

Sección: Microbios

Trichoderma: un aliado natural para la agricultura del futuro

Trichoderma: a natural ally for the future of agriculture

Ulises Adrián Salgado-Vargas¹

Renato León-Rodríguez²

Isaí Ismael Bahena-Contreras^{3*}

¹Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos, México.

²Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.

³Facultad De Ciencias Químico-Biológicas, Maestría en Biociencias, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México.

*Autor para la correspondencia: isma.bahenac@gmail.com

RESUMEN

La agricultura enfrenta el reto de producir alimentos suficientes y de calidad, reduciendo los impactos negativos de las prácticas intensivas. En este contexto, los microorganismos benéficos representan alternativas para promover sistemas agrícolas sostenibles. Entre ellos destaca *Trichoderma*, un género de hongos filamentosos que interactúa con las plantas y otros microorganismos del suelo. Algunas especies limitan hongos fitopatógenos mediante micoparasitismo, producción de compuestos antimicrobianos y competencia por recursos. Además, pueden estimular el crecimiento radicular y mejorar la absorción de agua y nutrientes. Este artículo describe sus características, mecanismos de acción y contribuciones potenciales a una agricultura más sostenible.

Palabras clave: Trichoderma, biocontrol, crecimiento vegetal.

SUMMARY

Agriculture faces the challenge of producing sufficient, high-quality food while reducing the negative impacts of intensive farming practices. In this context, beneficial microorganisms offer alternatives for promoting sustainable agricultural systems. Among them is *Trichoderma*, a genus of filamentous fungi that interacts with plants and other soil microorganisms. Some species suppress plant-pathogenic fungi through mycoparasitism, the production of antimicrobial compounds, and competition for resources. In addition, they can stimulate root growth and improve the absorption of water and nutrients. This article describes their characteristics, mechanisms of action, and potential contributions to more sustainable agriculture.

Keywords: Trichoderma, biocontrol, plant growth.

La agricultura es una actividad fundamental para la sociedad, pues permite producir los alimentos que consumimos y proporciona materias primas para numerosas actividades humanas, sin embargo, producir alimentos de manera suficiente y constante implica enfrentar diversos desafíos relacionados con la disponibilidad de agua, suelo, la presencia de plagas y enfermedades, las condiciones ambientales y la necesidad de conservar los recursos naturales. Durante el establecimiento de la agricultura moderna se incorporaron diferentes insumos, entre ellos fertilizantes y plaguicidas sintéticos. Estos productos han contribuido al manejo de plagas y enfermedades y, por ello, han desempeñado un papel importante en numerosos sistemas de producción de cultivos. Pero, ¿Desde cuándo utilizamos fertilizantes y plaguicidas sintéticos? Aunque hoy forman parte habitual de muchos sistemas agrícolas, los fertilizantes minerales y plaguicidas sintéticos no han acompañado a la agricultura durante toda su historia. Durante años, los agricultores utilizaron principalmente una amplia variedad de recursos orgánicos y minerales disponibles localmente, como el estiércol, residuos vegetales, cenizas y otras fuentes orgánicas para mantener la fertilidad del suelo y proteger a sus cultivos. El panorama comenzó a cambiar con el desarrollo de la química agrícola y especialmente con la expansión de los fertilizantes minerales durante el siglo XIX y de los plaguicidas sintéticos entre finales del siglo XIX y siglo XX [4].

Este cambio transformó la agricultura, la disponibilidad de nutrientes en formas concentradas y de productos capaces de controlar rápidamente determinadas plagas y enfermedades, permitió aumentar y estabilizar la producción de numerosos cultivos. Sin embargo, su uso intensivo y continuo también puede generar problemas ambientales y biológicos. Entre ellos se encuentran la contaminación de suelos y cuerpos de agua, la alteración de comunidades biológicas y la selección de poblaciones de organismos capaces de sobrevivir a

determinados productos [5].

