



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Aplicación de Bacterias y Hongos para la Biodisponibilidad de
Nutrientes y Recuperación de Suelos Degradados: Revisión
Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Carrasco Chaico, Marco Roberto (ORCID: 0000-0002-0407-4272)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos que son el motivo de todos mis logros.

A mis colegas y amigos por su constante enseñanza en mi etapa profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor por su paciencia y exigencia durante mi etapa de investigación científica.

A mis superiores de mi centro de labores por permitirme desarrollar mi tesis dentro de su organización.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Tipo y diseño de investigación	24
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	24
3.3. Escenario de estudio.....	26
3.4. Participantes	26
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.6. Procedimientos	27
3.7. Rigor científico	27
3.8. Método de análisis de información.....	28
3.9. Aspectos éticos.....	29
IV. RESULTADOS	30
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de antecedentes de la aplicación de bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes de suelos degradados.....	9
Tabla 2: Matriz de categorización apriorística.....	25
Tabla 3: Diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados.	32
Tabla 4: Comparación entre la aplicación de coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Indicadores de erosión del suelo en el año 2016 (parte derecha sombreada es el componente dinámico).....	18
Figura 2: Gráfica porcentual de la erosión del suelo agrícola.....	19
Figura 3: Principales amenazas del suelo y posibles impactos en los servicios de los ecosistemas (de apoyo, regulación, aprovisionamiento, culturales) proporcionados por el capital natural del suelo.	20
Figura 4: Mecanismos usados por bacterias y hongos para recuperar suelos degradados	21
Figura 5: Procedimiento de selección de artículos.	27
Figura 6: Bacterias y hongos con mayor poder de restablecer la fertilidad de suelos degradados.	30

RESUMEN

Este estudio presentó como objetivo determinar cuáles son las bacterias y hongos más eficaces para la síntesis de la biodisponibilidad de nutrientes así como Identificar cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad y recuperación de suelos degradados, definir la diferencia entre ambas y determinar qué manera la coinoculación es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, para lo cual se realizó un proceso de selección de 78 artículos científicos, obteniendo los siguientes puntos:

Las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad y recuperación de suelos degradados son los hongos siendo usados en un 64% de investigadores, donde Glomeraceae fue la familia de hongos más empleadas presentando un promedio de recuperación de suelos degradados de 80 a 85%. Las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados se tienen que tanto los hongos como los inóculos bacterianos aumentan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo a través de la descomposición de materia orgánica, la fijación de N, la movilización de P, K y Fe; y De acuerdo al análisis comparativo de microorganismos (bacterias y hongos) para determinar de qué manera la coinoculación con o sin fertilizantes orgánicos es más beneficioso para restablecer la fertilidad del suelo, se tiene que; el inóculo microbiano solitario podría no ser muy efectivo para influir en la biodisponibilidad de varios nutrientes; por lo tanto, la coinoculación de microbios podría resultar más beneficiosa en la recuperación de suelos degradados.

Palabras clave: Bacterias, hongos, biodisponibilidad, nutrientes, recuperación del suelo, degradación.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine which bacteria and fungi are the most effective for the synthesis of nutrient bioavailability, as well as to identify which bacteria and fungi have the greatest power to restore fertility and recovery of degraded soils, to define the difference between the two and to determine how co-inoculation is most beneficial for restoring soil fertility, for which a selection process of 78 scientific articles was carried out, obtaining the following points:

The bacteria and fungi that present the greatest power to restore fertility and recovery of degraded soils are fungi being used in 64% of researchers, where Glomeraceae was the most used family of fungi presenting an average recovery of degraded soils from 80 to 85%. The differences in bacteria and fungi for nutrient bioavailability and aggregate formation are that both fungi and bacterial inoculums increase the availability of nutrients in the soil solution through the decomposition of organic matter, N fixation, mobilization of P, K and Fe; y According to the comparative analysis of microorganisms (bacteria and fungi) to determine how co-inoculation with or without organic fertilizers is more beneficial to restore soil fertility, it is found that; the solitary microbial inoculum may not be very effective in influencing the bioavailability of various nutrients; therefore, the co-inoculation of microbes could be more beneficial in the recovery of degraded soils.

Key words: Bacteria, fungi, bioavailability, nutrients, soil remediation, degradation.

I. INTRODUCCIÓN

La industrialización, la urbanización, la irrigación con efluentes, la eliminación incontrolada de residuos, el abuso de los plásticos agrícolas y otras actividades antropogénicas han provocado una contaminación sin precedentes de los suelos (Bandara Tharanga et al, 2020, p.3).

Los residuos, el abuso de plásticos agrícolas y otras actividades antropogénicas han provocado una contaminación sin precedentes de los suelos cultivables con metales pesados (Qi Fangjie et al., 2017, p.1). Por ejemplo, ésteres de ácido ftálico (PAE) (Zhao Keli et al., 2019, p.2). El ácido di-(2-etilhexilo) ftálico (DEHP) es un PAE típico, y el cadmio (Cd) como metal pesado típico, han planteado riesgos alarmantes para el medio ambiente y la salud humana de estos contaminantes orgánicos y metálicos a nivel mundial (Antoniadis Vasileios et al., 2019, p.2).

Pueden ser absorbidos por las plantas, disminuyendo el rendimiento y la calidad de los cultivos, y finalmente pueden acumularse en el cuerpo humano a través de la red alimentaria, dañando las funciones de los órganos humanos, incluidos los sistemas endocrinos y reproductivos (Chen Hanbo et al., 2019, p.2). Simultáneamente, el pobre contenido de materia orgánica de los suelos ha sido identificado como una razón principal de la disminución de la calidad del suelo y del rendimiento de los cultivos en todo el mundo (Sarkar Binoy et al., 2016, p.3).

Las prácticas agrícolas intensivas y el cultivo de cultivos exhaustivos también han deteriorado la fertilidad del suelo y su calidad en los agroecosistemas (Qin Peng et al., 2018, p.2). Según una estimación, estas prácticas convertirán el 30% del suelo cultivado del mundo total en tierras degradadas para 2020; debido a ello la estructura del suelo y la pérdida de fertilidad son una de las principales causas de la degradación del suelo (Rashid Muhammad Imtiaz et al., 2016, p.1).

También se consideran una gran amenaza para la producción de cultivos y la seguridad alimentaria de las generaciones futuras (Wei Jing et al., 2019, p.2). La implementación de tecnología segura y respetuosa con el medio ambiente sería una solución viable para lograr la restauración sostenible de suelos degradados (Quan Guixiang et al., 2020, p.1). Lograr esta recuperación mediante enmiendas adecuadas de bajo coste es una opción atractiva para la restauración del suelo, tanto desde el

punto de vista medioambiental como desde el punto de vista de económico (Li Zichuan et al., 2019, p.4).

Por lo tanto, la recuperación de suelos degradados, como los co-contaminados con DEHP y metales pesados (loides) y los suelos con bajo contenido en materia orgánica es de gran importancia (Bolan N. y Kirkham M., 2017, p.7).

Los inóculos bacterianos y fúngicos tienen el potencial de restablecer la fertilidad de la tierra degradada a través de varios procesos (Cánovas Carlos R. et al., 2019, p.4). Estos microorganismos aumentan la biodisponibilidad de nutrientes mediante la fijación de nitrógeno y la movilización de nutrientes clave (fósforo, potasio y hierro) a las plantas de cultivo al tiempo que remedia la estructura del suelo mejorando su agregación y estabilidad (Fernández Caliani J. et al., 2021, p.2).

La tasa de éxito de tales inóculos en condiciones de campo depende de su interacción antagonista o sinérgica con microbios autóctonos o de su inoculación con fertilizantes orgánicos (Bech J. et al., 2017, p.2). La co-inoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo y el contenido de materia orgánica que el inóculo único (Madejón Paula et al., 2021, p.2).

Debido a la problemática expuesta se plantea el problema general: ¿Cuáles son las bacterias y hongos más eficaces para la síntesis de la biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados? y como problemas específicos se tiene:

PE1: ¿Cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados?

PE2: ¿Cuáles son las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados?

PE3: ¿De qué manera la coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica y recuperación de suelos degradados?

Así también se elaboró el objetivo general: Determinar cuáles son las bacterias y hongos más eficaces para la síntesis de la biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados y como objetivos específicos:

OE1: Identificar cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados.

OE2: Definir las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados.

OE3: Determinar de qué manera la coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica y recuperación de suelos degradados.

Es así que este estudio presenta una justificación teórica; buscando mediante la recolección de literaturas actualizadas de diversas partes del mundo resolver la problemática planteada y dar a conocer cuáles son las bacterias y hongos que presentan mejor mecanismo de acción para la biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados; con la finalidad de contribuir con nuevos aportes para futuros investigadores y estos puedan utilizar el estudio realizado para ampliarlo en nuevos campos.

II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo al análisis de las investigaciones realizadas por diversos autores y que guardan relación con la presente investigación, se pudo encontrar los siguientes antecedentes:

Song Xiuchao et al., (2016, p.1) realizó una investigación experimental, con un diseño factorial y utilizó tres niveles de vermicompost, a diferentes dosis, con y sin los microorganismos. Asimismo, para analizar la efectividad, fueron aplicadas en cultivos de tomate. Los resultados de la investigación mostraron que la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal sin el vermicompost, no tuvieron ningún efecto sobre la calidad del suelo y rendimiento del cultivo. A diferencia de la aplicación de microorganismo con el vermicompost, que sí tuvieron efectos beneficiosos tanto en el suelo como en el cultivo. Además, las dosis de vermicompost mostraron una relación directamente proporcional a los efectos beneficiosos en el suelo y cultivos (tomates), es decir, a mayor dosis, mayores beneficios.

Por otro lado, Goswami Dweipayan et al., (2015, p.1) desarrolló una investigación con diseño experimental de enfoque cuantitativo, donde realizó un análisis de la secuencia del gen del ARNr 16S para identificar el aislado, que mostró que era el vecino más cercano para ser la cepa BS8 de *Pseudomonas aeruginosa*. Asimismo, desarrolló un preparado y probó un biofertilizante a base de talco usando la cepa BG en el crecimiento de plántulas de garbanzo, donde las semillas tratadas con biofertilizante mostraron un crecimiento mejorado. Por lo tanto, se concluyó que *P. aeruginosa* BG marina mostró capacidad de promoción del crecimiento de las plantas y biocontrol junto con la actividad de la ureasa.

Cui Hang et al., (2015, p. 1) desarrolló un estudio donde estableció cinco manejos de suelo en un huerto de guayaba en el sur de China por dos años y medio, incluyendo cultivo limpio (CC), cultivo de cobertura con *Paspalum natatu* (PN), PN con inoculación micorrízica fúngica arbuscular (PNA), cobertura cultivo con *Stylosanthes guianensis* (SG), SG con inoculación de rizobios (SGR). Se analizaron las propiedades químicas, bioquímicas y microbianas del suelo. En general, este estudio sugiere que, en huertos subtropicales con suelo rojo, el cultivo de cobertura con inoculación microbiana puede mejorar la hidrólisis de Po a través de la comunidad bacteriana que alberga alp promovida y luego la actividad ALP. Los resultados también sugieren que la combinación de *P. natatu* y hongos micorrízicos arbusculares

es mejor que *S. guianensis* y rizobios, que posee un significado práctico para la producción sostenible en estos huertos.

Mientras tanto, Leifheit et al., (2015, p. 1) realizaron una investigación experimental donde usaron macetas de laboratorio, y probaron simultáneamente los efectos únicos y combinados de una especie de HMA (*Rhizophagus irregularis*) y una comunidad microbiana natural sin HMA en la descomposición de pequeños palos de madera y en la agregación del suelo. La descomposición de los palos de madera en este compartimento se redujo significativamente en presencia de HMA, pero no solo con la comunidad microbiana HMA, mientras que en comparación con el control la agregación se incrementó en todos los tratamientos en comparación con el control.

Xu et al., (2015, p. 1) desarrollaron un estudio experimental en macetas para evaluar los efectos de la inoculación de hongos AM en el crecimiento de dos cultivos, tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y maíz (*Zea mays* L.), y la estructura del suelo en un suelo arcilloso (suelo negro de concreción de cal). Los resultados mostraron que la inoculación de hongos AM aumentó las concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) de los brotes del maíz en un 32,4% y un 17,0%, respectivamente. El N del suelo hidrolizable con álcali y el Olsen-P fueron 30,1% y 29,9% más altos, respectivamente, en las plantas de maíz inoculadas que en los tratamientos correspondientes sin inocular durante 30 días. No se encontró ningún efecto de los hongos AM sobre la absorción de nutrientes y los nutrientes disponibles en el suelo para las plantas de tomate. Los resultados sugirieron que los hongos AM podrían no siempre beneficiar el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes después de la inoculación durante 30 días, pero contribuyeron a la mejora de la estructura del suelo incluso con una baja colonización.

Sin embargo, Ortiz et al., (2015, p. 1) realizaron un estudio experimental donde analizaron microorganismos autóctonos [un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (AM) y *Bacillus thuringiensis* (Bt)] y se compararon con *Rhizophagus intraradices* (Ri), *Bacillus megaterium* (Bm) o *Pseudomonas putida* (Psp) y la no inoculación en *Trifolium repens* un suelo árido natural en condiciones de sequía. La inoculación de micorrizas mejoró significativamente el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y el contenido relativo de agua, particularmente cuando se asocia con bacterias específicas, lo que minimiza los efectos del estrés por sequía.

