>

OMOMOWO, Lyabo et al. Influence of phosphate solubilizing non-toxicogenic *Aspergillus flavus* strains on maize (*Zea mays* L.) growth parameters and mineral nutrients content. Agriculture and Food [en línea] 2020, vol. 5, n°. 3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.aimspress.com/article/id/5506>

PRADHAN, Madhusmita et al. Contribution of native phosphorous-solubilizing bacteria of acid soils on phosphorous acquisition in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Protoplasma [en línea] 2017, n°. 254. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00709-017-1112-1>

PARASTESH, Faezeh, ALIKHANI, Hossein. and ETESAMI, Hassan. Vermicompost enriched with phosphate-solubilizing bacteria provides plant with enough phosphorus in a sequential cropping under calcareous soil conditions. J. Cleaner Product. [en línea]. Junio 2019, vol. 221. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.234> ISSN 0959-6526

PEDROSA, F.O. et al. The ammonium excreting *Azospirillum brasilense* strain HM053: a new alternative inoculant for maize. *Plant Soil* [en línea]. Junio 2019, n^o. 451. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04124-8>

AGRICULTURAL Research Comunication Center. *Indian Journal Of Agricultural Research* [en línea]. 2019. Disponible en: <https://arccjournals.com/journals/indianjournal-of-agricultural-research>

RANA, Kavita, RANA, Neerja y SINGH, Birbal. Chapter 10 - Applications of sulfur oxidizing bacteria. *Physiological and Biotechnological Aspects of Extremophiles*, 2020 [en línea] [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818322-9.00010-1> ISBN: 9780128183229

RAKLAMI, Anas et al. Use of Rhizobacteria and Mycorrhizae Consortium in the Open Field as a Strategy for Improving Crop Nutrition, Productivity and Soil Fertility. *Frontiers in Microbiology* [en línea]. Mayo 2019, vol. 10. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01106>

RECHARTE, David. Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en San Gabriel – Abancay. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Abancay: Universidad Tecnológica de Los Andes, 2015. Disponible en: <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/30>

REZAKHANI, Leila et al. Phosphate-solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* [en línea]. Mayo 2019, vol. 173. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.060> ISSN: 01476513

RIAZ et al. Bio-fertilizers: Eco-Friendly Approach for Plant and Soil Environment. *Bioremediation and Biotechnology* [en línea]. Enero 2020 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_9 ISBN: 978-3-030-35691-0

SANE Shaddha y MEHTA SK. Isolation and Evaluation of Rock Phosphate Solubilizing Fungi as Potential Bio-fertilizer. J Fertil Pestic [en línea]. November 2015, vol. 6, nº 156. [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000156>

SHAMSELDIN, Abdelaal, ABDELKHALEK, Ahmed Y SADOWSKY, Michael. Recent changes to the classification of symbiotic, nitrogen-fixing, legumeassociating bacteria: a Review. Symbiosis [en línea]. Febrero 2017, nº 71. [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0462-3>

SHARMA Ameeta y CHETANI Ronal. A Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) [en línea]. February 2017, Vol. 5. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=6329> ISSN: 2321-9653

SERPIL, Savci. An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. International Journal of Environmental Science and Development [en línea]. February 2012., vol. 3, no. 518. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.ijesd.org/papers/191-X30004.pdf>

SINGH, Bijender et al. Contribution of microbial phytases to the improvement of plant growth and nutrition: A review. Pedosphere [en línea]. Junio 2021, vol. 30. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60010-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60010-8)

SIVASANKAR, Sobhana, HENG, Lee y KANG, Si-Young. Agriculture: Improving Crop Production. Improving Crop Production, Encyclopedia of Nuclear Energy [en línea]. 2021, Vol. 4. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12323-1>

SOUMARE, Abdoulaye. From Isolation Of Phosphate Solubilizing Microbes To Their Formulation And Use As Biofertilizers: Status And Needs. Front. Bioeng.