Los problemas asociados con el manejo de enfermedades son particularmente relevantes en cultivos de importancia alimentaria como el maíz, el arroz, la soya y el frijol. Sin embargo, estos cultivos pueden ser afectados por diversas enfermedades causadas por microorganismos fitopatógenos. Entre ellos se encuentran hongos de los géneros *Fusarium*, que pueden provocar marchitez y pudriciones; *Rhizoctonia*, asociada con pudriciones de raíces y tallos; y *Botrytis*, responsable de diferentes tipos de pudriciones, especialmente en tejidos vegetales. También se encuentran los oomicetos del género *Phytophthora*, que pueden causar pudriciones de raíces, tallos y otros órganos de las plantas. Estas enfermedades pueden reducir el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Ante este panorama, una de las estrategias que ha cobrado interés es el uso de microorganismos benéficos como parte del manejo integrado de los cultivos. A diferencia de un enfoque basado exclusivamente en productos sintéticos, el manejo integrado busca combinar diferentes herramientas para reducir las enfermedades y mantener la productividad agrícola.

Entre los microorganismos estudiados con este propósito se encuentra el género *Trichoderma*, formado por hongos filamentosos que habitan diversos ambientes, incluido el suelo. Algunas especies pueden establecer interacciones favorables con las plantas y limitar el desarrollo de otros hongos mediante diferentes mecanismos de competencia y antagonismo. Además, se ha descrito su capacidad para favorecer determinados procesos relacionados con el crecimiento vegetal [1,3].

Pero ¿cómo puede un hongo ayudar a una planta? ¿Puede realmente combatir a otros hongos? ¿Y de qué manera puede favorecer el crecimiento de un cultivo? En las siguientes secciones conoceremos a *Trichoderma*, los

mecanismos que utiliza para interactuar con otros microorganismos y las razones por las que ha despertado interés como herramienta biotecnológica para la agricultura.

¿Qué es *Trichoderma*?

Cuando escuchamos la palabra hongo probablemente pensamos en los champiñones que encontramos en el supermercado o en las setas que aparecen después de las lluvias. Si embargo el mundo de los hongos es mucho más diverso, algunos son microscópicos o están formados por estructuras filamentosas, que, al crecer y ramificarse, forman una red conocida como micelio. Dentro de este grupo se encuentra *Trichoderma*, un género de hongos filamentosos que puede encontrarse en el suelo, restos vegetales y otro ambiente.

A diferencia de los hongos que produce estructuras grandes y visibles, muchas especies de *Trichoderma* desarrollan colonias microscópicas que pueden observarse en el laboratorio como masas de crecimiento generalmente verdes debido a la producción de sus estructuras reproductivas (ver Figura 1B). Entre las especies estudiadas por su importancia agrícola se encuentran *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. virens* y *T. atroviride* [1].

Pero ¿qué hace especial a este hongo? *Trichoderma* no solamente vive en el suelo: también puede establecer interacciones con las raíces de las plantas y con otros microorganismos. Algunas especies son capaces de competir con otros hongos por espacio y nutrientes y, en determinadas condiciones, pueden incluso atacar a otros hongos mediante un proceso conocido como micoparasitismo.

