

Los hongos del suelo: su potencial biológico para el desarrollo agrícola local (Revisión)**Soil fungi: their biological potential for local agricultural development (Review)**

Wilson Geobel Ceiro Catasú. Ingeniero Agrónomo. Doctor en Ciencias Agrícolas. Profesor Titular. Investigador Posdoctoral, CONAHCYT. Centro de Investigaciones Biológicas del

Noroeste. La Paz. Baja California Sur. México. wceiroc@gmail.com 

Ramón Jaime Holguín Peña. Ingeniero Agrónomo. Doctor en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La

Paz. Baja California Sur México. jholguin04@cibnor.mx 

Juan Antonio Torres Rodríguez. Ingeniero Agrónomo. Doctor en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo. Los Ríos. Ecuador.

jatorres@uteq.edu.ec 

Sergio Florentino Rodríguez Rodríguez. Ingeniero Agrónomo. Doctor en Ciencias Agrícolas. Investigador Agregado. Profesor Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba.

sfrodriguez1964@gmail.com 

Recibido: 02-07-2024/Aceptado: 26-10-2024

Resumen

El desarrollo local es un enfoque que busca el crecimiento económico y social sostenible de las comunidades. Se orienta en utilizar eficientemente los capitales locales como la mano de obra, el conocimiento y los recursos disponibles para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En este contexto, los hongos que habitan en el suelo muestran un potencial biológico importante en función del mejoramiento productivo agrícola y la sostenibilidad. Por tanto, el presente artículo tiene como objetivo analizar las potencialidades de los hongos del suelo de acuerdo a sus

funciones biológicas y beneficios agronómicos como una alternativa para el mejoramiento de la productividad agrícola y la sostenibilidad en función del desarrollo local resiliente. A partir del análisis realizado, se evidenció que los hongos del suelo intervienen en múltiples procesos en los agroecosistemas. Dentro de sus funciones biológicas se evidencia la solubilización de macro y micronutrientes necesarios para la nutrición de las plantas. Ciertas especies poseen la capacidad de sintetizar compuestos orgánicos como fitohormonas y metabolitos secundarios que promueven el crecimiento vegetal, mientras que otros hongos poseen mecanismos de acción que les permiten ejercer una actividad antagonista sobre especies fitopatógenas. Por tanto, gracias a los hongos del suelo, los sistemas agrícolas pueden ser más sostenibles y menos dependientes de insumos químicos tóxicos, lo cual señala a estos microorganismos como una alternativa para la generación de bioinsumos agrícolas que aporten al desarrollo local de las comunidades a nivel mundial.

Palabras clave: bioinsumos; comunidades agrícolas; promoción del crecimiento; solubilización de nutrientes.

Abstract

Local development is an approach that seeks the sustainable economic and social growth of communities. It is oriented towards the efficient use of local capitals such as labor, knowledge and available resources to improve the quality of life of its inhabitants. In this context, soil-dwelling fungi show an important biological potential in terms of agricultural productive improvement and sustainability. Therefore, the present article aims to analyze the potential of soil fungi according to their biological functions and agronomic benefits as an alternative for the improvement of agricultural productivity and sustainability in terms of resilient local development. From the analysis carried out, it became evident that soil fungi are involved in

multiple processes in agroecosystems. Among their biological functions is the solubilization of macro and micronutrients necessary for plant nutrition. Certain species have the ability to synthesize organic compounds such as phytohormones and secondary metabolites that promote plant growth, while other fungi have mechanisms of action that allow them to exert antagonistic activity on phytopathogenic species. Therefore, thanks to soil fungi, agricultural systems can be more sustainable and less dependent on toxic chemical inputs, which points to these microorganisms as an alternative for the generation of agricultural bioinputs that contribute to the local development of communities worldwide.

Keywords: bioinputs; agricultural communities; growth promotion; nutrient solubilization.