Biotechnology [en línea]. Enero 2020, vol. 7, nº. 425. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>

SOUZA, Ana, COSTA, Neusa, y BRITO, Guirardello. Psychometric properties in instruments evaluation of reliability and validity. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. Epidemiologia e serviços de saúde: Revista do Sistema Único de Saúde do Brasil [en línea]. Julio-septiembre 2017, Vol. 26 nº 3. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000300022>

RAJI, Muthuraja y THANGAVELU, Muthukumar. Isolation and screening of potassium solubilizing bacteria from saxicolous habitat and their impact on tomato growth in different soil types. Arch Microbiol [en línea]. Abril 2021, nº 203. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02284-9>

RASHMI, I. et al. Organic and Inorganic Fertilizer Contaminants in Agriculture: Impact on Soil and Water Resources [en línea]. Contaminants in Agriculture, 2020. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_1 ISBN: 978-3-030-41552-5

RITCHIE, Hannah. Excess fertilizer use: Which countries cause environmental damage by overapplying fertilizers? Our World in Data [en línea]. 7 de septiembre de 2021 [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://ourworldindata.org/excess-fertilizer>

RIVERA, Gianella y SOLORZANO, Carmen. Análisis bibliométrico de la aplicación de biomásas para la remoción de arsénico y plomo en aguas contaminadas. Tesis (Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63747>

SATAR, A. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: a review. Appl. Soil Ecol. [en línea]. Enero 2019, vol. 133. [Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>

SAHA, Madhumonti, et al. Identification and characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) from Indo-Gangetic Plains of India. *Biocatal Agric Biotechnol* [en línea]. Julio 2016, vol. 7. [Fecha de consulta: septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.171>

SONALI, Mary et.al. Application of a novel nanocomposite containing micro-nutrient solubilizing bacterial strains and CeO₂ nanocomposite as bio-fertilizer. *Chemosphere* [en línea]. Vol. 286, no. 3, 9 August 2021. [Fecha de consulta: septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521022724?via%3Dihub> ISSN: 0045-6535

SUTHAR, Harish et al. Fermentation: A process for biofertilizer production. In *Microorganisms for Green Revolution. Microorganisms for Sustainability* [en línea]. Diciembre 2017, vol. 6. [Fecha de consulta: 20 septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_12 ISBN: 978-981-10-6241-4

SUBRAMANIAM, Thiyageshwari et al. Exploration of Rice Husk Compost as an Alternate Organic Manure to Enhance the Productivity of Blackgram in Typic Haplustalf and Typic Rhodustalf. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. [en línea]. Vol. 15, nº 2., febrero 2018 [fecha de consulta: 20 septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph15020358>

THOMAS, Lebin y Singh, Ishwar. Microbial Biofertilizers: Types and Applications. *Soil Biology* [en línea]. Agosto 2019, vol. 55. [Fecha de consulta: 20 septiembre de 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_1 ISBN: 978-3-030-18933-4

T.M.S., El-Sherbeny, MOUSA, Abeer y EL-SAYED, R. Use of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization to improve the yield of onion (*Allium cepa* L.) plant. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea]. 6 September 2021 [fecha de consulta: 20 septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.094>

UPAMANYA, Gunadhya, BRATTACHARYA, Ashok y DUTTA, Pranab. Consortia of entomo-pathogenic fungi and bio-control agents improve the agro-ecological

conditions for brinjal cultivation of Assam. 3 Biotech [en línea]. Septiembre 2020, vol. 10, nº. 450., [Fecha de consulta: 20 septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02439-3>

UMESHA, Sharanaiah, SINGH, y SINGH, Rjat. Chapter 6 - Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. Biotechnology for Sustainable Agriculture, Woodhead Publishing [en línea]. January 2018 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4> ISBN: 978012812160

WANG, Xiaohui. Isolation and characterization of phosphofungi, and screening of their plant growth-promoting activities. AMB Express [en línea]. Abril 2018, vol. 8, nº. 63. [Fecha de consulta: 28 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0593-4>

WANG, Yiming, et al. The Long-Term Effects of Using Phosphate-Solubilizing Bacteria and Photosynthetic Bacteria as Biofertilizers on Peanut Yield and Soil Bacteria Community. Frontiers in Microbiology [en línea] Vol. 12, Julio 2021. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.693535>

WANG, Zhan et al. Comparison of greenhouse gas emissions of chemical fertilizer types in China's crop production. Journal of Cleaner Production [en línea]. January 2017, vol. 141. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.120>. ISSN: 0959-6526