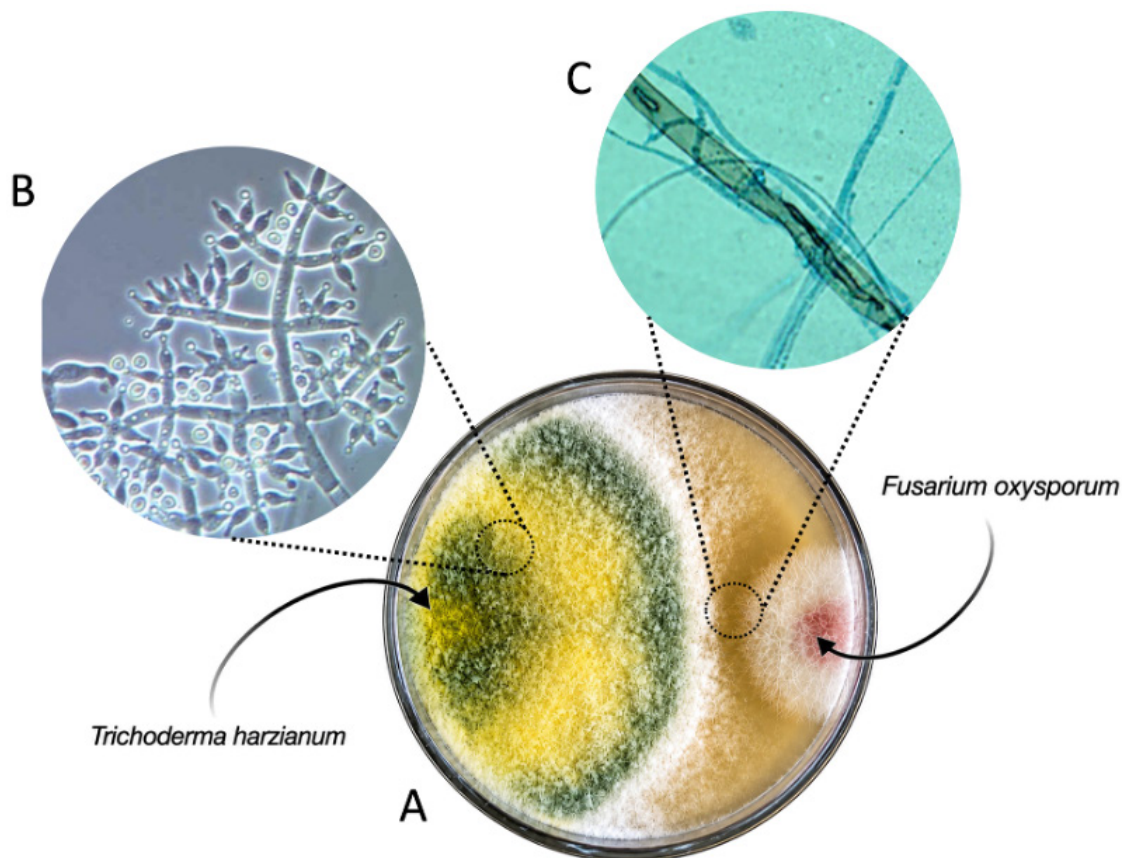


Figura 1. *Trichoderma harzianum*, un aliado natural contra *Fusarium oxysporum*. (A) Crecimiento de *T. harzianum* y *F. oxysporum* en la misma placa, donde se observa la interacción entre ambos hongos. (B) Estructuras microscópicas de *T. harzianum*. (C) Micoparasitismo, proceso mediante el cual las hifas de *T. harzianum* entran en contacto con las hifas de *F. oxysporum*, las rodean y pueden penetrarlas, provocando alteraciones y daño en el hongo fitopatógeno. Este mecanismo es una de las formas en que *Trichoderma* puede limitar el desarrollo de hongos que causan enfermedades en las plantas.

El término puede parecer complicado, pero la idea es sencilla: “mico” significa hongo y “parasitismo” hace referencia a una interacción en la que un organismo obtiene recursos de otro. En el micoparasitismo, *Trichoderma* puede reconocer a otro hongo, crecer en dirección hacia él, establecer contacto y colonizar sus estructuras. Posteriormente, puede producir enzimas capaces de degradar componentes de la pared celular del hongo que está atacando [3].

Este fenómeno puede observarse en condiciones de laboratorio. En la Figura 1 se muestra la interacción entre *T. harzianum* y *Fusarium oxysporum*. Estas imágenes permiten visualizar cómo las colonias de *Trichoderma* entran en contacto y compiten con otros hongos.

El micoparasitismo, sin embargo, no es la única estrategia de *Trichoderma*. Este género también puede producir sustancias con actividad antimicrobiana, competir por nutrientes y espacio y establecer asociaciones con las raíces de las plantas. Por ello, su importancia

agrícola no depende de un solo mecanismo, sino de la combinación de diferentes formas de interacción [1].