Introducción

El desarrollo agrícola local es fundamental para la generación del crecimiento económico y la sostenibilidad de las comunidades rurales. Para ello, se hace necesario el establecimiento de prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales, lo que se interrelaciona con los beneficios que aportan los hongos del suelo en función del mejoramiento de las propiedades edáficas, la nutrición vegetal, la promoción del crecimiento de las plantas y el antagonismo a fitopatógenos (Velázquez et al., 2017).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo tienen un papel importante en la calidad y productividad de este recurso natural. Específicamente, la actividad biológica de las comunidades de hongos interviene en la descomposición de los restos orgánicos de origen vegetal y animal que llegan al suelo, lo cual permite la formación de la materia orgánica, el humus y la liberación de nutrientes esenciales para las plantas (Liu et al., 2021).

Por lo tanto, los hongos del suelo desempeñan un papel importante en los ecosistemas agrícolas, pudiendo actuar como agentes de descomposición, facilitadores de la absorción de

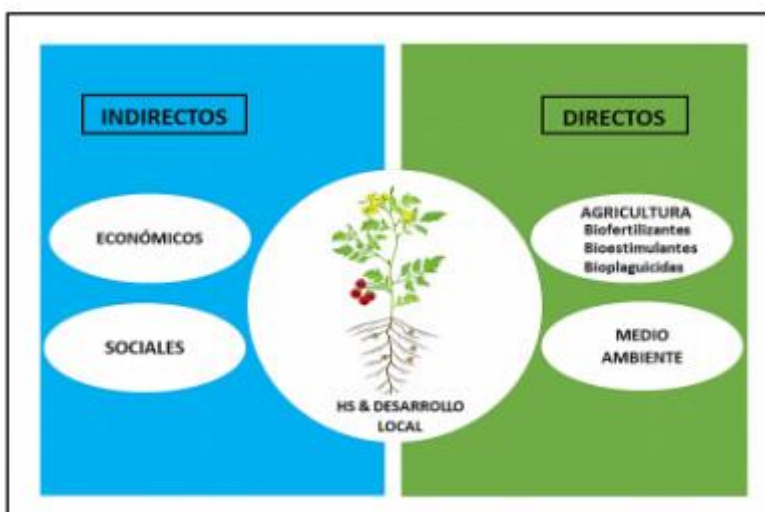
nutrientes, promotores del crecimiento vegetal y protectores naturales contra patógenos (Janowski & Leski, 2022). En el contexto del desarrollo local, su potencial agrícola se convierte en una herramienta invaluable para mejorar la productividad y sostenibilidad de los cultivos.

La investigación explora el potencial de los hongos del suelo para ser aprovechados en el establecimiento de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, contribuyendo así al desarrollo económico-social de las comunidades. A través de una comprensión profunda de sus funciones y beneficios biológicos, se podrán implementar estrategias que maximicen su impacto positivo en la agricultura y en el bienestar social.

De acuerdo a lo expuesto, se propone como objetivo analizar el potencial de los hongos del suelo de acuerdo a sus funciones biológicas y beneficios agronómicos como una alternativa para el mejoramiento de la productividad agrícola y la sostenibilidad en función de un desarrollo local resiliente.

Usos agrícolas de los hongos del suelo y su interrelación con el desarrollo local

Las especies fúngicas microscópicas del suelo tienen beneficios sobre el desarrollo local (figura 1). Ciertos filos de hongos intervienen en los procesos de solubilización de macro y micronutrientes para las plantas, esto hace posible la selección de aislados eficientes y su posterior uso en la nutrición de plantas. Así mismo, pueden intervenir en la formación de sideróforos en las raíces, lo cual aporta a la nutrición (especialmente férrica), la estimulación vegetal y el antagonismo sobre patógenos (Gu et al., 2023).

Figura 1. Beneficios de los hongos del suelo (HS) sobre el desarrollo local

Fuente: elaboración propia.

A partir de los hongos del suelo, se pueden obtener formulaciones de uso agrícola como biofertilizantes, bioplaguicidas y bioestimulantes de importancia para la obtención de producciones sostenibles, sanas y de calidad, mientras que la actividad saprófita natural de estos microorganismos posibilita la transformación de los restos orgánicos que llegan al suelo en materia orgánica y humus, garantizando la fertilidad, el mantenimiento de la estructura edafológica y la resiliencia ecológica, elementos claves para la estabilidad del ecosistema (Kang et al., 2023).