Además, Li Jiao et al., (2020, p. 1) desarrollaron un estudio experimental en macetas para investigar los efectos de la inoculación de hongos AM sobre la absorción de Se en el cultivo de trigo de invierno en suelos enriquecidos con selenito (Se (IV)) o selenato (Se (VI)) ($2,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) y sobre la biodisponibilidad de Se en los suelos de la rizosfera. Los resultados también mostraron que la disponibilidad de Se en los suelos de la rizosfera de trigo aparentemente fue influenciada por la especiación de Se exógeno. Asimismo, el estudio puede proporcionar una base teórica para el estudio de los hongos MA en la biofortificación con Se del trigo de invierno.

En cambio, Rodríguez Berbel et al., (2020, p. 1) realizó una investigación experimental, cuyo objetivo principal fue evaluar el éxito de diferentes tratamientos de restauración a largo plazo mediante dos enmiendas orgánicas (lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (SS) y compost de residuos sólidos domésticos (CW)). También estudiaron las relaciones entre los taxones bacterianos del suelo y las propiedades químicas del suelo (pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico total (TOC) y contenido total de nitrógeno (TN)), así como las interrelaciones entre los taxones bacterianos del suelo en el género, nivel o el siguiente nivel taxonómico superior identificado.

Por otra parte, Azizi Soghra et al., (2021, p. 1) investigaron los efectos de la inoculación de Los hongos micorrízicos arbusculares (AMF) simple y doble (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis*) y PGPR (*Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*) sobre la supervivencia, el crecimiento, la fisiología y los rasgos bioquímicos de las plántulas en condiciones de déficit de agua del suelo (100%, 60% y 30% de la capacidad de campo). Los hallazgos indican aumentos igualmente significativos mediados por AMF y PGPR en la resistencia a la sequía del mirto a través de un mejor suministro de agua y nutrientes y la estimulación de la defensa antioxidante. Las inoculaciones duales demostraron ser más efectivas y proporcionan un enfoque de bajo costo para optimizar los programas de cultivo y restauración de mirto.

Según Nicholas O. et al., (2021, p. 1) realizaron una investigación experimental cuyo objetivo principal fue evaluar la capacidad de *Rhizobium* spp. y hongos micorrízicos para mejorar el rendimiento, el tamaño de la semilla y el contenido de ácidos grasos de la soja cultivada en un ambiente semiárido. Entre sus principales conclusiones se pudo constatar que las plantas de soja doblemente inoculadas (R1 + R3MY) revelaron

34,3 g de peso fresco, 15,1 g de peso seco y las plantas de soja inoculadas individualmente con *Rhizobium* sp. la cepa R1 (R1) produjo semillas más grandes con 12,03 g de peso seco. Las bacterias centrales que se encontraron en el suelo rizosférico fueron Verrumicrobia, Proteobacteria, Gemmatimonadetes, Firmicutes, Cyanobacteria, Chloroflexi, Bacteroidetes, Actinobacteria, Acidobacteria, Planctomycetes, *Deinococcus thermus* y *Nitrospira*, sugiriendo que los rizobios del suelo y los hongos utilizados en este estudio también pueden mejorar los microbios utilizados en este estudio.

Por otra parte, es importante mencionar la investigación realizada por Ma Pengkun et al., (2021, p. 1) donde experimentalmente demostraron que los hongos micorrízicos arbusculares (AM) pueden reducir los efectos negativos de la salinización y facilitar la revegetación de suelos de tierras secas salinizadas. La aplicación de halófitos en la restauración de la vegetación de suelos salinizados ha recibido una atención creciente. Su experimento consistió en un experimento en macetas para analizar cuantitativamente el papel potencial de las especies de hongos 3 AM (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices* y *Diversispora tortuosa*) en el crecimiento, estado nutricional, absorción de sal, homeostasis iónica, síntesis de sustancias osmóticas y actividades de enzimas antioxidantes de *Suaeda glauca* (Bunge) cultivada en suelos de humedales salinizados.

Asimismo, Yadav et al., (2020, p. 1) desarrollaron una investigación experimental la cual consistió en el uso de tres bacterias nativas y cinco no nativas con y sin hongos micorrízicos arbusculares (AM) en un experimento de maceta de invernadero abierta con dos variedades de trigo para evaluar su efecto sobre el rendimiento del trigo, la absorción de nutrientes y los parámetros de salud del suelo. Entre sus principales conclusiones se observó una mejora significativa en los parámetros relacionados con la salud del suelo, incluida la materia orgánica del suelo y la actividad deshidrogenasa. Los resultados de la experimentación proporcionaron una hoja de ruta para utilizar los hongos PGPB y AM nativos para mejorar la producción de trigo en el estado de Punjab de la India y explorar su utilidad en otras partes del país con diferentes condiciones ambientales y de suelo.

Según Armada E. et al., (2016, p. 1) realizaron un estudio experimental, el cual tenía como objetivo principal evaluar las respuestas de *Lavandula dentata* en condiciones de sequía a la inoculación con un solo hongo micorrízico arbuscular (AM) autóctono

(cinco cepas de hongos) o con su mezcla y los efectos de estos inóculos con un *Bacillus thuringiensis* nativo (bacteria endofítica). Los autores concluyeron que la mezcla de hongos AM y *B. thuringiensis* maximizó la biomasa vegetal y compensó el estrés por sequía como valores de actividades antioxidantes [superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa APX), asimismo, las especies de hongos AM autóctonos y en particular su mezcla con *B. thuringiensis* demostraron su potencial para proteger a las plantas contra la sequía y ayudarlas a prosperar en ecosistemas semiáridos.

Por otra parte, Hamid Amir et al., (2019, p. 1) realizó una investigación experimental donde se evaluó la tierra vegetal reubicada y probar la inoculación de la planta con una mezcla de tres hongos micorrízicos arbusculares seleccionados (HMA) combinados con la enmienda del suelo con lodos de aguas residuales. Las plantas inoculadas se caracterizaron por una mejor nutrición mineral, una mayor relación Ca / Mg y una menor translocación de metales pesados. En conclusión, el estudio mostró que la inoculación de HMA combinada con la enmienda del suelo con lodos de depuradora puede mejorar la restauración ecológica de áreas ultramáficas degradadas por minas. En cambio, Yan L. et al., (2012, p. 1) desarrollaron un estudio experimental en macetas para determinar los efectos de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre las propiedades del suelo y el crecimiento de plántulas de pepino en un suelo degradado que se había utilizado para el monocultivo continuo de pepino en un invernadero durante 15 años. Las mejoras en la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas fueron mayores con las siguientes dos comunidades: *Glomus etunicatum* + *G. mosseae* + *Gigaspora margarita* + *Acaulospora lacunosa* y *G. aggregatum* + *G. etunicatum* + *G. mosseae* + *G. versiforme* + *G. margarita* + *A. lacunosa*. Los resultados sugirieron que ciertas comunidades de HMA podrían mejorar sustancialmente la calidad del suelo degradado.

Según Irankhah Simin et al., (2020, p. 1) llevaron a cabo una investigación experimental donde se evaluó el papel de un inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (AM), solo o en combinación con un tratamiento químico de jasmonato de metilo (MeJA), en la producción de trigonelina y diosgenina en plantas de fenogreco cultivadas con una leve limitación de agua. El estudio reveló un impacto diferencial, en función del tratamiento aplicado (inóculo, tratamientos MeJA, déficit hídrico), en el crecimiento vegetal y en la producción de las moléculas bioactivas

consideradas, aportando nueva información sobre el efecto de los tratamientos de imprimación biológica y química. Mientras que, Hu Dandan et al., (2019, p. 1) realizaron un estudio experimental cuyo objetivo principal fue determinar si la simbiosis AM interactúa con el mucílago de aquenios en la regulación del crecimiento de las plántulas en las dunas de arena. Entre sus principales conclusiones destacó que el mucílago de aceno tuvo un efecto más débil sobre la biomasa y sobre la concentración de nutrientes, clorofila y fitohormonas que la simbiosis AM.

Ghorchiani et al., (2018, p. 1) desarrolló una investigación experimental, donde el objetivo fue investigar el efecto de *Funneliformis mosseae* y *Pseudomonas fluorescens*, superfosfato triple (TSP) (como una forma fácilmente disponible de P) y fosfato de roca (RP) (como una forma poco soluble de P) en las condiciones vegetativas y partes reproductivas de maíz, colonización de raíces, contenido de P y N en el tejido vegetal y rendimiento de grano de la planta de maíz en condiciones de estrés por déficit hídrico. Para ello los investigadores llevaron a cabo un experimento de campo como arreglo de parcelas divididas basado en un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones por 100 días. En cambio, Zhang Zhongfeng et al., (2019, p. 1) en su estudio experimental corroboraron la hipótesis de que la colonización por HMA de plántulas de árboles mejoraría los agregados estables al agua del suelo cárstico degradado y mejoraría el crecimiento de las plántulas. Concluyeron que la plantación de especies de árboles inoculadas con HMA tiene el potencial de restaurar el ecosistema kárstico degradado. Por último, Ghanbarzadeh et al., (2021, p. 1) realizaron en su estudio experimental un análisis metabolómico y aplicaron un modelo completamente al azar considerando tres factores, el hongo micorrízico arbuscular *Claroideoglossum etunicatum*, la rizobacteria *Micrococcus yunnanensis* y los regímenes de riego (100, 70 y 40% de la capacidad de campo).

En la tabla N°1 se resumen los antecedentes de las diversas cepas bacterianas implicadas en la mejora de los parámetros de fertilidad del suelo.

Tabla 1: Cuadro de antecedentes de la aplicación de bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes de suelos degradados.

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
1	<i>Rizobacterias</i>	Investigar sobre el terreno las interacciones	Vermicompost y PGPR mostraron efectos sinérgicos	Song Xiuchao et al., (2016)

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		entre el vermicompost y el PGPR.	tanto en suelos como en cultivos.	
2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> BS8	Se realizó un análisis de la secuencia del gen del ARNr 16S para identificar el aislado, que mostró que era el vecino más cercano para ser la cepa BS8 de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	<i>P. aeruginosa</i> marina BG mostró capacidad de promoción del crecimiento de las plantas y control biológico junto con la actividad de la ureasa.	Goswami D., (2016)
3	<i>P. natatu</i> <i>S. guianensis</i>	Se busca determinar el efecto combinados de los cultivos de cobertura y los microbios simbióticos sobre el gen de la fosfatasa y la hidrólisis del fósforo orgánico en suelos de huertas subtropicales	Los resultados indican que el pH del suelo y el contenido de MOS tendieron a aumentar después del cultivo de cobertura solo o con inoculación microbiana.	Cui Hang y col., (2016)
4	<i>Rhizophagus irregularis</i>	En un experimento de laboratorio con macetas, probamos simultáneamente los efectos únicos y combinados de una especie de HMA (<i>Rhizophagus irregularis</i>) y una comunidad microbiana natural no HMA sobre la descomposición de pequeños palos de madera y sobre la agregación del suelo.	Sugerimos que los HMA directamente (a través de la eliminación localizada de nutrientes o condiciones de humedad alteradas) o indirectamente (al proporcionar una fuente de carbono alternativa) inhibieron la actividad de los descomponedores, lo que condujo a diferentes niveles de degradación de la hojarasca vegetal en nuestro entorno experimental.	Leifheit y col., (2016)
5	<i>Glomus mosseae</i>	Realizar un experimento en macetas para evaluar los	Los resultados mostraron que la inoculación de hongos AM aumentó las	Xu y col., (2016)

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		efectos de la inoculación de hongos AM en el crecimiento de dos cultivos, tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) y maíz (<i>Zea mays</i> L.), y la estructura del suelo en un suelo arcilloso (suelo negro de concreción de cal).	concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) de los brotes del maíz en un 32,4% y un 17,0%, respectivamente.	
6	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) <i>Rhizophagus intraradices</i> (Ri), <i>Bacillus megaterium</i> (Bm) o <i>Pseudomonas putida</i> (Psp)	Mejorar la tolerancia a la sequía de las plantas en condiciones naturales del suelo empelando hongos micorrízicos arbusculares y / o bacterias.	La inoculación de micorrizas mejoró significativamente el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y el contenido relativo de agua, particularmente cuando se asocia con bacterias específicas, lo que minimiza los efectos del estrés por sequía.	Ortiz N. et al., 2015
7	<i>Funneliformis mosseae</i> (Fm) y <i>Glomus versiforme</i> (Gv)	Se realizaron ensayos en macetas para investigar los efectos de la inoculación de hongos AM sobre la absorción de Se en el cultivo de trigo de invierno en suelos enriquecidos con selenito (Se (IV)) o selenato (Se (VI)) (2,5 mg kg ⁻¹) y sobre la biodisponibilidad de Se en los suelos de la rizosfera.	La inoculación de <i>Funneliformis mosseae</i> y <i>Glomus versiforme</i> aumentó significativamente y la concentración de Se disponible (SOL-Se o EXC-Se) en los suelos de la rizosfera en 30.21% -189.19% y 12.03% -76.35% en Se (IV) - o Se (VI) - suelos con pinchos, y el efecto de inocular Fm fue mejor que Gv .	Li Jiao et al., 2020
8	<i>Craurococcus</i> , <i>Phaselicystis</i> , <i>Crossiella</i>	Evaluar el éxito de diferentes tratamientos de restauración a largo plazo mediante dos enmiendas	Las bacterias mostraron correlaciones positivas significativas altas con TOC, TN y EC y correlaciones negativas con el pH	Rodríguez Berbel N. et al., 2020