Cómo se produce *Trichoderma* para obtener un bioinsumo

Un bioinsumo es un producto agrícola elaborado a partir de organismos vivos, sus componentes o productos derivados de ellos, que puede utilizarse para favorecer la nutrición, el crecimiento o la protección de los cultivos.

Una de las formas utilizadas para producir *Trichoderma* es la fermentación en estado sólido, un proceso en el que el hongo crece sobre materiales vegetales que sirven como sustrato [7]. Algunos residuos agrícolas, como el arroz y otros materiales ricos en nutrientes, pueden aprovecharse para favorecer el crecimiento y la producción de estructuras reproductivas del hongo (ver Figura 2). Esta estrategia permite transformar materiales de origen agrícola en un soporte para la producción de biomasa y

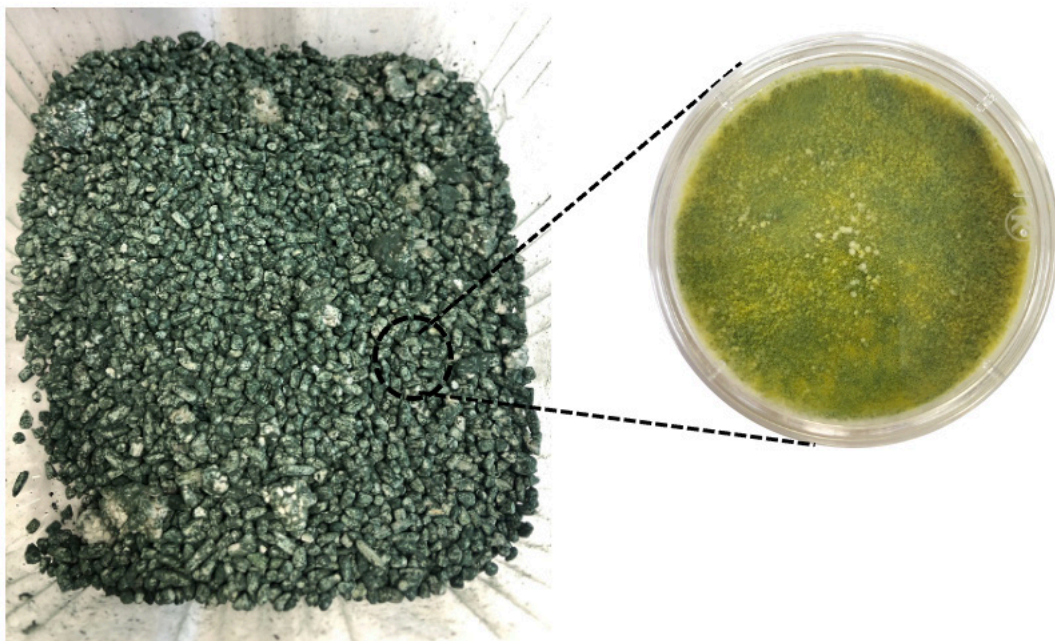


Figura 2. Crecimiento de *Trichoderma asperellum* de sobre arroz utilizado como sustrato durante un proceso de fermentación en estado sólido. La imagen muestra la colonización del material vegetal por el hongo.

esporas de *Trichoderma*.

Durante este proceso, el hongo coloniza progresivamente el sustrato y desarrolla un crecimiento visible sobre su superficie. Posteriormente, las esporas producidas pueden recuperarse y utilizarse como fuente de inóculo para la elaboración de formulaciones destinadas a diferentes aplicaciones agrícolas. De esta manera, un material que inicialmente puede considerarse un residuo o subproducto agrícola puede convertirse en un sustrato útil para la producción de un microorganismo de interés agrícola.

El producto final no consiste simplemente en el hongo creciendo sobre el material utilizado como sustrato. Para su utilización agrícola, *Trichoderma* debe incorporarse a una formulación que permita conservar su viabilidad, facilitar su almacenamiento y hacer posible su aplicación en el cultivo. Dependiendo del producto, estas formulaciones pueden presentarse en formas sólidas o líquidas y contener principalmente esporas u otros propágulos del microorganismo.