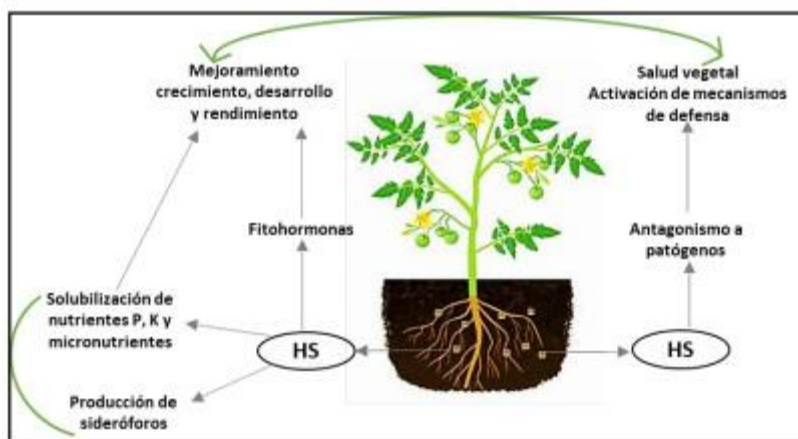
De manera indirecta, los hongos del suelo poseen importancia económica, debido al mejoramiento de los rendimientos y la calidad de las cosechas, así como para la obtención de producciones sanas e inocuas, las cuales adquieren mayor valor agregado. Una dieta rica en frutas, verduras y legumbres orgánicas interviene en la prevención de enfermedades como la diabetes, problemas cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Leyva et al., 2024). Asimismo, contribuye al empoderamiento de los agricultores locales, reduciendo la dependencia de insumos externos y fomentando el uso de conocimientos y recursos locales. Esto puede mejorar la calidad de vida en las comunidades rurales y crear un futuro más próspero. Los sistemas agrícolas

biodiversificados y sostenibles son capaces de resistir eventos climáticos extremos, lo que ayuda a asegurar una producción de alimentos más estable y resiliente (Parra et al., 2021).

Promoción del crecimiento vegetal

Los hongos del suelo inciden en la promoción del crecimiento vegetal (figura 2). Uno de los métodos más efectivos para promover el crecimiento de las plantas es el uso de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, entre otros). Los hongos viven comúnmente en la rizosfera y pueden incidir en el mejoramiento del crecimiento y la salud de las plantas a través de varios mecanismos (Hilty et al., 2021). La solubilización de nutrientes permite que el fósforo, el potasio y ciertos micronutrientes insolubles sean transformados a formas iónicas solubles para las plantas. La producción de fitohormonas es esencial para la promoción del crecimiento de las plantas y mejora procesos relacionados con la nutrición. Los sideróforos facilitan la nutrición férrica. Además, estos microorganismos pueden actuar como agentes de biocontrol, protegiendo a las plantas de patógenos (Adedayo & Babalola, 2023).

Figura 2. Mecanismos comunes que poseen los hongos del suelo (HS) sobre la promoción del crecimiento vegetal



Fuente: elaboración propia.

Solubilización de macronutrientes fósforo y potasio

Se conoce que en el suelo existen especies microbiológicas capaces de intervenir naturalmente en los ciclos de los nutrientes y hacerlos accesibles para las plantas, entre estos se registran ciertas especies de hongos del suelo, las cuales tienen una importante función en la solubilización de nutrientes (Das et al., 2022).

Fósforo

El fósforo (P) es el segundo macronutriente más importante para las plantas después del nitrógeno. Este interviene en la formación de raíces nuevas y de semillas, así como en la síntesis de proteínas, carbohidratos y grasas. Además, participa en los procesos vitales de fotosíntesis, fosforilación y respiración. Constituye aproximadamente el 0,2 % de la masa seca de las plantas. Sin embargo, la mayor reserva de fósforo se encuentra de manera insoluble en el suelo (400-1200 mg/kg⁻¹), este elemento forma complejos con hierro, calcio y aluminio, por lo que no siempre está disponible para las plantas (Bhattacharyya & Jha, 2012).