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		orgánicas (lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (SS) y compost de residuos sólidos domésticos (CW)).	del suelo. En contraste, los suelos NA presentaron otros grupos de comunidades bacterianas (patrón de co-ocurrencia 2) representados por <i>Sphingomonas</i> , <i>Rubellimicrobium</i> , <i>Noviherbaspirillum</i> , <i>Psychroglaciecola</i> y <i>Caenimonas</i> , los cuales mostraron correlaciones positivas significativas altas con el pH del suelo y correlaciones negativas con TOC, TN y EC.	
9	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus irregularis</i>) y PGPR (<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>P. putida</i>)	Se investigó los efectos de AMF simple y doble (<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus irregularis</i>) y PGPR inoculación sobre la supervivencia, el crecimiento, la fisiología y los rasgos bioquímicos de las plántulas en condiciones de déficit hídrico del suelo (100%, 60% y 30% de la capacidad de campo).	En condiciones de sequía severa, todas las inoculaciones aumentaron la supervivencia en comparación con las plántulas no inoculadas. El deterioro del crecimiento relacionado con la sequía se compensó con más fuerza bajo tierra que en la superficie, especialmente en plantas de doble inoculación, lo que indica una asignación prioritaria de recursos a las raíces probablemente vinculada a cambios de fitohormonas inducidos por HMA y PGPR.	Azizi Soghra et al., 2021
10	<i>Rhizobium spp.</i>	El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de <i>Rhizobium spp.</i> y hongos micorrízicos para mejorar el rendimiento, el	Las semillas no inoculadas (control) contenían un mayor porcentaje de contenido de humedad en comparación con las semillas modificadas microbianamente,	Nicholas O. et al., 2021

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		tamaño de la semilla y el contenido de ácidos grasos de la soja cultivada en un ambiente semiárido <i>Rhizobium</i> sp.	mientras que las semillas co-inoculadas con <i>Rhizobium cellulosilyticum</i> la cepa R3 y el consorcio micorrízico revelaron el porcentaje más alto (8,4%) de grasa.	
11	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i> y <i>Diversispora tortuosa</i>	Se llevó a cabo un experimento en macetas para analizar cuantitativamente el papel potencial de las especies de hongos 3 AM (<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i> y <i>Diversispora tortuosa</i>) sobre el crecimiento, estado nutricional, absorción de sal, homeostasis iónica , síntesis de sustancias osmóticas y actividades de enzimas antioxidantes de <i>Suaeda glauca</i> (Bunge) cultivadas en suelos de humedales salinizados.	Los resultados mostraron que la simbiosis micorrízica aumentó significativamente la biomasa de <i>S. glauca</i> y la acumulación de Na + en brotes en un 28,6% -73,8% y 28,1% -135%, respectivamente, con <i>D. tortuosa</i> es más eficaz que <i>F. mosseae</i> o <i>R. intraradices</i> .	Da Pengkun et al., 2021
12	<i>Bacillus subtilis</i> y hongos AM	Se caracterizaron veintisiete aislamientos bacterianos de tres suelos diferentes por sus características promotoras del crecimiento de las plantas.	Plantas de trigo sometidas a PGPB (CP4) nativa (<i>Bacillus subtilis</i>) y el tratamiento con hongos AM dio los mejores resultados con referencia al contenido de macronutrientes (nitrógeno y fósforo), micronutrientes (hierro y zinc) en los granos de trigo y parámetros	Yadav Rasheshyam et al., 2020

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
			relacionados con el rendimiento, incluido el peso de mil granos, el número de granos por espiga y el total de macollos por planta. en ambos cultivares de trigo.	
13	<i>Bacillus thuringiensis</i> (bacteria endofítica)	Se evalúa las respuestas de <i>Lavandula dentata</i> en condiciones de sequía a la inoculación con un solo hongo micorrízico arbuscular (AM) autóctono (cinco cepas de hongos) o con su mezcla y los efectos de estos inóculos con un <i>Bacillus thuringiensis</i> nativo (bacteria endofítica).	Estas interacciones microbianas explican el mayor potencial de las plantas inoculadas doblemente para tolerar el estrés por sequía. <i>B. thuringiensis</i> "in vitro" bajo estrés osmótico no reduce sus capacidades de PGPB (bacterias promotoras del crecimiento vegetal) como producción de ácido indol acético (IAA) y ACC desaminasa y solubilización de fosfato, lo que indica su capacidad para mejorar el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés.	Armada E. et al., 2016
14	Hongos micorrízicos	Se evaluó un experimento de campo con tierra vegetal reubicada para probar la inoculación de la planta con una mezcla de tres hongos micorrízicos arbusculares seleccionados (HMA) combinados con la enmienda del suelo con lodos de aguas residuales.	Las plantas inoculadas con HMA que crecen en suelos modificados con lodos de depuradora mostraron un peso seco más de siete veces superior al de las plantas de control. Estas diferencias se correlacionaron positivamente con la colonización de micorrizas.	Amir Hamid et al., 2019
15	Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	Se realizó un experimento en macetas para determinar los efectos de las comunidades de	Las comunidades de HMA aumentaron el crecimiento de las plantas, el contenido de azúcar soluble, el contenido de clorofila	Yan L. et al., 2012

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre las propiedades del suelo y el crecimiento de plántulas de pepino en un suelo degradado que se había utilizado para el monocultivo continuo de pepino en un invernadero durante 15 años.	y la actividad de las raíces en comparación con los tratamientos no micorrízicos o de una sola especie de HMA.	
16	Hongos micorrízicos arbusculares (AM)	se evaluó el papel de un inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (AM), solo o en combinación con un tratamiento químico de jasmonato de metilo (MeJA), en la producción de trigonelina y diosgenina en plantas de fenogreco cultivadas con una leve limitación de agua.	Los resultados mostraron principalmente un aumento significativo en la producción de los metabolitos secundarios considerados, aunque están influenciados diferencialmente por los factores individuales (Stress, SYM, MeJA) y sus interacciones.	Irankeh Simin et al., 2020
17	Hongos micorrízicos arbusculares (AM)	Determinar si la simbiosis micorrizas arbusculares (AM) interactúa con el mucílago de achenios en la regulación del crecimiento de las plántulas en las dunas de arena	La simbiosis de AM resultó en un aumento de las concentraciones de nutrientes y clorofila y una disminución de las concentraciones de ácido salicílico (SA) y ácido abscísico (ABA).	Hu Dandan et al., 2019
18	<i>Funneliformis mosseae</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de <i>Funneliformis mosseae</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> ,	Los resultados indicaron que las interacciones de los inoculantes dependen de la alta o baja solubilidad de la fuente de P utilizada (disponibilidad de P).	Ghorchiani M. et al., 2018

No.	Microorganismo	Objetivo	Resultado	Referencia
		superfosfato triple (TSP) (como una forma de P fácilmente disponible) y fosfato de roca (RP) (como una forma poco soluble de P) en las partes vegetativas y reproductivas del maíz, colonización de raíces, contenido de P y N en el tejido vegetal y rendimiento de grano de la planta de maíz en condiciones de estrés por déficit hídrico.		
19	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus versiforme</i> y <i>Rhizophagus intraradices</i>	Determinar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares sobre el crecimiento de plántulas inoculadas y los agregados del suelo de la rizosfera	Biomasa Shoot de inoculado <i>T. sinensis</i> y las plántulas de <i>D. toxocarpa</i> se incrementaron en un 15,7–21,2% y un 8,5–20,4%, respectivamente, en comparación con las plántulas no inoculadas.	Zhang Zhongfeng et al., 2019
20	Hongo micorrízico arbuscular <i>Claroideoglossum etunicatum</i> y la rizobacteria <i>Micrococcus yunnanensis</i>	Este proyecto se realizó aplicando un modelo completamente al azar considerando tres factores, el hongo micorrízico arbuscular <i>Claroideoglossum etunicatum</i> , la rizobacteria <i>Micrococcus yunnanensis</i> y los regímenes de riego (100, 70 y 40% de la capacidad de campo).	Los resultados mostraron que los metabolismos del azúcar son las vías metabólicas más afectadas bajo estrés por sequía. Además, el aumento de algunos aminoácidos, ácido cítrico intermedios del ciclo y metabolitos del ácido fenólico podrían contribuir a los mecanismos de tolerancia de las plantas no inoculadas frente al estrés por déficit hídrico.	Ghanbarzadeh Z. et al., 2021

Fuente: Elaboración propia

El suelo forma una capa delgada de material en la superficie de la Tierra, pero juega un papel fundamental en la regulación del flujo y la transferencia de masa y energía entre la litosfera, la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera (Fao Food et al., 2016, p.1). Es un medio vital para la vida humana al respaldar la producción agrícola, que proporciona el 95% de los alimentos mundiales (Borrelli Pasquale et al., 2020, p.1). Los suelos también proporcionan bienes y servicios valiosos para los ecosistemas y el bienestar humano, como la producción de biomasa, el suministro de materias primas, la filtración de contaminantes, la regulación del agua, los ciclos de nutrientes y el clima, y un archivo del patrimonio cultural (Panagos Panos et al., 2020, p.2). Los suelos son los principales depósitos de biodiversidad mundial y el segundo depósito de carbono más grande de la Tierra, después de los océanos (Stolte Jannes et al., 2016, p.2).

Además, la productividad del suelo será uno de los factores ambientales más importantes (quizás incluso el factor más importante) para asegurar la supervivencia de la humanidad durante el siglo XXI (Delgado Jorge A. et al., 2021, p.209). Este factor clave probablemente será más importante que nunca a medida que la población humana mundial en expansión se enfrenta a los desafíos sin precedentes de un clima que cambia rápidamente (Gelder Brian et al., 2018, p.5). Más que nunca, es de vital importancia conservar los recursos del suelo del mundo para que se puedan lograr los aumentos necesarios en la producción agrícola para alimentar a 9-10 mil millones de personas (Patsios S. et al., 2021, p.2). Los suelos son el resultado de complejos procesos físicos, químicos y biológicos en el tiempo y el espacio donde sus propiedades y funciones están amenazadas por la sobreexplotación y degradación debido a un mal manejo, con impactos en su productividad biológica y económica (Aguilera Eduardo et al., 2020, p.2). Recientemente, las crecientes amenazas han llevado a los suelos de todo el mundo al límite crítico para los servicios de los ecosistemas (Veerman Cees et al., 2020, p.1).

En la Unión Europea (UE), el 60-70% de los suelos se degradan como resultado directo de prácticas de gestión insostenibles y han perdido una capacidad significativa para proporcionar funciones ecológicas para diversas formas de vida (Worldmeter D., 2019, p.1). En 2017, se identificó que el 25% de la tierra europea (411.000 km²), particularmente en el sur de Europa, presentaba un riesgo alto o muy alto de desertificación, un aumento del 14% desde 2008 (Pravalie Remus et al., 2017, p.39.)

Se elaboró mediante el modelo RUSLE2015 el indicador de erosión del suelo para el año 2016 como se muestra en la Figura N°1.

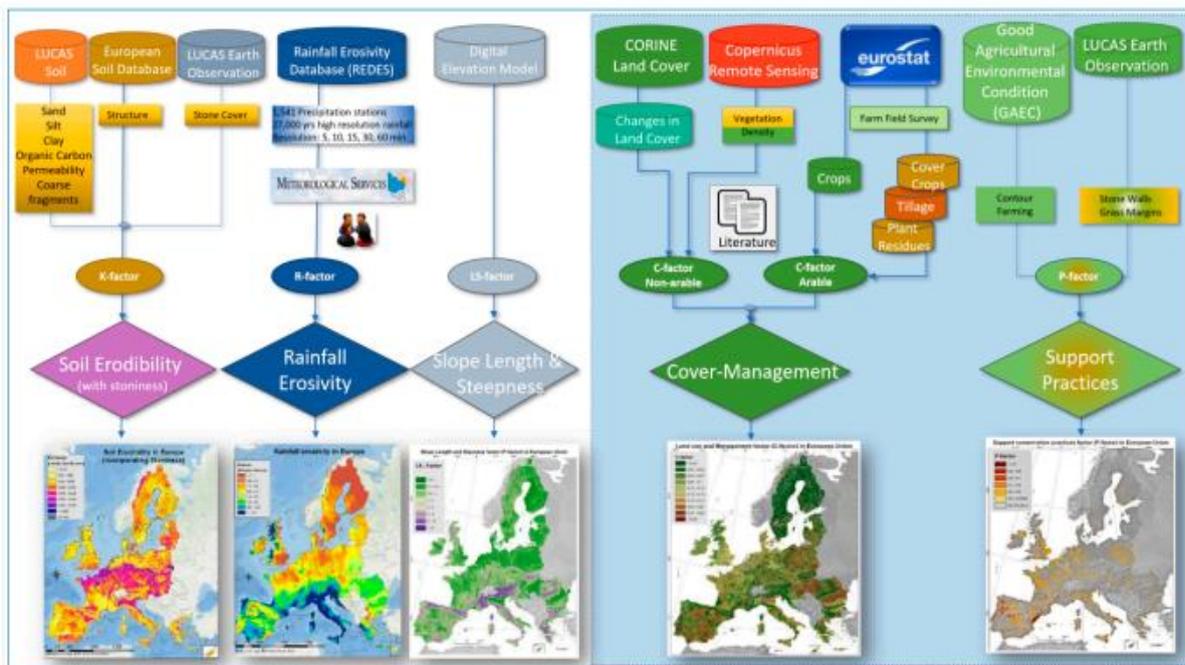


Figura 1: Indicadores de erosión del suelo en el año 2016 (parte derecha sombreada es el componente dinámico)

Fuente: *Panagos Panos et al., 2020*

Es así que utilizando un consulto de bases de datos de años anteriores se evaluó la erosión del suelo y sus indicadores; de acuerdo a la figura N°1 el factor C incorpora los cambios en la cubierta vegetal y las prácticas de gestión aplicadas en las tierras de cultivo (labranza, cultivos de cobertura y residuos vegetales). Además, el factor P tiene en cuenta los cambios en los márgenes de hierba y los muros de piedra. En resumen, la gestión de la cubierta (factor C) y las prácticas de apoyo (factor P) cuantifican las intervenciones humanas y el impacto de las políticas agroambientales a corto plazo.