Sin embargo, no todas las formulaciones de *Trichoderma* se comportan de la misma manera. Su estabilidad y eficacia pueden depender de la especie o cepa utilizada, del tipo de formulación, de las condiciones de almacenamiento y de la forma de aplicación. Por ello, cuando se emplean estos productos en campo, es importante seguir las recomendaciones establecidas para cada formulación.

¿Cómo controla *Trichoderma* a otros hongos?

En el suelo, los microorganismos no viven de manera aislada. Constantemente compiten por espacio, nutrientes y otros recursos necesarios para crecer. *Trichoderma* puede aprovechar estas interacciones para limitar el desarrollo de algunos hongos fitopatógenos mediante diferentes mecanismos de control biológico.

Entre los más estudiados se encuentran el micoparasitismo, la antibiosis y la competencia. El micoparasitismo, como vimos anteriormente en la sección *Qué es Trichoderma*, es un proceso que implica que *Trichoderma* reconoce y establece contacto con otro hongo, puede colonizarlo y producir enzimas capaces de degradar componentes de su pared celular. Esta estrategia puede contribuir a limitar el crecimiento de diferentes hongos fitopatógenos [1].

Otra estrategia es la antibiosis. En este caso, *Trichoderma* produce diferentes sustancias que pueden afectar el crecimiento o desarrollo de otros microorganismos. Estas sustancias reciben el nombre de metabolitos secundarios y forman parte de una verdadera “fábrica química” que el hongo utiliza para interactuar con su ambiente. Entre ellos se encuentran los poliquétidos, terpenoides, péptidos y compuestos orgánicos volátiles. Uno de los ejemplos más conocidos es el 6-pentil-2H-piran-2-ona (6-PP) un compuesto producido por diferentes especies de *Trichoderma*. Esta molécula puede liberarse al medio ambiente y ha mostrado la capacidad de inhibir el crecimiento de algunos hongos fitopatógenos.

Pero el 6-PP no está solo. *Trichoderma* también produce peptaiboles, un grupo de pequeños péptidos que pueden interactuar con las membranas de otros hongos. Algunas de estas moléculas forman canales en las membranas celulares, alterando su funcionamiento y contribuyendo a la actividad antifúngica [6].

Además, se han identificado numerosos poliquétidos y terpenoides, cuyas estructuras son muy diversas y cuyas actividades pueden variar dependiendo de la especie de *Trichoderma* y de las condiciones en las que crece (ver Figura 3). Por eso, más que una sola sustancia, el hongo cuenta con un conjunto de moléculas que pueden participar en sus interacciones con otros microorganismos y con las plantas.

También existe la competencia por espacio y nutrientes. Para establecerse y crecer, los