Una deficiencia de fósforo ocasiona disminución del crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas. Este elemento en cantidades insuficientes ocasiona afectaciones sobre la biomasa radical y la brotación. Además, puede ser el causante de un color verde oscuro en las hojas adultas y tonalidades moradas a lo largo de estas. En casos severos se observan las hojas con los márgenes necrosados. Para cumplir con el requisito de su presencia suficiente, por tradición se utilizan fertilizantes químicos que tienen un impacto negativo sobre el agroecosistema. Por lo tanto, ciertas especies de hongos del suelo pueden considerarse como una alternativa natural para la nutrición de las plantas sin perjudicar al medio ambiente (Devi et al., 2020).

Algunos hongos del suelo solubilizan el fósforo a su forma inorgánica a través de la síntesis de ácidos orgánicos y enzimas. Se destacan el ácido tartárico, el ácido succínico, el ácido

oxálico, el ácido málico, el ácido 2-cetoglucónico, el ácido glioxílico, el ácido glucónico, el ácido fumárico, el ácido cítrico, el ácido alfa-cetobutírico y la enzima fosfatasa (Devi et al., 2020).

Las formas solubles de fósforo en el suelo son los fosfatos diácido (H_2PO_4^-) y monoácido (HPO_4). La concentración de los iones fosfatos en la solución está relacionada con el pH de la misma. El ion H_2PO_4^- es favorecido por pH bajos, mientras que, el ion HPO_4 por pH altos (Sanzano, s.f, p.1).

Potasio

El potasio (K) es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Interviene en la apertura y cierre estomática, proceso importante para la transpiración y el intercambio de gases, el cual permite que las plantas absorban dióxido de carbono y liberen oxígeno. Participa en la activación de enzimas que intervienen en la fotosíntesis, actividad que posibilita que las plantas convierten la luz solar en energía. Es vital para el transporte de agua y nutrientes a través del xilema, asegurando que todas las partes de la planta reciban los elementos necesarios para su crecimiento y desarrollo. Este macronutriente también está involucrado en la síntesis de proteínas y carbohidratos fundamentales para la producción de las hojas, los frutos y las semillas, así como mejora la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés (Tamayo et al., 2022).

La deficiencia de potasio en las plantas puede causar varios problemas que afectan su crecimiento y sanidad. La sintomatología característica es clorosis en las hojas, especialmente en las más viejas, estas se vuelven amarillas con los bordes necrosados. Los tallos se presentan frágiles y propensos a quebrarse. Además, se reduce la producción de flores y frutos, así como se

afecta la calidad de la cosecha. Las plantas con deficiencia de potasio son más vulnerables a plagas (Combatt et al., 2020).

Se conoce que la disponibilidad de potasio ha disminuido en los suelos agrícolas con el paso del tiempo, lo que conlleva un mayor uso de fertilizantes químicos para los cultivos, que eleva los costos de producción y cuyo empleo indiscriminado constituye una amenaza para el medio ambiente. Esta circunstancia pone de manifiesto la importancia de utilizar hongos del suelo para la solubilización de potasio en la agricultura (Devi et al., 2020). Los hongos solubilizadores de potasio se establecen principalmente en los filos *Ascomycota* y *Glomeromycota*. Se considera a los representantes de los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Glomus* y *Penicillium* como saprófitos claves para la solubilización de potasio en el suelo, la promoción del crecimiento de las plantas y la sanidad vegetal (Verma et al., 2017).

Producción de fitohormonas

Auxinas

Las auxinas constituyen fitohormonas esenciales para las plantas. Estas se derivan del indol y participan en los procesos de desarrollo de los vegetales, incluyendo la elongación, la división-diferenciación celular, la formación de órganos, así como promueven el crecimiento y el desarrollo múltiple. Las auxinas se sintetizan a partir del triptófano, que es transformado por las enzimas triptófano 2-monooxigenasa en indol-3 acetamida (Sharma et al. 2020).