Los factores de productividad del suelo que generalmente se ven disminuidos por la erosión del suelo incluyen la pérdida directa de fertilidad del suelo, la pérdida de materia orgánica del suelo, el deterioro de la estructura del suelo y la disminución de la capacidad de suministro de agua (capacidad para proporcionar agua a las plantas en crecimiento) (Riccaboni et al., 2020, p.16). El asiento principal de fertilidad de muchos suelos es la capa superficial del suelo; es así que la pérdida directa de la fertilidad del suelo ocurre cuando los fertilizantes aplicados en la superficie o los nutrientes vegetales disponibles adheridos a las partículas del suelo se eliminan

durante la escorrentía y la erosión (Knoepp Jennifer D. et al., 2019, p.3). La pérdida indirecta de la fertilidad del suelo ocurre en la materia orgánica que se pierde cuando la capa superficial del suelo se erosiona (Doblas Miranda E. et al., 2017, p.4). El transporte de sedimentos representó más del 95% del N y P se perdió y la mayor parte del K se perdió por los tratamientos de barbecho, maíz continuo y maíz rotacional (Shukla P. et al., 2019, p.5). En la Unión Europea (UE), las principales amenazas al suelo son la erosión, la disminución de la materia orgánica y la biodiversidad, la contaminación, el sellado, la compactación y la salinización (Bourlin N. y Ferrer R., 2018, p.14). La región mediterránea ha sido identificada como particularmente vulnerable a la degradación del suelo, tiene las tasas de erosión más altas dentro de la UE, los niveles más bajos de materia orgánica del suelo y problemas severos de salinización (Lombardi Rosa et al., 2017, p.2).

De manera análoga, estos cambios han provocado variaciones considerables en la densidad de población y cambios significativos en el uso de la tierra, caracterizados por el abandono de las áreas rurales, la disminución de la superficie agrícola, la expansión de los bosques y la expansión urbana (Egidi Gianluca et al., 2020, p.4). En la Figura N°2 se puede observar la erosión severa afecta hasta el 41% de las tierras agrícolas en Eslovenia.

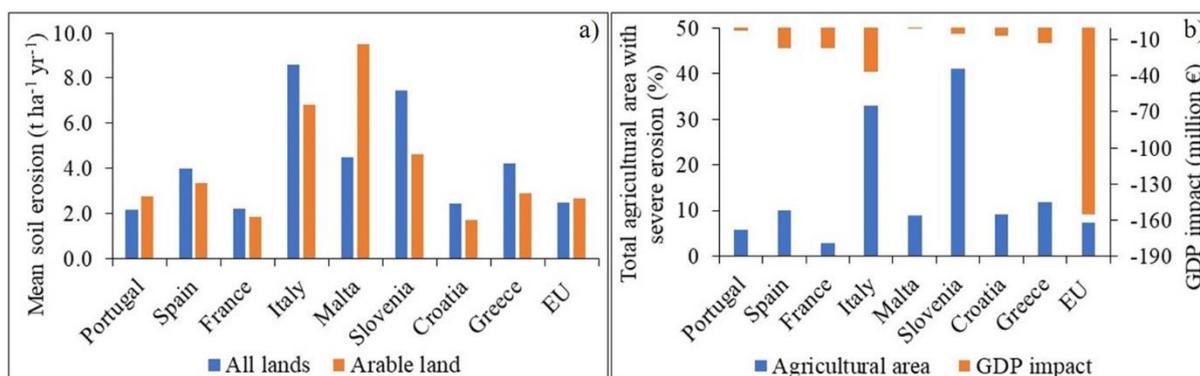


Figura 2: Gráfica porcentual de la erosión del suelo agrícola.

Fuente: Panagos Panos et al., 2018

De acuerdo con la Figura N°2, se muestra en la primera imagen la erosión media del suelo en los países mediterráneos de la UE. En la imagen 2 porcentaje de la tierra agrícola total que sufre una erosión severa del suelo (> 2 t ha⁻¹ año⁻¹) e impacto en el PIB debido a la pérdida de productividad.

Esto puede definirse como el deterioro físico-químico y biológico del medio ambiente del suelo a través de la actividad antropogénica que conduce a una grave disminución de la productividad y fertilidad del suelo. Como se muestra en la Figura N°3.

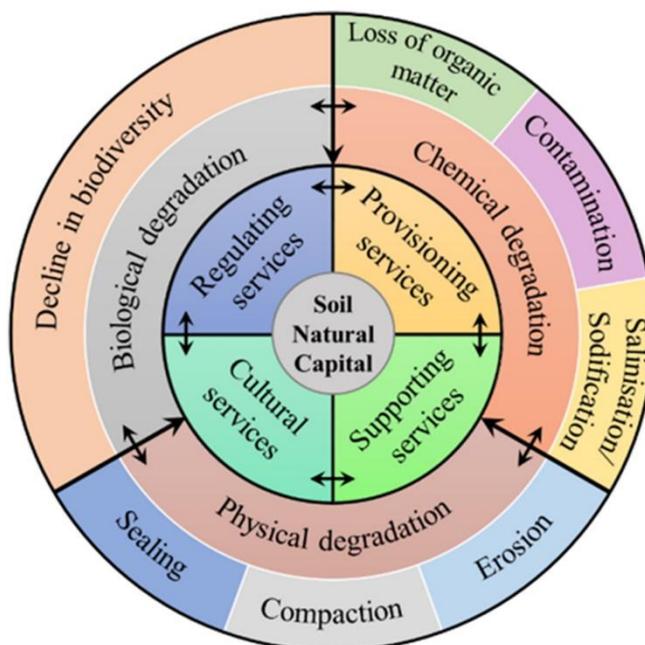


Figura 3: Principales amenazas del suelo y posibles impactos en los servicios de los ecosistemas (de apoyo, regulación, aprovisionamiento, culturales) proporcionados por el capital natural del suelo.

Fuente: Robinson David A., 2017

Como se muestra en la Figura N°8 los cambios en la propiedad del suelo son impulsados por la degradación que aumentan la susceptibilidad del suelo a otros procesos de degradación y obstaculizan los servicios del ecosistema del suelo.

Entre las formas dominante de degradación del suelo están la erosión y la salinidad, donde los factores causales del primer tipo incluyen prácticas agrícolas inadecuadas, deforestación y pastoreo excesivo (Utuk I. y Daniel E., 2016, p.4). Estas prácticas degradan el 38% de las tierras agrícolas del mundo, el 21% los pastos permanentes y el 18% los bosques y arboledas (Rani Nisha et al., 2019, p.3).

Del total de tierras de cultivo, pastizales y bosques degradados, se encuentran categorizados como suelos levemente (9%), moderadamente (10%) y fuertemente

(4%) degradados. Los suelos ligeros y moderadamente degradados son adecuados para la agricultura local con funciones agrícolas reducidas (Amsellem L et al., 2017, p.14). Es posible una gran disminución en la productividad de dichos suelos y su restauración con cambios en las prácticas de manejo de la finca, mientras que los suelos severamente degradados prácticamente pierden su productividad y su funcionalidad biótica original (Alsanius B. et al., 2019, p.8).

Debido a ello, utilizar tecnologías que sean amigable con el medio ambiente son esenciales y una solución para conseguir la restauración sostenible de suelos degradados (Ruiz Itxaso et al., 2020, p.3). En base a ello, es correcto señalar que la productividad de cultivos agrícolas en el suelo depende en gran medida de la disponibilidad de nutrientes y de la buena estructura del suelo para sustentar el crecimiento de las plantas. Ante ello, se muestra la figura N°4.

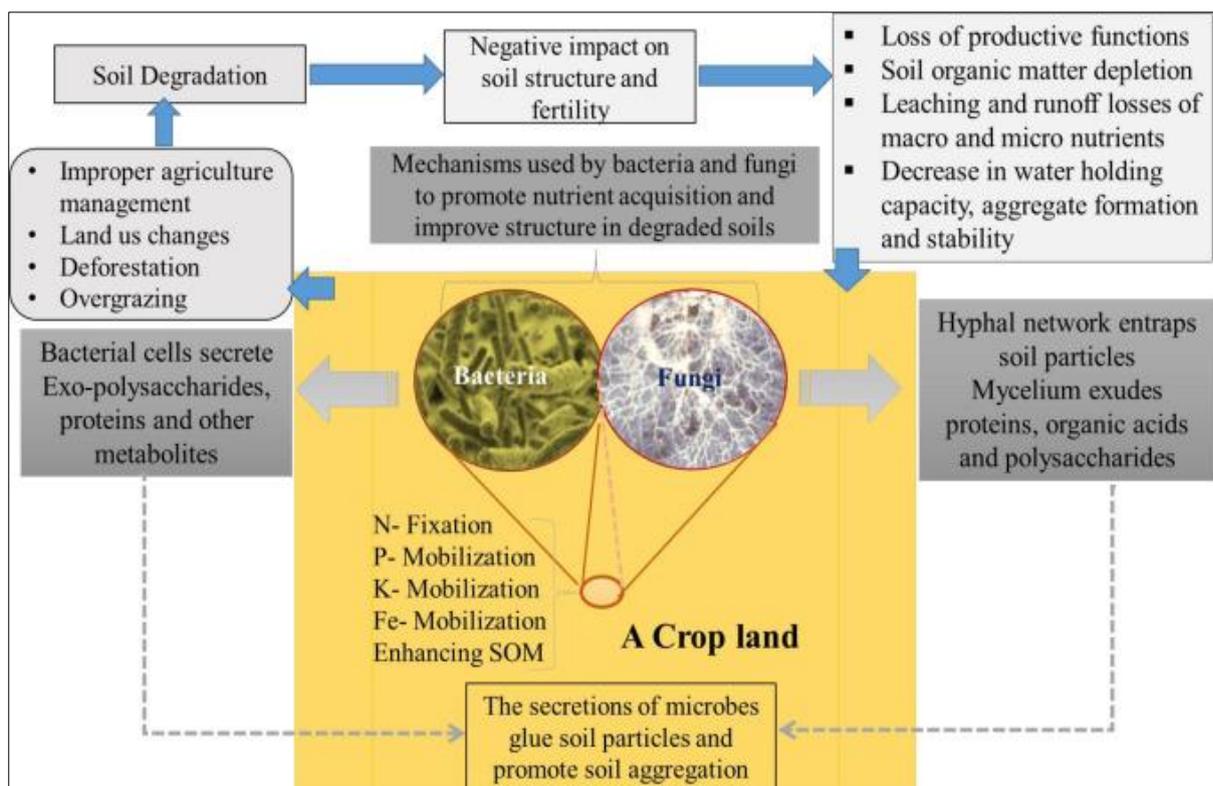


Figura 4: Mecanismos usados por bacterias y hongos para recuperar suelos degradados

Fuente: Siedler Solvej B., 2019

De acuerdo con la Figura N°4, los mecanismos utilizados por bacterias y hongos para mejorar la materia orgánica del suelo (MOS), la disponibilidad y agregación de

nutrientes se centra en las secreciones de los microbios pegan las partículas del suelo y favorecen su agregación.

De acuerdo a ello los microorganismos como hongos, bacterias presentan un poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados; donde el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K) y el hierro (Fe) son nutrientes clave que juegan un papel importante en la producción de cultivos en suelos degradados (Jabbari Vahid et al., 2017, p.2).

Los inóculos bacterianos y fúngicos y las enmiendas orgánicas podrían considerarse como una opción potencial para incorporar en la estrategia de manejo integrado de nutrientes de los cultivos de suelos degradados (Leyva Salas M. et al., 2017, p.2). La introducción de estos inóculos puede explotar, trasladar, mineralizar y movilizar las reservas de P, K, Fe del suelo, aumentar la materia orgánica o fijar N de la atmósfera (Russo Pasquale et al., 2017, p.1).

Los hongos micorrízicos arbusculares (MA) y las bacterias biológicas fijadoras de N contribuyen anualmente entre el 5 y el 20% de la demanda total de N de los pastizales y la sabana. La contribución de los hongos MA a los bosques templados y boreales es del 80%, mientras que el P total adquirido por las plantas a través de bacterias y hongos fue del 75% (Singh Jay S., 2016, p.3). Los mecanismos básicos a través de los cuales las bacterias y los hongos promueven la biodisponibilidad de nutrientes incluyen la fijación de N, la movilización de P, K y Fe a través de la producción de ácidos orgánicos y sideróforos (como se observa en la figura N°4). Además de esto, también se producen organopolisacáridos y proteínas (gelmalina, mucílagos e hidrofobinas) que ayudan a promover la estabilidad de los agregados del suelo (Recous S., 2019, p.1).