WELCH, RM. Micronutrients, Agriculture and Nutrition: Linkages for Improved health and well being. Plant, Soil and Nutrition Laboratory, USDAARS, U.S. [en línea]. 2016 [fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013089615?resultNumber=3&q=Micronutrients%2C+agriculture+AND+nutrition> ISSN: 8172332637

WU, Fei et al. Effects of Phosphate Solubilizing Bacteria on the Growth, Photosynthesis, and Nutrient Uptake of *Camellia oleifera* Abel. Forest [en línea]. Aril

2019, vol. 10, nº. 4. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f10040348> ISSN: 1999-4907

YANG Dongging et al. Optimizing plant density and nitrogen application to manipulate tiller growth and increase grain yield and nitrogen-use efficiency in winter wheat. [en línea]. Febrero 2019, vol. 7. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.7717/peerj.6484>

YARZABAL, Luis, MONSERRATE, Lorena, BUELA, Lenys y CHICA, Eduardo. Antarctic *Pseudomonas* spp. promote wheat germination and growth at low temperatures. *Polar Biol* [en línea]. Noviembre 2018, Vol. 41. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2374-6>

YOUSSEF, Mohamed et al. Exogenously applied nitrogenous fertilizers and effective microorganisms improve plant growth of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) and soil fertility. *Applied Microbiology Mini-Reviews* [en línea]. septiembre 2021, nº 133. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01292-8>

YU, Le et al. Novel phosphate-solubilising bacteria isolated from sewage sludge and the mechanism of phosphate solubilisation. *Sci. Total Environ.* [en línea]. Marzo 2019, vol. 25, nº. 658. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.166>

ZAHID, Mahwish, ABBASI, M. K., HAMEED, Sohail, y RAHIM, Nasir. Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in microbiology* [en línea]. Marzo, 2015, vol. 6, nº.07. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00207>

ZAMAN, Muhammad et al. Evaluation of biofertilizer in combination with organic amendments and rock phosphate enriched compost for improving productivity of chickpea and maize. *Soil and Environment* [en línea] Vol. 36, nº. 01, 2019. [Fecha de

consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.25252/SE/17/31043> ISSN: 2075-1141

ZAMBRANO, José et al. Use of Biofertilizers in Agricultural Production. [en línea]. marzo 2021 [fecha de consulta: 16 de noviembre de 2021]. Disponible en:
<https://doi.org/10.5772/intechopen.98264>

ZHANG, Hao. Optimizing integrative cultivation management improves grain quality while increasing yield and nitrogen use efficiency in rice. *Journal of Integrative Agriculture* [en línea]. Diciembre 2019, vol. 18, nº 12. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62836-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62836-4) ISSN: 2095-3119

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas						
Tipo de variable	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala/Unidades
INDEPENDIENTE	Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos	Los biofertilizantes se refieren a preparaciones que contienen generalmente cepas activas de microorganismos en número suficiente que pueden ayudar a las plantas a absorber nutrientes y mejorar la estructura del suelo Galipothula (2017).	En el análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas, primero se tomó en cuenta el número de revistas e investigaciones que contienen la información requerida, luego se evaluó los diferentes tipos de biofertilizantes y la dosis de aplicación del biofertilizante.	Numero de investigaciones	Scopus	Nominal
					Web of Science	
				Ámbito geográfico	País	Nominal
				Numero de revistas	Scopus	Nominal
					Web of Science	
				Área temática	Agricultural and Biological Sciences	Nominal
Agriculture						
Dosis de biofertilizante	Tipo de biofertilizantes	Nominal				
	Cantidad	g/kg				
DEPENDIENTE	Crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas	El crecimiento es el aumento irreversible del tamaño de la planta que requiere de nutrientes en cantidades suficientes y equilibradas Umesha et al., (2018). El rendimiento es la cantidad de producto	Para determinar en el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas, se midió la altura de la planta, diámetro de hojas/planta, longitud de la raíz, peso fresco de la planta, peso seco de la planta y rendimiento del cultivo. El porcentaje de crecimiento y rendimiento de cultivo se calculó empleando las siguientes ecuaciones.	Parámetros de crecimiento y rendimiento	Altura de la planta	Cm, %
					Número de hojas/planta	cm
					Longitud de la raíz	cm
					Peso fresco de la planta	g
					Peso seco de la planta	g

		de la cosecha en un área específica (cantidad de productos de la cosecha/área de cultivo) Fermont y Benson (2011).	$\% \text{crecimiento} = \frac{\text{altura de la planta (Biof)} - \text{Altura de la planta (control)}}{\text{Altura de la planta (control)}}$ $\% \text{rendimiento} = \frac{\text{rendimiento actual}}{\text{rendimiento teórico}} \times 100$		Rendimiento del cultivo	kg/ha kg/planta %
--	--	--	--	--	-------------------------	-------------------------