Se han identificado varias vías para la síntesis de auxinas en hongos, por ejemplo, *Fusarium* sp. y *Colletotrichum gloeosporioides* sintetizan, a partir de indol-3, acetamida; sin embargo, también se puede producir a partir de indol-3 piruvato, como se ha observado en hongos de los géneros *Ustilago* y *Rhizoctonia* (Reineke et al., 2008).

En un estudio reciente en el que se evaluó la capacidad promotora del crecimiento vegetal de hongos rizosféricos obtenidos de *Opuntia cochenillifera*, se demostró que los aislados F02 (*Penicillium* sp.) y F07 (*Aspergillus* sp.) fueron capaces de producir AIA y se consideraron como promotores del crecimiento en plantas (Silva et al., 2022).

Giberelinas

Las giberelinas son fitohormonas que juegan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas promueven el alargamiento de los tallos, lo que resulta en un mayor tamaño. Contribuyen a romper la dormancia de las semillas, facilitando su germinación. Estimulan el crecimiento y desarrollo de los frutos, mejorando su tamaño y calidad. Inducen la floración en muchas especies, especialmente en aquellas que requieren días largos para florecer y promueven la división celular en hojas y tallos (Paya et al., 2021).

El ácido giberélico (AG) induce la absorción más eficiente de hierro dentro del sistema de la planta, lo que conlleva un mayor crecimiento y mantenimiento del metabolismo en condiciones normales y de estrés (Iqbal y Ashraf 2013). Se conoce que la aplicación exógena de AG, mitiga los efectos de la salinidad sobre la germinación y el crecimiento en *Arabidopsis thaliana*, induciendo un aumento de la actividad de la enzima isocorismato sintasa 1 (Alonso-Ramírez et al., 2009).

Algunos hongos como *Rhizopus stolonifer*, *Pencillium funiculosum*, *P. cyclopium*, *P. corylophilum*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* y *A. flavus* son capaces de producir giberelinas, mientras que se observó que *Fusarium oxysporum* puede producir simultáneamente AG y ácido indolacético (IAA) (Hasan, 2002).

Citoquininas

Las citoquininas son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a sus múltiples funciones. Estas promueven la división celular y la diferenciación de tejidos, elemento esencial para el crecimiento de nuevos órganos y para la formación de estructuras complejas. Pueden revertir la dominancia apical, promoviendo el crecimiento de yemas laterales y adventicias. Intervienen en el desarrollo y tamaño de los frutos y pueden inducir la formación de frutos sin necesidad de fecundación previa (partenocarpia). Estas fitohormonas retrasan el envejecimiento de las hojas, manteniéndolas verdes y funcionales por más tiempo, así como mejoran la tolerancia de las plantas a situaciones de estrés (Vedenicheva & Kosakivska, 2023).

Algunas especies de hongos saprófitos como: *Bjerkandera adusta*, *Lycoperdon perlatum*, *Hypsizygus ulmarius*, *Pleurotus ostreatus*, *Mycena leaiana*, *Exidia glandulosa*, *Trichaptum biforme*, *Tyromyces chioneus*, *Trametes versicolor*, *Clitocybula abundans*, *Hymenopellis* sp., *Hygrocybe miniata*, *Trametes pubescens* evidencian la existencia de una vía metabólica común para la síntesis de citoquinina que no varía entre los distintos modos de nutrición de las especies fúngicas estudiadas (Morrison et al., 2015). Por tanto, ciertos hongos del suelo intervienen en la síntesis de fitohormonas, lo cual muestra la capacidad de estos para mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas, así como, aumentar la tolerancia a plagas.