En conjunto con las bacterias y hongos AM; estos procesos son llevados a cabo por bacterias y hongos AM, más tarde, donde un grupo de microbios forma una asociación simbiótica con raíces de leguminosas infectadas por bacterias fijadoras de N que aumentan el P, los micro y otros macronutrientes para la absorción de las plantas y mitigan el efecto del estrés hídrico y salino (Deng Lei et al., 2019, p.1). También se sabe que las bacterias y los hongos mejoran la estructura del suelo al promover la formación de agregados y poros del suelo en su interior, además, las bacterias liberan exopolisacáridos que forman complejos organominerales que ayudan a unir las partículas del suelo en agregados (Kennedy M. et al., 2020, p.4).

Así también, los exudados de bacterias, hongos, células descompuestas, así como los residuos vegetales y animales, especialmente en suelos manejados por insumos orgánicos, también son responsables de impulsar la materia orgánica del suelo, lo que a su vez mejora la estructura, función y calidad del suelo (Kachroo N. et al., 2021, p.2).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de estudio empleado será la investigación aplicada; de acuerdo con Veland, Siri, et al., (2018, p.14), este tipo de investigación consiste en adsorber la mayor información posible para aplicarlo a una problemática y generar una solución. Debido a ello en el presente estudio se empleará la investigación aplicada, ya que se busca recaudar información, aplicando conocimientos adquiridos mediante la búsqueda de la biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados.

La presente investigación es cualitativa, siendo señalado esta investigación por Ceroni Galloso M., (2010, p.4), como una investigación para comprender la realidad de los aspectos de la vida de un grupo de personas, empleando un proceso de investigación en donde el investigador deberá analizar e interpretar datos. En ese sentido, este estudio cumple con las características para ser desarrollada mediante un enfoque cualitativo ya que se analizó, interpretó y comparó los resultados de artículos científicos e investigaciones publicadas por otros autores sobre la biodisponibilidad de nutrientes producidos por microorganismo, específicamente, bacterias y hongos, y la recuperación del suelo degradado.

Respecto al diseño de investigación, para Hernández, Fernández y Baptista (2014, p. 473), vendría a ser un diseño sistemático, el cual se basa en el procedimiento de Corbin y Strauss. Por ello, la presente investigación mantiene este diseño ya que realizó una revisión sistemática de artículos científicos, es decir, se recolectó, seleccionó y evaluó minuciosamente investigaciones científicas relacionadas a la temática sobre la aplicación de bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En el instrumento de la matriz de categorización se emplearán 3 categorías y sub categorías que ayudarán a describir las características de cómo se van a desarrollar los resultados.

Tabla 2: Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados?	Identificar cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados.	Bacterias y hongos con mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados (Russo Pasquale et al., 2017, p.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Hongos micorrízicos arbusculares • Bacterias biológicas fijadoras <p>(Singh Jay S., 2016, p.3).</p>	De acuerdo al tipo de hongo y bacteria empleada	De acuerdo a la eficiencia presentada
¿Cuáles son las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados?	Definir las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados.	Diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes (Deng Lei et al., 2019, p.1).	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno (N) • Fósforo (P) • Potasio (K) • Hierro (Fe) • Formación de agregados <p>(Kennedy M. et al., 2020, p.4).</p>	De acuerdo a la fijación de nutrientes	De acuerdo al incremento de disponibilidad de nutrientes
¿De qué manera la coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica y recuperación de suelos degradados?	Determinar de qué manera la coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica y recuperación de suelos degradados.	Aplicación de coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico (Goswami D. et al., 2016, p.3).	<ul style="list-style-type: none"> • Inoculante único • Co-inoculante • co-inoculante + fertilizante orgánico <p>(Maab S. et al., 2016, p.6).</p>	De acuerdo a los efectos positivos	De acuerdo a ningún tipo de efecto

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio es considerado como el lugar en el cual se lleva a cabo los estudios experimentales y al ser este una revisión sistemática, se considerará como escenario a los laboratorios donde se realizó la aplicación de bacterias y hongos para determinar cuál es su biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados; siendo estos escenarios detallados en los artículos científicos extraídos a nivel mundial, en diversos idiomas.

3.4. Participantes

Los participantes involucrados en el presente estudio, son considerados como fuentes de información, ya que permiten bridar diversas literaturas para el análisis y solución del estudio; estos escenarios son los diversos portales web que brindan acceso a nivel de Latinoamérica y diversas partes del mundo, pudiendo encontrar revistas científicas y artículos científicos. Los participantes usados son: scielo, scopus y sciencedirect.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El tipo de técnica usada en este estudio será el análisis documental, y el instrumento de recolección la ficha de análisis.

De acuerdo con Hernández et al., (2014, p. 415), una técnica de análisis documental es usada para que el investigador analice y evalúe un tema en específico y en mucho de los casos se disecciona la información para la transcripción hacia otro documento. Esto es de acuerdo a la ficha de análisis de contenido, la cual es usada para detallar la información y que los lectores puedan tener un fácil acceso y rápido entendimiento de lo que plasma el documento original.

Así también, Debido a ello, se usó la ficha propuesta en el Anexo N°1, donde se detallan datos del estudio, título, nombre de autor, objetivo, conclusiones, resultados y metodología.

3.6. Procedimientos

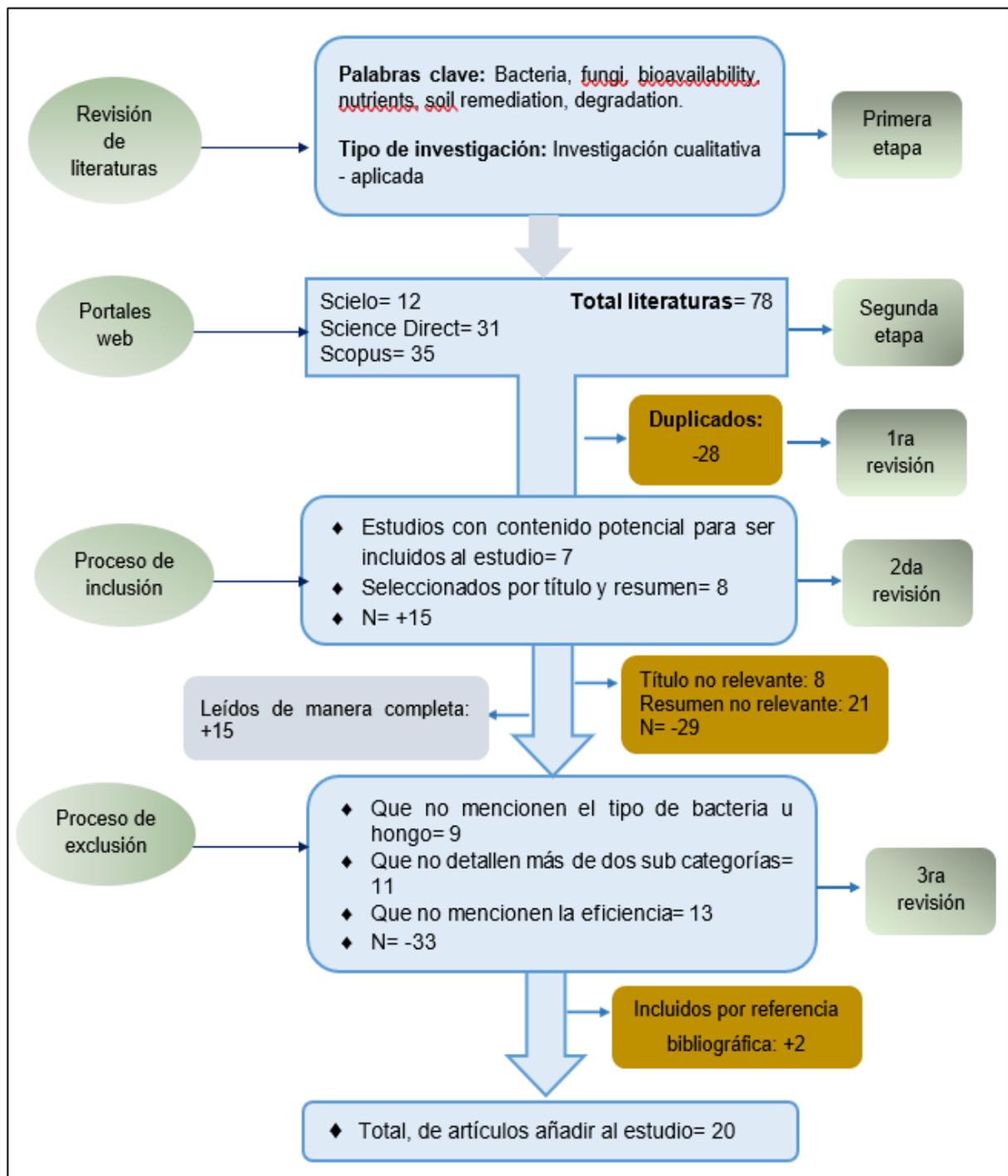


Figura 5: Procedimiento de selección de artículos.

Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

La aplicación estricta del método científico para garantizar un diseño experimental, una metodología, un análisis, una interpretación y un informe de resultados sólidos e imparciales dependen de la aplicación de criterios; siendo aplicados en el presente

estudio: la dependencia, confirmabilidad, transferencia y credibilidad; de acuerdo con (Guba y Lincoln, 1989, pp. 241-243); se describe lo siguiente:

De acuerdo con Guba y Lincoln (1989, p.241) la dependencia hace referencia a la consistencia de los datos, y esto se encuentra recaudando la mayor información posible que permitan aseverar que la información proporcionada es verídica. Este criterio se consigue siguiendo los procedimientos empleados por los autores, para hacer que la investigación se vuelva menos inestable.

En el criterio de credibilidad el autor debe encaminarse a conseguir la credibilidad del estudio, para ello recoger la mayor cantidad de datos posibles, para que los resultados sean los más creíbles, esto se cumple brindando todos los datos de las técnicas no convencionales usadas para remediar los contaminantes orgánicos persistentes.

La transferibilidad hace referencia al grado en el que se puedan transferir los datos a otros contextos. Esto se logra dejando detallado las metodologías usadas para que otros investigadores puedan continuar con el estudio aplicándolo a otros campos.

El criterio de confirmabilidad permite al investigador asegurar la objetividad de la información proporcionada a los lectores. Este criterio se consigue detallando los procedimientos, metodologías y técnicas para que otros investigadores lo usen y sigan ampliando el estudio.

3.8. Método de análisis de información

El presente estudio empleó diversas técnicas y métodos como es el caso de la matriz apriorística; de la cual se generaron 3 sub categorías:

1. Bacterias y hongos con mayor poder de restablecer la fertilidad de las degradados
2. Diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes
3. Aplicación de coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico

Y de estas se desplegaron las siguientes sub categorías; que permiten que los resultados generados sean más concisos y ordenados.

Sub categorías:

- Hongos micorrízicos arbusculares
- Bacterias biológicas fijadoras

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Hierro (Fe)
- Formación de agregados

- Inoculante único
- Co-inoculante
- co-inoculante + fertilizante orgánico

3.9. Aspectos éticos

La presente revisión sistemática cumple con 3 aspectos éticos; aplicación de la normativa vigente establecida por la universidad Cesar Vallejo según resolución rectoral N° 0089-2019, así también el debido cuidado de acuerdo a la Norma ISO 690 y 690-2 y por último con la verificación de la autenticidad de la información pasando el estudio realizado por el programa anti plagio (turnitin).

IV. RESULTADOS

La coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo y el contenido de materia orgánica que el inóculo único y tales factores son de gran importancia cuando se consideran los inóculos de bacterias y hongos adecuados para la restauración de suelos degradados (Rashid Muhammad I. et al., 2016, p.1). Por tal motivo se buscó identificar cuáles son las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad y recuperación de suelos degradados, mostrando los resultados en el gráfico N°2.