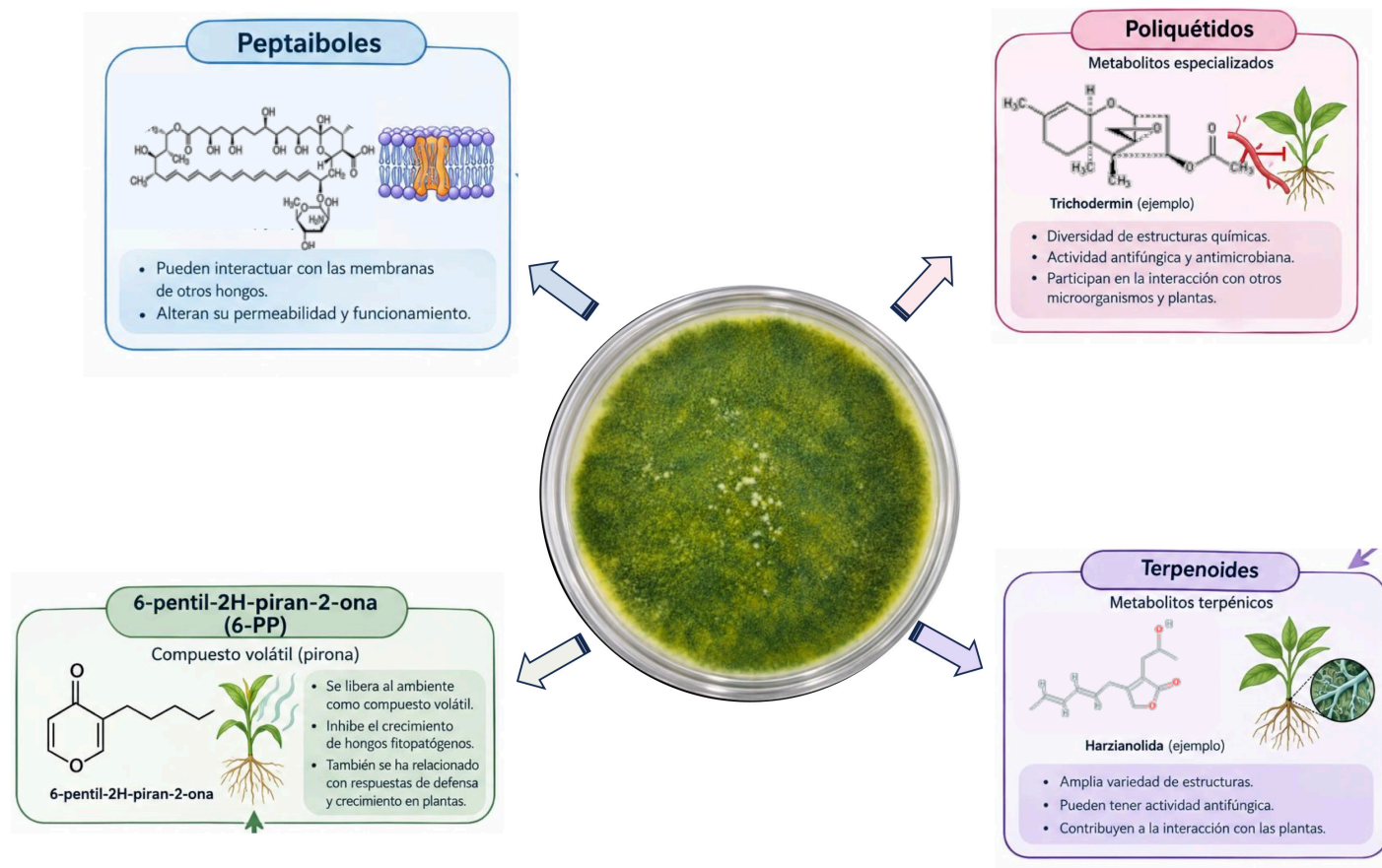


Figura 3. La “fabrica química” de *Trichoderma asperellum*. Este hongo produce diferentes tipos de moléculas que le permiten interactuar con las plantas y otros microorganismos. Entre ellas se encuentran peptaiboles, policétidos, terpenoides y compuestos volátiles, algunos de los cuales pueden contribuir a frenar el crecimiento de hongos fitopatógenos y favorecer interacciones benéficas con las plantas.

microorganismos necesitan recursos disponibles en su ambiente. Cuando *Trichoderma* coloniza rápidamente un sustrato o la superficie cercana a las raíces, puede ocupar espacios y utilizar nutrientes que también necesitarían otros microorganismos. De esta manera, puede dificultar el establecimiento o crecimiento de algunos hongos fitopatógenos [6].

Estos mecanismos no necesariamente actúan de manera independiente. En determinadas condiciones, *Trichoderma* puede utilizar varias estrategias al mismo tiempo, lo que ayuda a explicar su capacidad para interactuar con otros microorganismos y limitar el desarrollo de algunos fitopatógenos. Aunque esta capacidad resulta útil, el micoparasitismo no debe entenderse como una interacción dirigida

exclusivamente contra hongos perjudiciales. En determinadas condiciones, *Trichoderma* también puede interactuar negativamente con otros hongos de interés, por lo que su uso debe considerar el microorganismo y el sistema agrícola específico.