Uso de hongos como agentes de control biológico

Los hongos pertenecientes a los géneros *Beauveria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Pochonia*, *Petriella*, *Trichoderma*, entre otros, son conocidos ampliamente por ser importantes agentes de biocontrol y se caracterizan por establecer interesantes interacciones bióticas en los agroecosistemas. Además, muchos agentes fúngicos de biocontrol también están disponibles como productos comerciales en todo el mundo, entre los cuales se destacan: *Beauveria bassiana*,

Verticillium lecanii, *Trichoderma polysporum*, *T. gamsii*, *T. asperellum*, *Purpureocillium lilacinum*, *Phlebiopsis gigantea*, *Metarhizium anisopliae*, *Gliocladium catenulatum*, *Coniothyrium minitans*, *Aureobasidium pullulans* y *Ampelomyces quisqualis*, entre otros (Hezakiel et al., 2024).

El uso de hongos como agentes de biocontrol constituye una estrategia segura y orgánica para el desarrollo de una agricultura sostenible y resiliente. Además, se podrían explorar otras posibilidades de uso para el mejoramiento de la productividad agrícola, con una incidencia en la nanoagricultura, la producción de metabolitos y fitohormonas, así como en la nutrición y la promoción del crecimiento de las plantas. Los hongos con aplicaciones antagonistas son decisivos en el control biológico de fitopatógenos, lo cual contribuye a mantener la salud de los cultivos sin recurrir a productos químicos contaminantes (Mukherjee et al., 2022). Estos hongos se valen de diferentes mecanismos de acción para actuar sobre sus dianas (figura 3).

Figura 3. Principales mecanismos de acción de hongos antagonistas del suelo utilizados como agentes de control biológico



Fuente: elaboración propia.

La competencia por los nutrientes y el espacio impide que los patógenos se establezcan, crezcan y proliferen normalmente. El micoparasitismo es un mecanismo mediante el cual los hongos antagonistas atacan y parasitan a otros hongos patógenos (Mukherjee et al., 2022). Para ello, según Hasan et al. (2022) se valen de las siguientes estrategias:

Reconocimiento y adhesión: el hongo antagonista reconoce al patógeno y se adhiere a su superficie; este reconocimiento puede estar mediado por señales químicas específicas.

Penetración: una vez adherido, el hongo antagonista produce estructuras especializadas conocidas como haustorios y apresorios que le permiten penetrar la pared celular del patógeno.

Digestión y absorción: después de penetrar, secretan las enzimas líticas que degradan las paredes celulares del patógeno, permitiendo la absorción de los nutrientes.

Colonización: invade a su diana, crece y se multiplica.

Muchos hongos producen compuestos químicos que actúan como antibióticos, inhibiendo el crecimiento de patógenos. Por ejemplo, *Trichoderma* spp., produce compuestos como gliotoxina y viridina. Otros liberan compuestos orgánicos volátiles que pueden inhibir el crecimiento de patógenos sin interactuar físicamente. Adicionalmente, poseen la capacidad de síntesis de diferentes enzimas, entre las cuales se destacan quitinasas, glucanasas y proteasas, propiciando el debilitamiento de las estructuras celulares de los patógenos para la penetración e infección por el antagonista (Wang et al., 2023).

Los hongos pueden inducir respuestas de defensa en las plantas hospederas, fortaleciendo su resistencia frente a los patógenos. Esto se logra mediante la activación de vías de señalización bioquímica en la planta, que desencadenan la producción de compuestos defensivos como el etileno, el ácido abscísico, las fitoalexinas, los alcaloides, los fenoles, los terpenos, entre otros metabolitos secundarios (Chowdhary & Tank, 2023).

Conclusiones

1. Como se evidenció en este estudio, los hongos del suelo poseen un amplio potencial de usos agrícolas de acuerdo a sus funciones biológicas, con aplicaciones en la nutrición de las plantas, la bioestimulación vegetal y el biocontrol de especies fitopatógenas.
2. Estos microorganismos se consideran como una alternativa viable para el mejoramiento de la productividad agrícola en función del desarrollo local sostenible de las comunidades a nivel internacional.