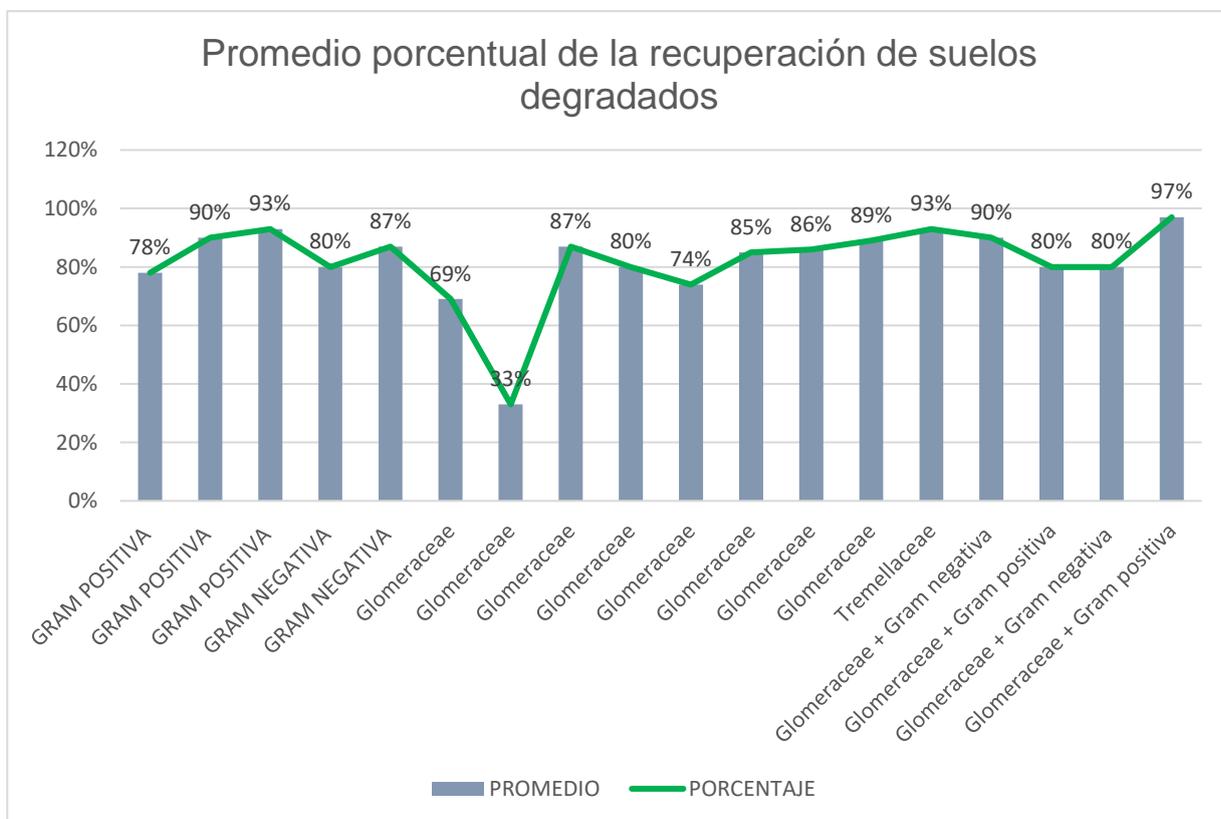


Figura 6: Bacterias y hongos con mayor poder de restablecer la fertilidad de suelos degradados.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el gráfico N°2 respecto al Anexo 2 se tiene que la aplicación de microorganismos a base de hongos son los más empleados; siendo usados en un 64% de investigadores, donde Glomeraceae fue la familia de hongos más empleadas presentando un promedio de recuperación de suelos degradados de 80 a 85%. Siendo corroborado por Cui Hang y col., (2016), Xu y col., (2016), Li Jiao et al., 2020,

Zhang Zhong feng et al., 2019, Da Pengkun et al., 2021, Amir Hamid et al., 2019, Irankhah Simin et al., 2020 y Hu Dandan et al., 2019.

Ello es debido a que hongos utilizan sus hifas extrarradicales (micelio) para estabilizar los agregados del suelo, así como también pueden modificar las estructuras morfológicas y bioquímicas de las plantas hospedantes incluidas sus raíces y rizosfera (Buil Paula A. et al., 2021, p.3).

Así también Li Yunliang et al., (2021, p.1), afirma que los hongos micorrizicos pueden alterar los microbios del suelo en su entorno circundante, así como la rizosfera de la planta huésped que probablemente estén involucrados en la agregación del suelo generando la mejora en los suelos degradados.

Por otro lado, Fernandes Milton Marques et al., (2021, p.3), respaldando a los autores anteriores indica que realizó un modelo de estudio en el que pudo confirmar mediante sus resultados que los hongos AM, la materia orgánica y las raíces de las plantas son contribuyentes clave para la formación de agregados en el suelo, además observó que este grupo de hongos juega un papel importante en la estabilización de los agregados del suelo.

Así también entre las bacterias que presentan mayor porcentaje de nutrientes y recuperación de suelos degradados se encuentran las Gram positivas, presentando porcentajes de 78%, 90% y 93%. Ello es respaldado por Song Xiuchao et al., (2016), Ortiz N. et al., 2016 y Armada E. et al., 2016.

De acuerdo con Yadav Rasheshyam et al., 2020, realizando una comparación de bacterias del suelo nativo en combinación con hongos micorrizicos arbusculares, obtuvo una mejora significativa en los parámetros relacionados con la salud del suelo, incluida la materia orgánica del suelo y la actividad deshidrogenasa y las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) combinada con hongos AM mostró el mejor efecto sobre el rendimiento de grano de trigo.

Yan L. et al., (2012) afirma que la razón para que los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) presenten una mayor efectividad en la recuperación de suelos degradados es mediante la aplicación de la combinación de hongos micorrizicos, afirmando que las comunidades de HMA aumentaron el crecimiento de las plantas, el contenido de azúcar soluble, el contenido de clorofila y la actividad de las raíces en comparación con los tratamientos no micorrizicos o de una sola especie de HMA.

La importancia de las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados se detallan en la tabla N°3.

Tabla 3: Diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados.

No.	Nutriente / estructura	Bacterias	Hongos
1	Nitrógeno (N)	Los diazótrofos fijan N ₂ como amoníaco a través de su proceso metabólico. Las bacterias de la familia Rhizobiaceae que viven en el suelo infectan la raíz de la planta para formar nódulos y fijar N en esta estructura a través del complejo sistema de enzimas.	Los hongos no fijan N, pero proporcionan nutrientes que limitan el crecimiento (es decir, carbono y P) a las bacterias para la fijación de N. Además, en el micelio, los hongos brindan refugio al sistema enzimático bacteriano del O ₂ para fijar N.
2	Fósforo (P)	La solubilización o disponibilidad de P se ve reforzada por la mineralización de P, así como por la producción de sideróforos y ácidos orgánicos en el suelo.	Incrementar la biodisponibilidad de P a través de la mineralización en el suelo, el transporte de micelios, la solubilización de P por los sideróforos, la asimilación de N y la liberación de CO ₂ .
3	Potasio (K)	Las bacterias liberan varios tipos de ácidos orgánicos para solubilizar el K en el suelo a través de varios procesos como acidólisis, quelación, complexólisis y reacciones de intercambio.	Influir en la movilización de K a través del transporte micelial, así como por el proceso de solubilización de K que implica la liberación de H ⁺ , CO ₂ y ácidos orgánicos como citrato, malato y oxalato.
4	Hierro (Fe)	Producción de sideróforos que tienen afinidad para quelar y solubilizar el hierro a partir de compuestos minerales u orgánicos.	Translocar Fe del horizonte del suelo mineral al orgánico para su descomposición y mineralización, y liberar quelante (sideróforos) para la translocación de Fe en el suelo.
5	Formación de agregados	Produce polímeros de limo periférico y descompone el material orgánico para formar productos organominerales que se asocian con las partículas del suelo para formar agregados.	La red hifal atrapa las partículas del suelo y las une. Producción de mucílagos, polisacáridos y compuestos extracelulares, así como proteínas del suelo como glomalina e hidrofobinas.
	Autores	Song Xiuchao et al., (2016), Goswami D., (2016), Ortiz N. et al., 2016, Nicholas O. et al., 2021, Armada E. et al., 2016, Azizi Soghra et al., 2021, Yadav Rasheshyam et al., 2020.	Cui Hang y col., (2016), Xu y col., (2016), Li Jiao et al., 2020, Rodríguez Berbel N. et al., 2020, Zhang Zhong feng et al., 2019, Da Pengkun et al., 2021, Amir Hamid et al., 2019, Irankhah Simin et al., 2020, Hu Dandan et al., 2019.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo la tabla N° 3 para definir las diferencias entre bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados, se tiene que tanto los hongos como los inóculos bacterianos aumentan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo a través de la descomposición de materia orgánica, la fijación de N, la movilización de P, K y Fe.

De manera similar, las bacterias también exudan compuestos de carbono que aumentan el crecimiento de las hifas de los hongos AM y su colonización de raíces (Zhu Xiaoli et al., 2019, p.2). Así también Yadav Rasheshyam et al., (2020) respalda lo dicho por Zhu Xiaoli et al., (2019), adicionando que, durante la interacción entre los rizobios, los hongos MA y las leguminosas, los hongos MA mejoran el crecimiento y el rendimiento de las leguminosas al proporcionar agua y nutrientes, especialmente P, que aumenta la fijación de *Rhizobium N 2* al influir en las vías de producción de energía.

Las bacterias mejoran la disponibilidad de P para la absorción de hongos AM y de la planta a través de la producción de enzima fosfatasa y ácido orgánico en el suelo, por tanto, su coinoculación tiende a incrementar la disponibilidad de P y N en el suelo (Owen et al., 2016, p.3).

Por otro lado, se buscó determinar de qué manera la coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo, el contenido de materia orgánica y recuperación de suelos degradados, mostrando los resultados de acuerdo a los efectos positivos presentados, en la tabla N° 4.

Tabla 4: Comparación entre la aplicación de coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico.

N°	Microorganismos	N	P	K	OM	AF / GP	AS	Referencia
Inoculante único								
1	I. <i>Bacillus megaterium</i> , ii. <i>Bacillus thuringiensis</i> iii. <i>Ps Putida</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(Ortiz et al., 2016)
2	I. <i>Bacillus megaterium</i> ii. <i>Hongos de la mañana</i>	✓	✓	✓	-	-	-	(Armada et al., 2014)

3	I. <i>Bacillus megaterium</i> , ii. <i>Bacillus thuringiensis</i> iii. <i>Enterobacter s</i>	✓	✓	✓	✓	✓	-	(Mengual et al., 2015)
4	I. <i>Rhizophagus irregularis</i> ii. Microbios naturales del suelo	-	-	-	-	✓	✓	(Leifheit et al., 2015)
5	I. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	✓	✓	-	-	-	-	(Goswami D., 2016)
Co-inoculante								
1	<i>Bacillus mucilaginosus</i> + hongos AM + Vermicompost	+11	+18	+24	-	-	-	(Song Xiuchao et al., 2016)
2	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Pantoea dispersa</i> + orujo de aceituna ecológico	+13	-29	+67	+8	-	-	(Mengual et al., 2015)
3	ii. <i>Ps Putida</i> + AM Hongos (<i>Rhizophagus intraradices</i>)	-	+35	+285	-	-	-	(Ortiz et al., 2016)
4	<i>Bacillus megaterium</i> + hongos AM	+7	-42	+16	-	-	-	(Armada et al., 2014)
5	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Pantoea dispersa</i>	+8	+133	+84	+1	-	-	(Mengual et al., 2015)
6	<i>Rhizophagus irregularis</i> + comunidad microbiana natural	+21	+29	+12	-	-	+1	(Leifheit y col., 2016)
Fertilizante simple / co-inoculante + orgánico								
1	<i>Bacillus megaterium</i> + hongos AM + compost	+1	-3	+2	-	-	-	(Armada et al., 2014)
2	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Pantoea dispersa</i> + orujo de aceituna ecológico	+13	-29	+67	+8	-	-	(Mengual et al., 2015)
3	I. <i>Bacillus megaterium</i> + residuo de remolacha azucarera	+13	+25	+14	-6	-14	-	(Mengual et al., 2015)

4	ii. <i>Bacillus thuringiensis</i> + residuo de remolacha azucarera	+18	+44	-21	0	+42	-	(Mengual et al., 2015)
5	iii. <i>Enterobacter</i> + residuo de remolacha azucarera	+19	+24	-3	-6	+61	-	(Mengual et al., 2015)

N = nitrógeno, P = fósforo, K = potasio, OM = materia orgánica, AF = formación de agregados, GP = proteína glomalina, AS = estabilidad de agregados. -N / A

✓ Efecto positivo del inoculante.

De acuerdo al análisis comparativo de microorganismos (bacterias y hongos) para determinar de qué manera la coinoculación con o sin fertilizantes orgánicos es más beneficioso para restablecer la fertilidad del suelo, se tiene que; el inóculo microbiano solitario podría no ser muy efectivo para influir en la biodisponibilidad de varios nutrientes; por lo tanto, la coinoculación de microbios podría resultar más beneficiosa en la recuperación de suelos degradados.

Ello es debido a que la coinoculación incrementa la disponibilidad de P y N en el suelo y el inóculo microbiano solitario podría no ser muy eficaz para influir en la biodisponibilidad de varios nutrientes.

Por lo tanto, de acuerdo con Sadeghi Seyed H. et al., (2020, p.2), la co-inoculación de microbios podría ser más beneficiosa para la recuperación del suelo degradado, sin embargo, algunas cepas bacterianas y hongos pueden poseer más de un mecanismo que les permite resistir en condiciones de escasez de agua o de nutrientes, concluyendo que sería un opcional potencial para restablecer las funciones perdidas de los suelos degradados.

Esto es corroborado por Mengual Carmen et al., (2015, p.1), quien realizó un ensayo de campo para determinar los efectos combinados de la inoculación con rizobacterias nativas (*Bacillus megaterium* *Enterobactersp*) y la adición de residuos de remolacha azucarera compostada (SB) sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y sp + SB fue el tratamiento más efectivo para aumentar la biomasa de raíces secas y afirma que la adición de enmienda orgánica a las bacterias aumentó significativamente el contenido de fósforo disponible en el suelo de la rizosfera en un 29% con respecto al control. sp combinado con residuos de remolacha azucarera mejoró el contenido de

N total en el suelo (en un 46% con respecto al control) así como las propiedades microbiológicas y bioquímicas.

Del mismo modo, la co-inoculación de *B. thuringiensis* o *Ps. putida* con hongos AM aumenta el P en un 44 y 35% en *Trifolium repens*, respectivamente, mientras que el contenido de K se incrementó en un 128 y 285%, que su inoculación en solitario (Ortiz et al. 2016). Por lo tanto, las interacciones entre los microbios del suelo en la rizosfera afectan positivamente a la fertilidad del suelo y proporcionan servicios ecosistémicos muy valiosos. Respalda los resultados presentados Song Xiuchao et al., (2016), afirma que en presencia de vermicompost, PGPR significativamente ($P < 0,05$) redujo el carbono y el nitrógeno del suelo, pero aumentó el carbono y el nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo; la rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR) también aumentó significativamente el rendimiento de tomate y espinaca con la dosis baja de vermicompost, pero solo aumentó significativamente el rendimiento de tomate con la dosis alta de vermicompost.