***Trichoderma* como promotor de crecimiento vegetal**

Después de conocer cómo *Trichoderma* puede ayudar a proteger las plantas frente a otro microorganismo, surge otra pregunta ¿puede este hongo también ayudar a que las plantas crezcan mejor? La respuesta es sí. Diversas especies de *Trichoderma* pueden establecerse cerca de las raíces y modificar las

condiciones de la rizosfera, es decir, la zona del suelo que está directamente influenciada por las raíces. A partir de esta interacción, pueden favorecer el desarrollo de las raíces, la adquisición de nutrientes y la respuesta de las plantas frente a diferentes condiciones ambientales.

En esta comunidad también participan otros microorganismos benéficos. Por ejemplo, bacterias como *Bacillus* y *Pseudomonas* pueden favorecer el crecimiento vegetal mediante diferentes mecanismos, mientras que los hongos micorrízicos arbusculares establecen asociaciones con las raíces que pueden contribuir a la adquisición de agua y nutrientes.

Estos microorganismos forman parte de una comunidad diversa en la rizosfera, donde sus interacciones pueden influir en el desarrollo y la salud de las plantas.

Uno de los primeros efectos que podemos observar ocurre precisamente debajo del suelo. Algunas especies de *Trichoderma* pueden estimular la elongación y ramificación de las raíces, haciendo que la planta desarrolle una mayor superficie para explorar el suelo (ver Figura 4). Esto puede favorecer la absorción de agua y nutrientes y, como consecuencia, contribuir al crecimiento de la parte aérea de la planta [2].