Referencias bibliográficas

- Adedayo, A. A. & Babalola, O. O. (2023). Fungi that promote plant growth in the rhizosphere boost crop growth. *Journal of Fungi*, 9(2), 239. <https://doi.org/10.3390/jof9020239>
- Alonso-Ramírez, A., Rodríguez, D., Reyes, D., Jiménez, J. A., Nicolás, G., López-Climent, M., Gómez-Cadenas, A. & Nicolás, C. (2009). Evidence for a role of gibberellins in salicylic acid-modulated early plant responses to abiotic stress in Arabidopsis seeds. *Plant Physiology*, 150(3), 1335–1344. <https://doi.org/10.1104/pp.109.139352>
- Bhattacharyya, P. N. & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Chowdhary, V. A. & Tank, J. G. (2023). Biomolecules regulating defense mechanism in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 93(1), 17-25. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01387-7>
- Combatt, E., Pérez, D., Villalba, J., Mercado, J. & Jarma, A. (2020). Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y

- potasio. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2).
<https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1325>
- Das, P. P., Singh, K. R., Nagpure, G., Mansoori, A., Singh, R. P., Ghazi, I. A., Kumar, A. & Singh, J. (2022). Plant-soil-microbes: A tripartite interaction for nutrient acquisition and better plant growth for sustainable agricultural practices. *Environmental Research*, 214(1). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113821>
- Devi, R., Kaur, T., Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. & Yadav, A. N. (2020). Beneficial fungal communities from different habitats and their roles in plant growth promotion and soil health. *Microbial Biosystems*, 5(1), 21-47. <https://doi.org/10.21608/mb.2020.32802.1016>
- Gu, K., Chen, C-Y., Selvaraj, P., Pavagadhi, S., Yeap, Y. T., Swarup, S., Zheng, W. & Naqvi, N. I. (2023). *Penicillium citrinum* Provides Transkingdom Growth Benefits in Choy Sum (*Brassica rapa* var. parachinensis). *Journal of Fungi*, 9(4), 420.
<https://doi.org/10.3390/jof9040420>
- Hasan, H. A. (2002). Gibberellin and auxin-indole production by plant root-fungi and their biosynthesis under salinity-calcium interaction. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 49(1), 105–118. <https://doi.org/10.1556/AMicr.49.2002.1.11>
- Hasan, R., Lv, B., Uddin, M. J., Chen, Y., Fan, L., Sun, Z., Sun, M. & Li, S. (2022). Monitoring mycoparasitism of *Clonostachys rosea* against *Botrytis cinerea* using GFP. *Journal of Fungi*, 8(6), 567. <https://doi.org/10.3390/jof8060567>
- Hezakiel, H. E., Thampi, M., Rebello, S. & Sheikhmoideen, J. M. (2024). Biopesticides: a green approach towards agricultural pests. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196(8), 5533-5562. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04765-7>

- Hilty, J., Muller, B., Pantin, F. & Leuzinger, S. (2021). Plant growth: the What, the How, and the Why. *New Phytologist*, 232(1), 25-41. <https://doi.org/10.1111/nph.17610>
- Iqbal, M. & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.06.002>
- Janowski, D. & Leski, T. (2022). Factors in the Distribution of Mycorrhizal and Soil Fungi. *Diversity*, 14(12), 1122. <https://doi.org/10.3390/d14121122>
- Kang, P., Pan, Y., Ran, Y., Li, W., Shao, M., Zhang, Y., Ji, Q. & Ding, X. (2023). Soil saprophytic fungi could be used as an important ecological indicator for land management in desert steppe. *Ecological Indicators*, 150, 110224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110224>
- Leyva, R., Vega, J., Amezcua, J. C., González, A., Alarcón, A., Diaz, T., Jensen, B. & Larsen, J. (2024). Soil fungal communities associated with chili pepper respond to mineral and organic fertilization and application of the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*. *Applied Soil Ecology*, 201, 105523. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105523>
- Liu, C., Wang, S., Yan, J., Huang, Q., Li, R., Shen, B. & Shen, Q. (2021). Soil fungal community affected by regional climate played an important role in the decomposition of organic compost. *Environmental Research*, 197, 111076. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111076>
- Morrison, E. N., Knowles, S., Hayward, A., Thorn, R. G., Saville, B. J. & Emery, R. J. N. (2015). Detection of phytohormones in temperate forest fungi predicts consistent abscisic