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería Química y Ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas**
 1.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería Química y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Dosis de los biofertilizantes a base de microorganismo**
- 1.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

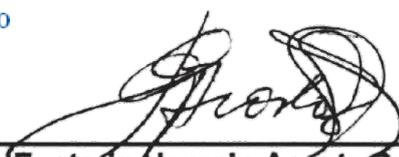
III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería Química y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento**
- 1.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

2. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

VI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

I. DATOS GENERALES

- 4.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
 4.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 4.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
 4.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas**
 4.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.6. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
 1.7. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 1.8. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
 1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Dosis de los biofertilizantes a base de microorganismo**
 1.10. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

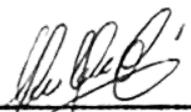
V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

VI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
i. DATOS GENERALES

- 2.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
 2.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 2.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
 2.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento**
 2.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

j. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

k. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%



Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Castro Tena, Lucero Katherine**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento**
- 1.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%



LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI: 70837735
 CI P: 162994



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Castro Tena, Lucero Katherine**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento**
 1.5. Autoras de Instrumento: **Nelida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI:70837735
 CI P: 162994

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Castro Tena, Lucero Katherine**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Calidad y Gestión de los Recursos Naturales**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento**
- 1.5. Autoras de Instrumento: **Nélida Gloria Fustamante Cabrera / Yaneth Catherine Tarazona Gomez**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
IV.

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

V. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

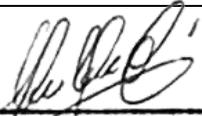
95%

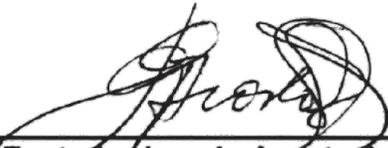


LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI:70837735
 CI P: 162994

Ficha 1: Tipos de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas

	Título	Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.				
	Línea de investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales				
	Responsables	- Fustamante Cabrera, Nélide Gloria - Tarazona Gomez, Yaneth Catherine				
	Asesor	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto				
Tipo de biofertilizante	Tipo de cultivo	Método de aplicación	Función de biofertilizantes	Nombre del microorganismo	Observaciones	Referencia (Autores)


Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450


LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI:70837735
 CI P: 162994

Ficha 2: Dosis de los biofertilizantes a base de microorganismo

	Título		Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.			
	Línea de investigación		Calidad y Gestión de los Recursos Naturales			
	Responsables		- Fustamante Cabrera, Nélide Gloria - Tarazona Gomez, Yaneth Catherine			
	Asesor		Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto			
Nombre del Microorganismo	Tipo de cultivo	Dosis aplicada	Porcentaje de crecimiento	Porcentaje de rendimiento	Observaciones	Autor (es)

Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI:70837735
 CI P: 162994

Ficha 3: Efecto de los biofertilizantes a base de microorganismos sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento

	Título		Análisis bibliométrico sobre el uso de biofertilizantes a base de microorganismos para el crecimiento y rendimiento de cultivos agrícolas.					
	Línea de investigación		Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
	Responsables		- Fustamante Cabrera, Nélida Gloria - Tarazona Gomez, Yaneth Catherine					
	Asesor		Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto					
Cultivo	Parámetros de crecimiento y rendimiento							
	Tipo de cultivo	Altura de la planta (cm)	Diámetro de hojas/planta (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Peso fresco de la planta (g)	Peso seco de la planta (g)	Rendimiento del cultivo (kg/ha kg/planta %)	Autor (es)

Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera
 DOCENTE E INVESTIGADOR
 CIP: 130267
 RENACYT: P0078275

Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI: 70837735
 CI P: 162994