Además, el uso de estos inóculos puede aprovecharse para aumentar el rendimiento, reducir los insumos químicos y desarrollar una forma eficiente de gestión sostenible de los fertilizantes en los agros ecosistemas agrícolas (Zhang Zhongfeng et al., 2019). Pero también Huang Liping et al., (2021, p.3), señala que, algunas cepas de bacterias u hongos pueden poseer más de un mecanismo y pueden resistir en condiciones de limitación de agua o agotamiento de nutrientes, por lo que podría ser una opción potencial para restablecer las funciones perdidas de suelos degradados.

De igual manera, Mengual Carmen et al., (2015, p.5), en su estudio evaluó la influencia de la inoculación con una mezcla de dos cepas inmovilizadas de rizobacterias (*Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa*) y la adición de residuo orgánico de aceituna (alperujo) sobre el crecimiento de *Pinus halepensis*. Molino y parámetros de estrés de las plantas, así como sobre las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, donde 28 meses después la inoculación microbiana fue el tratamiento más efectivo en cuanto a estimulación del crecimiento de las plántulas (en un 48% con respecto al control) y absorción de nutrientes.

Así también Prakamhang Janpen et al., (2016, p.1), adiciona mostrando que en su estudio el efecto de la coinoculación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y *Bradyrhizobium* aumentan el rendimiento de semilla de soja hasta en un 44% por hectárea que su forma inoculante aislada (única). Además, el efecto del experimento de coinoculación en condiciones de campo podría aumentar entre un

9,7% y un 43,6% el rendimiento de semillas por hectárea, que fue más alto que el de la uninoculación o la inoculación única de PGPR.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión sistemática realizada se puede concluir que:

1. Las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad y recuperación de suelos degradados son los hongos siendo usados en un 64% de investigadores, donde Glomeraceae fue la familia de hongos más empleadas presentando un promedio de recuperación de suelos degradados de 80 a 85%. Ello es debido a que hongos utilizan sus hifas extrarradicales (micelio) para estabilizar los agregados del suelo, así como también pueden modificar las estructuras morfológicas y bioquímicas de las plantas hospedantes incluidas sus raíces y rizosfera.
2. Las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados se tienen que tanto los hongos como los inóculos bacterianos aumentan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo a través de la descomposición de materia orgánica, la fijación de N, la movilización de P, K y Fe.
3. De acuerdo al análisis comparativo de microorganismos (bacterias y hongos) para determinar de qué manera la coinoculación con o sin fertilizantes orgánicos es más beneficioso para restablecer la fertilidad del suelo, se tiene que; el inóculo microbiano solitario podría no ser muy efectivo para influir en la biodisponibilidad de varios nutrientes; por lo tanto, la coinoculación de microbios podría resultar más beneficiosa en la recuperación de suelos degradados. Ello es debido a que la coinoculación incrementa la disponibilidad de P y N en el suelo y el inóculo microbiano solitario podría no ser muy eficaz para influir en la biodisponibilidad de varios nutrientes.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la revisión exhaustiva realizada a nivel internacional y nacional se puede recomendar lo siguiente:

1. Se recomienda realizar estudios a escala de campo ya que, la mayoría de los estudios experimentales se llevan a cabo en el laboratorio o en las macetas en condiciones controladas, por lo que el rendimiento o la adaptabilidad de estos microorganismos en condiciones de campo puede diferir significativamente.
2. Se recomienda realizar estudios prácticos para abordar la biodiversidad de hongos transmitidos por el suelo, especialmente la de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), esenciales para el desarrollo de las plantas.
3. Se recomienda estudiar el estado de las micorrizas arbusculares (AM) y su papel en la absorción de P a través del ensayo de las actividades que ocurren en las raíces de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA, Eduardo, et al. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agricultural Systems*, 2020, vol. 181, p. 102809. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102809>
2. AMSELLEM, Laurent, et al. Importance of microorganisms to macroorganisms invasions: is the essential invisible to the eye?(The Little Prince, A. de Saint-Exupéry, 1943). *Advances in Ecological Research*, 2017, vol. 57, p. 99-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.005>
3. AMIR, Hamid, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and sewage sludge enhance growth and adaptation of *Metrosideros laurifolia* on ultramafic soil in New Caledonia: A field experiment. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 651, p. 334-343. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.153>
4. ANTONIADIS, Vasileios, et al. A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment?-A review. *Environment international*, 2019, vol. 127, p. 819-847. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.039>
5. ARMADA, E., et al. Native plant growth promoting bacteria *Bacillus thuringiensis* and mixed or individual mycorrhizal species improved drought tolerance and oxidative metabolism in *Lavandula dentata* plants. *Journal of plant physiology*, 2016, vol. 192, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.11.007>
6. A. Riccaboni , J. Sachs , S. Cresti , M. Gigliotti , RM Pulselli Desarrollo sostenible en el Mediterráneo. Informe 2020. Transformaciones para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Siena, Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible Mediterráneo (SDSN Mediterráneo) (2020) (consultado el 12 de octubre de 2020). Disponible en: <https://www.sdsn->

[mediterranean.unisi.it/wp-content/uploads/sites/30/2020/11/MED_SDG2020-def_compressed.pdf](https://www.mediterranean.unisi.it/wp-content/uploads/sites/30/2020/11/MED_SDG2020-def_compressed.pdf)

7. ALSANIUS, Beatrix W.; WOHANKA, Walter. Root zone microbiology of soilless cropping systems. En *Soilless Culture*. Elsevier, 2019. p. 149-194. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00005-0>
8. AZIZI, Soghra, et al. Dual inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria boost drought resistance and essential oil yield of common myrtle. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 497, p. 119478. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119478>
9. BANDARA, Tharanga, et al. Chemical and biological immobilization mechanisms of potentially toxic elements in biochar-amended soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2020, vol. 50, no 9, p. 903-978. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1642832>
10. BECH, Jaume; BINI, Claudio; PASHKEVICH, Mariya A. (ed.). *Assessment, restoration and reclamation of mining influenced soils*. Academic Press, 2017. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=VImfDAAAQBAJ&lpg=PP1&ots=MtjQjwMoJR&dq=Assessment%2C%20Restoration%20and%20Reclamation%20of%20Mining%20Influenced%20Soils&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Assesment,%20Restoration%20and%20Reclamation%20of%20Mining%20Influenced%20Soils&f=false>
11. BOLAN, Nanthi S.; KIRKHAM, Mary Beth; OK, Yong-Sik (ed.). *Spoil to soil: mine site rehabilitation and revegetation*. CRC Press, 2017. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=JEKgDwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=396DIUIdCS&dq=Spoil%20to%20Soil%3A%20Mine%20Site%20Rehabilitation%20and%20Revegetation&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Spoil%20to%20Soil:%20Mine%20Site%20Rehabilitation%20and%20Revegetation&f=false>
12. BORRELLI, Pasquale, et al. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, vol. 117, no 36, p. 21994-22001. Disponible en:

13. CÁNOVAS, Carlos Ruiz, et al. Assessing the quality of potentially reclaimed mine soils: Environmental implications for the construction of a nearby water reservoir. *Chemosphere*, 2019, vol. 216, p. 19-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.018>
14. CHEN, Hanbo, et al. Effect of biochars on the bioavailability of cadmium and di-(2-ethylhexyl) phthalate to *Brassica chinensis* L. in contaminated soils. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 678, p. 43-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.417>
15. CUI, Hang y col. Los efectos combinados de cultivos de cobertura y microbios simbióticos en la hidrólisis del gen de la fosfatasa y del fósforo orgánico en suelos de huertas subtropicales. *Biología y bioquímica del suelo*, 2015, vol. 82, pág. 119-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.003>
16. DELGADO, Jorge A., et al. Potential use of cover crops for soil and water conservation, nutrient management, and climate change adaptation across the tropics. *Adv. Agron*, 2021, vol. 165, p. 175-247. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=wwAAEAAAQBAJ&lpg=PA175&ots=TTIPy6KrJV&dq=Chapter%20Five%20-%20Potential%20use%20of%20cover%20crops%20for%20soil%20and%20water%20conservation%2C%20nutrient%20management%2C%20and%20climate%20change%20adaptation%20across%20the%20tropics&lr&hl=es&pg=PA175#v=onepage&q=Chapter%20Five%20-%20Potential%20use%20of%20cover%20crops%20for%20soil%20and%20water%20conservation,%20nutrient%20management,%20and%20climate%20change%20adaptation%20across%20the%20tropics&f=false>
17. DENG, Lei, et al. Drivers of soil microbial metabolic limitation changes along a vegetation restoration gradient on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 2019, vol. 353, p. 188-200. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.037>
18. DOBLAS-MIRANDA, Enrique, et al. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change*, 2017, vol. 148, p. 42-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.012>

19. EGIDI, Gianluca, et al. Unraveling Latent Aspects of Urban Expansion: Desertification Risk Reveals More. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no 11, p. 4001. Disponible en:
20. FAO, Food, et al. World fertilizer trends and outlook to 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Reporte, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114001>
21. FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C., et al. Soil quality changes in an Iberian pyrite mine site 15 years after land reclamation. *CATENA*, 2021, vol. 206, p. 105538. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105538>
22. GELDER, Brian, et al. The Daily Erosion Project—daily estimates of water runoff, soil detachment, and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2018, vol. 43, no 5, p. 1105-1117. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/esp.4286>
23. GHANBARZADEH, Zohreh, et al. Rhizosphere Symbionts Improve Water Stress Tolerance in Moldavian balm through Modulation of Osmolytes. *Rhizosphere*, 2021, p. 100367. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100367>
24. GHORCHIANI, Mehdi; ETESAMI, Hassan; ALIKHANI, Hossein Ali. Improvement of growth and yield of maize under water stress by co-inoculating an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant growth promoting rhizobacterium together with phosphate fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, vol. 258, p. 59-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.016>
25. GOSWAMI, Dweipayan y col. Elucidar ureasa multifacética productora de *Pseudomonas aeruginosa* BG marina como un PGPR convincente y un agente de biocontrol. *Regulación del crecimiento vegetal*, 2015, vol. 75, no 1, pág. 253-263. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9949-1>
26. HU, Dandan, et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and achene mucilage have independent functions in seedling growth of a desert shrub. *Journal of plant physiology*, 2019, vol. 232, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.11.010>

27. IRANKHAH, Simin, et al. Impact of an arbuscular mycorrhizal fungal inoculum and exogenous MeJA on fenugreek secondary metabolite production under water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, vol. 176, p. 104096. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104096>
28. JABBARI, Vahid, et al. Lactobacillus plantarum as a probiotic potential from kouzeh cheese (traditional Iranian cheese) and its antimicrobial activity. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 2017, vol. 9, no 2, p. 189-193. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9255-0>
29. KACHROO, Naveen, et al. Meta-analysis of Clinical Microbiome Studies in Urolithiasis Reveal Age, Stone Composition, and Study Location as the Predominant Factors in Urolithiasis-Associated Microbiome Composition. *Mbio*, 2021, vol. 12, no 4, p. e02007-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/mBio.02007-21>
30. KENNEDY, Megan S.; CHANG, Eugene B. The microbiome: composition and locations. *Progress in molecular biology and translational science*, 2020, vol. 176, p. 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2020.08.013>
31. KNOEPP, Jennifer D., et al. Long-term forest soils research: lessons learned from the US experience. En *Developments in Soil Science*. Elsevier, 2019. p. 473-504. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63998-1.00019-7>
32. LEYVA SALAS, Marcia, et al. Antifungal microbial agents for food biopreservation—a review. *Microorganisms*, 2017, vol. 5, no 3, p. 37. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030037>
33. LI, Zichuan, et al. The impact of crop residue biochars on silicon and nutrient cycles in croplands. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 659, p. 673-680. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.381>
34. LI, Jiao, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi increase the bioavailability and wheat (*Triticum aestivum* L.) uptake of selenium in soil. *Industrial Crops and Products*, 2020, vol. 150, p. 112383. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112383>

35. LOMBARDI, Rosa, et al. Emerging trends in entrepreneurial universities within Mediterranean regions: An international comparison. *EuroMed Journal of Business*, 2017. Disponible en: ISSN: 1450-2194
36. MAAß, Stefanie; CARUSO, Tancredi; RILLIG, Matthias C. Functional role of microarthropods in soil aggregation. *Pedobiologia*, 2016, vol. 58, no 2-3, p. 59-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2015.03.001>
37. MA, Pengkun, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and Na⁺ accumulation of *Suaeda glauca* (Bunge) grown in salinized wetland soils. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 166, p. 104065. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104065>
38. MADEJÓN, Paula, et al. Rehabilitation of waste rock piles: Impact of acid drainage on potential toxicity by trace elements in plants and soil. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 280, p. 111848. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111848>
39. N. Bourlion , R. Ferrer Evolución y tendencias de la región mediterránea: aspectos marco FAO y Plan Bleu. 2018. Estado de los bosques mediterráneos 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma y Plan Bleu, Marsella. Capítulo 1 (2018) , pp. 2 – 15
40. ORTIZ, N., et al. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of plant physiology*, 2015, vol. 174, p. 87-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019>
41. NICHOLAS, O. Igiehon, et al. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126640>
42. PANAGOS, Panos, et al. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European Union. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no 9, p. 1365. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs12091365>

43. PANAGOS, Panos, et al. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation & Development*, 2018, vol. 29, no 3, p. 471-484. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>
44. PATSIOS, Sotiris I.; KONTOGIANNOPOULOS, Konstantinos N.; BANIAS, Georgios F. Environmental impact assessment in agri-production: a comparative study of olive oil production in two European countries. En *Bio-Economy and Agri-production*. Academic Press, 2021. p. 83-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819774-5.00005-9>
45. PRĂVĂLIE, Remus; PATRICHE, Cristian; BANDOC, Georgeta. Quantification of land degradation sensitivity areas in Southern and Central Southeastern Europe. New results based on improving DISMED methodology with new climate data. *Catena*, 2017, vol. 158, p. 309-320. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.006>
46. QI, Fangjie, et al. Pyrogenic carbon and its role in contaminant immobilization in soils. *Critical reviews in environmental science and technology*, 2017, vol. 47, no 10, p. 795-876. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1328918>
47. QIN, Peng, et al. Bamboo-and pig-derived biochars reduce leaching losses of dibutyl phthalate, cadmium, and lead from co-contaminated soils. *Chemosphere*, 2018, vol. 198, p. 450-459. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.162>
48. QUAN, Guixiang, et al. Characteristics of organo-mineral complexes in contaminated soils with long-term biochar application. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 384, p. 121265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121265>
49. RANI, Nisha, et al. Microbes: A Key Player in Industrial Wastewater Treatment. En *Microbial wastewater Treatment*. Elsevier, 2019. p. 83-102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816809-7.00005-1>
50. RASHID, Muhammad Imtiaz, et al. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils.