- acid production and a common pathway for cytokinin biosynthesis. *Mycologia*, 107(2), 245–257. <https://doi.org/10.3852/14-157>
- Mukherjee, P. K., Mendoza-Mendoza, A., Zeilinger, S. & Horwitz, B. A. (2022). Mycoparasitism as a mechanism of Trichoderma-mediated suppression of plant diseases. *Fungal Biology Reviews*, 39, 15-33. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.004>
- Parra, V. J., Guilcapi, E. D., Velastegui, J. D. & Ortiz, L. P. (2021). Servicios ecosistémicos generados por el fomento de la agrobiodiversidad, manejo del suelo y del territorio en el Centro de Bioconocimiento de la Estación experimental Tunshi-ESPOCH. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 6(6), 777-794. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2787>
- Paya, L. D., Perdomo, D. & Quinchoya, D. K. (2021). Efecto de la aplicación de la hormona Giberelina en el crecimiento y desarrollo del cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis*) establecido en la vereda Fátima del municipio de La Plata, Huila. *Revista Ingeniería y Región*, 25, 75–81. <https://doi.org/10.25054/22161325.2776>
- Reineke, G., Heinze, B., Schirawski, J., Buettner, H., Kahmann, R. & Basse, C. W. (2008). Indole-3-acetic acid (IAA) biosynthesis in the smut fungus *Ustilago maydis* and its relevance for increased IAA levels in infected tissue and host tumour formation. *Molecular Plant Pathology*, 9(3), 339-355. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00470.x>
- Sanzano, A. (s.f). *El fósforo del suelo*. https://www.academia.edu/30243808/EL_F%C3%93SFORO_DEL_SUELO
- Sharma, A., Soares, C., Sousa, B., Martins, M., Kumar, V., Shahzad, B., Sidhu, G., Bali, A. S., Asgher, M., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Fidalgo, F. & Zheng, B. (2020). Nitric oxide-

- mediated regulation of oxidative stress in plants under metal stress: a review on molecular and biochemical aspects. *Physiologia Plantarum*, 168(2), 318-344.
<https://doi.org/10.1111/ppl.13004>
- Silva, J.M. da, Vilela, P. C., Araújo, V., Toujaguez, R., Carvalho, T.M. & Silvestre, G. (2022). In vitro bioprospecting of rhizospheric fungi associated to cactus (*Opuntia cochenillifera*) to plant growth promotion. *Revista Peruana de Biología*, 29(2), 1 - 10.
<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i2.22125>
- Tamayo, J. F., Michell, L. & Urrea, A. I. (2022). Efecto de la concentración del potasio (K⁺) sobre el desarrollo morfológico y procesos fisiológicos de plántulas de cinco genotipos de *Theobroma cacao* L. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(2).
<https://doi.org/10.24215/16699513e094>
- Vedenicheva, N. & Kosakivska, I. (2023). In search of the phytohormone functions in Fungi: Cytokinins. *Fungal Biology Reviews*, 45, 100309.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100309>
- Velázquez, M. S., Cabello, M. N., Eliades, L. A., Russo, M. L., Allegrucci, N. & Schalamuk, S. (2017). Combinación de hongos movilizadores y solubilizadores de fósforo con rocas fosfóricas y materiales volcánicos para la promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 347-355.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2016.07.005>
- Verma, P., Yadav, A.N., Khannam, K.S., Saxena, A.K. & Suman, A. (2017). Potassium-solubilizing microbes: diversity, distribution, and role in plant growth promotion. In: Panpatte, D.G., Jhala, Y.K., Vyas, R.V., Shelat, H.N. (eds) (2017). *Microorganisms for Green Revolution*. Springer. pp 125-149. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6241-4_7

Wang, Y., Zhu, X., Wang, J., Shen, C. & Wang, W. (2023). Identification of mycoparasitism-related genes against the phytopathogen *Botrytis cinerea* via transcriptome analysis of *Trichoderma harzianum* T4. *Journal of Fungi*, 9(3), 324.

<https://doi.org/10.3390/jof9030324>