Microbiological research, 2016, vol. 183, p. 26-41. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>

51. RECOUS, Sylvie, et al. C–N–P decoupling processes linked to arable cropping management systems in relation with intensification of production. En Agroecosystem Diversity. Academic Press, 2019. p. 35-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00003-0>
52. ROBINSON, David A., et al. Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. Scientific reports, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06819-3>
53. RODRÍGUEZ-BERBEL, N., et al. Long-term effects of two organic amendments on bacterial communities of calcareous mediterranean soils degraded by mining. Journal of Environmental Management, 2020, vol. 271, p. 110920. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110920>
54. RUIZ, Itxaso; SANZ-SÁNCHEZ, María José. Effects of historical land-use change in the Mediterranean environment. Science of The Total Environment, 2020, vol. 732, p. 139315. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139315>
55. RUSSO, Pasquale, et al. Lactobacillus plantarum with broad antifungal activity as a protective starter culture for bread production. Foods, 2017, vol. 6, no 12, p. 110. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods6120110>
56. SARKAR, Binoy, et al. Monitoring of soil biochemical quality parameters under greenhouse spinach cultivation through animal waste recycling. Chemistry and Ecology, 2016, vol. 32, no 5, p. 407-418. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02757540.2016.1150457>
57. SHUKLA, P. R., et al. IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019.
58. SIEDLER, Solvej; BALTI, Rafik; NEVES, Ana Rute. Bioprotective mechanisms of lactic acid bacteria against fungal spoilage of food. Current opinion in

- biotechnology, 2019, vol. 56, p. 138-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.11.015>
59. SINGH, Jay Shankar. Microbes: the chief ecological engineers in reinstating equilibrium in degraded ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2015, vol. 203, p. 80-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.026>
60. SONG, Xiuchao, et al. La interacción es importante: la sinergia entre el vermicompost y los agentes PGPR mejora la calidad del suelo, la calidad del cultivo y el rendimiento del cultivo en el campo. *Ecología aplicada del suelo*, 2016, vol. 89, pág. 25-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.01.005>
61. STOLTE, Jannes, et al. Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services: deliverable 2.1 RECARE project. European Commission DG Joint Research Centre, 2016.
62. VEERMAN, Cees, et al. Caring for soil is caring for life. EU Soil Health and Food Mission Board: Brussels, Belgium, 2020.
63. UTUK, Ime O.; DANIEL, Ekong E. Land degradation: a threat to food security: a global assessment. *J Environ Earth Sci*, 2016, vol. 5, no 8, p. 13-21. Disponible en: ISSN 2225-0948
64. WEI, Jing, et al. Carbon-coated montmorillonite nanocomposite for the removal of chromium (VI) from aqueous solutions. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 368, p. 541-549. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.080>
65. WORLDMETER. Data based on the latest United Nations population division estimates. Countries in the world by population. 2019. Disponible en: <https://www.worldometers.info/population/>
66. YADAV, Radheshyam, et al. Bacteria from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi augment wheat yield and biofortification. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2020, vol. 150, p. 222-233. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.039>

67. YAN, L. I., et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi communities on soil quality and the growth of cucumber seedlings in a greenhouse soil of continuously planting cucumber. *Pedosphere*, 2012, vol. 22, no 1, p. 79-87. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60193-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60193-8)
68. ZHANG, Zhongfeng, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on inoculated seedling growth and rhizosphere soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 194, p. 104340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104340>
69. ZHAO, Keli, et al. Spatial patterns of potentially hazardous metals in paddy soils in a typical electrical waste dismantling area and their pollution characteristics. *Geoderma*, 2019, vol. 337, p. 453-462. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.004>

ANEXOS

Anexos N°1: Ficha de contenido

		<h1 style="margin: 0;">FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</h1>
DATOS DEL AUTOR: MARCO ROBERTO CARRASCO CHAICO		
PAGINAS UTILIZADAS 54	AÑO DE PUBLICACION 2021-2	LUGAR DE PUBLICACION LIMA-PERU
TIPO DE INVESTIGACION: INFORME DE TESIS – TITULO PROFESIONAL		
CÓDIGO:	7002745765	
PALABRAS CLAVES:	Bacterias, hongos, biodisponibilidad, nutrientes, recuperación del suelo, degradación.	
BACTERIAS Y HONGOS CON MAYOR PODER DE RESTABLECER LA FERTILIDAD DE SUELOS DEGRADADOS:	Las Bacterias y Hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad de los suelos degradados, las cuales fueron: Rizobacterias, Pseudomonas aeruginosa BS8, Pseudomonas natatuS guianensis, Rhizophagus irregularis, Glomus mosseae, Bacillus thuringiensis, Rhizophagus intraradices, Bacillus megaterium , Pseudomonas putida, Funneliformis mosseae, Craurococcus, Phaselicystis, Crossiella, Rhizobium spp , Diversispora tortuosa, Bacillus subtilis , Hongos micorrízicos arbusculares, Pseudomonas fluorescens , Glomus versiforme, Hongo micorrízico arbuscular Claroideoglomus etunicatum y la rizobacteria Micrococcus yunnanensis.	
DIFERENCIAS EN BACTERIAS Y HONGOS:	Las diferencias en bacterias y hongos para la biodisponibilidad de nutrientes y la formación de agregados se tienen que tanto los hongos como los inóculos bacterianos aumentan la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo a través de la descomposición de materia orgánica, la fijación de N, la movilización de P, K y Fe.	
PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS:	80 a 85%	
RESULTADOS:	La coinoculación de bacterias y hongos con o sin fertilizante orgánico es más beneficiosa para restablecer la fertilidad del suelo y el contenido de materia orgánica que el inóculo único y tales factores son de gran importancia cuando se consideran los inóculos de bacterias y hongos adecuados para la restauración de suelos degradados.	
CONCLUSIONES:	Las bacterias y hongos que presentan mayor poder de restablecer la fertilidad y recuperación de suelos degradados son los hongos siendo usados en un 64% de investigadores, donde Glomeraceae fue la familia de hongos más empleadas presentando un promedio de recuperación de suelos degradados de 80 a 85%.	

Elaboración propia

Anexo N°2: Biodisponibilidad de nutrientes y recuperación de suelos degradados

No .	Microorganismo	Tipo de bacteria u hongo	Familia / Gram	Recuperación de suelos degradados (%)	Art.
Bacterias					
1	Bacterias	<i>Bacillus mucilaginosus</i>	Gram positivas	Positivos La disponibilidad de nutrientes del suelo, la biomasa microbiana, el rendimiento y la calidad de los cultivos 78%	Song Xiucha o et al., (2016)
2	Bacteria	<i>P. aeruginosa</i>	Gram negativa	Positivo Recuperación de suelos degradados en un 80%	Goswami D., (2016)
3	Bacterias	<i>Bacillus thuringiensis (Bt)</i> <i>Rhizophagus intraradices (Ri)</i> , <i>Bacillus megaterium (Bm)</i> o <i>Pseudomonas putida (Psp)</i>	Gram positivas -	Alta La inoculación de micorrizas mejoró significativamente el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y el contenido relativo de agua, particularmente cuando se asocia con bacterias específicas, lo que minimiza los efectos del estrés por sequía. >90%	Ortiz N. et al., 2016
4	Bacterias	<i>Rhizobium spp</i>	Gram negativa	Alta Recuperación de suelos degradados en un 87%	Nicholas O. et al., 2021
5	Bacterias	<i>Bacillus thuringiensis (bacteria endofítica)</i>	Gram positiva	Alta Recuperación de suelos degradados en un 93%	Armada E. et al., 2016
Hongos					
1	Hongos	<i>Hongos micorrízicos arbusculares</i>	Familia Glomeraceae	Medio Los resultados indican que el pH del suelo y el contenido de MOS tendieron a aumentar después del cultivo de cobertura solo o con inoculación microbiana en un 69%	Cui Hang y col., (2016)

2	Hongo	<i>Rhizophagus irregularis</i>	No indica	No indica	Leifheit y col., (2016)
3	Hongos	<i>Glomus mosseae</i>	Familia Glomeraceae	Media Recuperación de suelos degradados en un 33%	Xu y col., (2016)
4	Hongos	<i>Funneliformis mosseae</i> (Fm) y <i>Glomus versiforme</i> (Gv)	Familia Glomeraceae	Alta Recuperación de suelos degradados en un 87%	Li Jiao et al., 2020
5	Hongos	<i>Craurococcu (Cryptococcus)</i> , <i>Phaselicystis</i> , <i>Crossiella</i>	Familia Tremellaceae	Alta Las bacterias mostraron correlaciones positivas significativas altas con TOC, TN y EC y correlaciones negativas con el pH del suelo mostrando una recuperación de suelos degradados en un 93%.	Rodríguez Berbel N. et al., 2020
6	Hongos	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Glomus versiforme</i> y <i>Rhizophagus intraradices</i>	Familia: Glomeraceae Glomeraceae	Baja Recuperación de suelos degradados en un 15,7–21,2% y un 8,5–20,4%, respectivamente, en comparación con las plántulas no inoculadas.	Zhang Zhong feng et al., 2019
7	Hongos	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Rhizophagus intraradices</i> y <i>Diversispora tortuosa</i>	Familia: Glomeraceae Glomeraceae	Alta Recuperación de suelos degradados en un 74%	Da Pengkun et al., 2021
8	Hongos	Hongos micorrízicos	Familia Glomeraceae	Alta Recuperación de suelos degradados en un 85%	Amir Hamid et al., 2019
9	Hongos	Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	Familia Glomeraceae	Alta Recuperación de suelos degradados en un 86%	Yan L. et al., 2012
10	Hongos	Hongos micorrízicos arbusculares (AM)	Familia Glomeraceae	Media No indica	Irankhah Simin et al., 2020

11	Hongos	<i>Hongos micorrízicos arbusculares (AM)</i>	Familia Glomeraceae	Alta Recuperación de suelos degradados en un 89%	Hu Dandan et al., 2019
Bacterias y hongos					
1	Hongos Bacterias	<i>Funneliformis mosseae, (Rhizophagus irregularis)</i>	Familia: Glomeraceae	Alta En condiciones de sequía severa, todas las inoculaciones aumentaron la supervivencia en comparación con las plántulas no inoculadas en mostrando una recuperación de suelos degradados en un 90%.	Azizi Soghra et al., 2021
		<i>PGPR (Pseudomonas fluorescens, P. putida)</i>	Gram negativa		
2	Bacterias y hongos	<i>Bacillus subtilis</i>	Gram positiva	Mejora en la salud del suelo con la combinación de bacterias con hongos >80%	Yadav Rashe shyam et al., 2020
		<i>Hongos micorrízicos</i>	Familia Glomeraceae		
3	Hongos Bacterias	<i>Funneliformis mosseae</i>	Glomeraceae	Alta Los resultados indicaron que las interacciones de los inoculantes dependen de la alta o baja solubilidad de la fuente de P utilizada (disponibilidad de P), y presentan un promedio mayor al 80% de la recuperación de suelos degradados	Ghorchiani M. et al., 2018
		<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Gram negativo		
4	Hongos Bacterias	<i>Hongo micorrízico arbuscular Claroideoglomus etunicatum</i>	Familia: Glomeraceae	El aumento de algunos aminoácidos, ácido cítrico intermedios del ciclo y metabolitos del ácido fenólico podrían contribuir a los mecanismos de	Ghanbarzadeh Z. et al., 2021

		<i>Rizobacteria Micrococcus yunnanensis</i>	Gram positivas	tolerancia de las plantas no inoculadas frente al estrés por déficit hídrico 97%	
--	--	---	-------------------	---	--

Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

YO, MARCO ROBERTO CARRASCO CHAICO, estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: " Aplicación de Bacterias y Hongos para la Biodisponibilidad de Nutrientes y Recuperación de Suelos Degradados: Revisión Sistemática", es de mi autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 25 de noviembre de 2021

APELLIDOS Y NOMBRE DEL AUTOR	FIRMA
CARRASCO CHAICO MARCO ROBERTO DNI: 70263480 ORCID: 0000-0002-0407-4272	