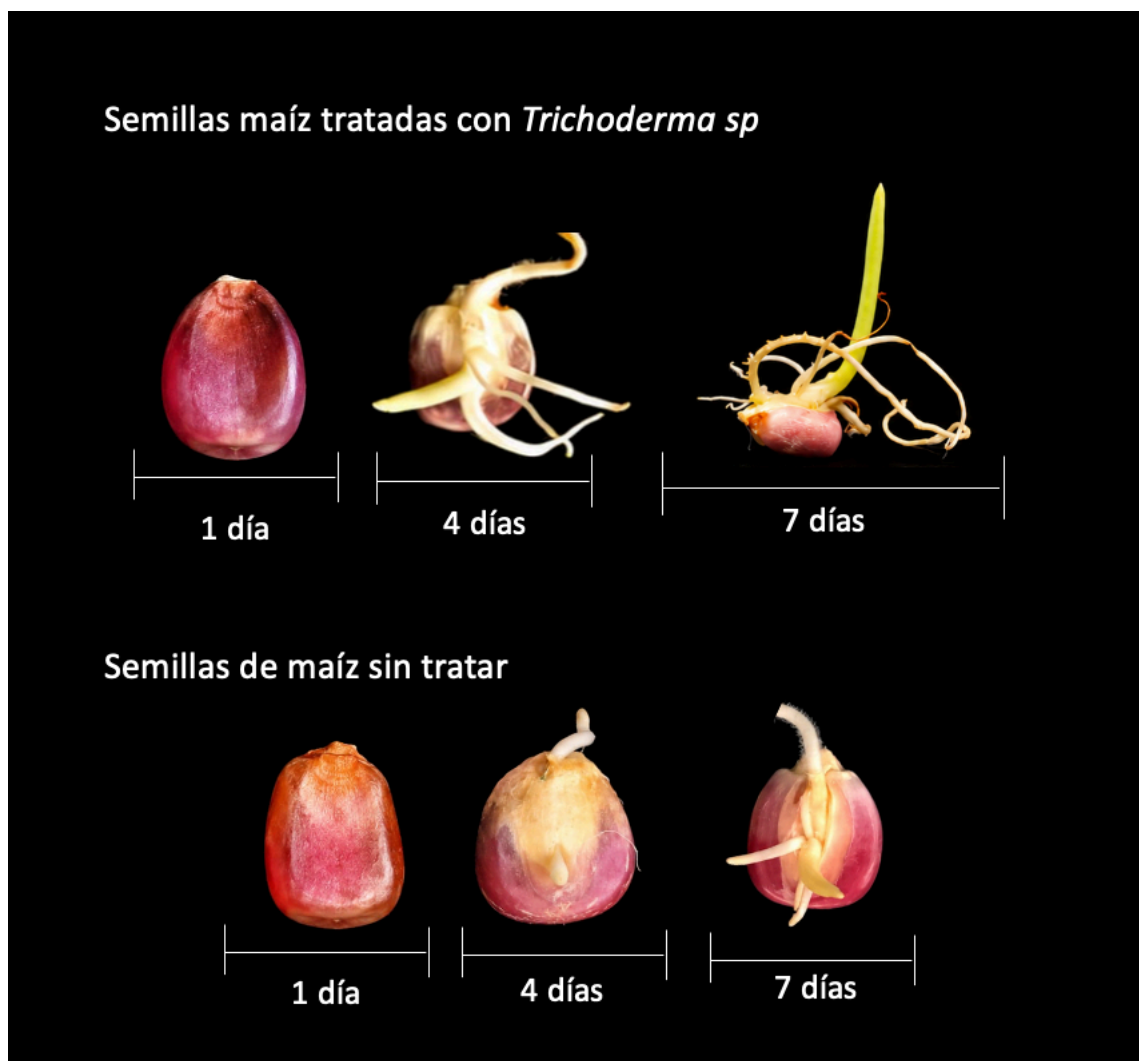


Figura 4. Efecto de la interacción con *Trichoderma* sobre el desarrollo temprano de plantas de maíz. Se muestra el crecimiento de las plántulas a diferentes días después de la inoculación, destacando los cambios observables durante las primeras etapas del desarrollo vegetal.

¿Cómo consigue hacerlo? Una parte importante de esta interacción ocurre mediante moléculas producidas por el propio hongo. Algunas actúan como señales que modifican procesos relacionados con el crecimiento vegetal. Entre ellas se encuentran compuestos con actividad semejante a las fitohormonas, como el ácido indol-3-acético (AIA), así como diferentes compuestos orgánicos volátiles, entre ellos el 6-pentil-2H-piran-2-ona (6-PP) que ya conocimos anteriormente. Estas moléculas pueden modificar procesos relacionados con el desarrollo de las raíces y con las respuestas fisiológicas de la planta [2].

Pero los beneficios de *Trichoderma* no terminan en el crecimiento. La interacción con las raíces también puede preparar a la planta para responder con mayor rapidez ante determinadas situaciones de estrés. Se ha descrito su participación en respuestas relacionadas con sequía, salinidad y otros factores ambientales, mediante cambios en procesos fisiológicos y en las señales hormonales de la planta [1]. Por eso, cuando hablamos de *Trichoderma* como promotor del crecimiento vegetal, no significa simplemente que el hongo “haga crecer” a la planta. La idea es más interesante: *Trichoderma* puede interactuar con las raíces, producir señales químicas, favorecer la disponibilidad de algunos nutrientes y modificar determinadas respuestas de la planta. La combinación de estos efectos puede contribuir a que las plantas desarrollen un sistema radical más eficiente y enfrenten mejor algunas condiciones desfavorables.

Mirando hacia el futuro

La naturaleza ofrece soluciones capaces de responder a algunos de los mayores desafíos de la agricultura moderna. En este mundo invisible bajo nuestros pies, ningún microorganismo actúa de manera aislada. Las raíces, los hongos y las bacterias forman una comunidad dinámica en la que ocurre intercambios y com-

petencias que pueden influir directamente en la salud de las plantas, entre sus habitantes se encuentra *Trichoderma*, un hongo capaz de interactuar con las raíces y con otros microorganismos y que, bajo determinadas condiciones puede contribuir al crecimiento y protección de los cultivos. Comprender estas relaciones nos permite mirar el suelo de una manera diferente: no como un simple soporte para las plantas, sino como un ecosistema vivo y diverso. En este escenario, *Trichoderma* se presenta como un aliado natural con potencial para formar parte de una agricultura más sostenible y, quizá, de la agricultura del futuro.

Agradecimientos

El estudiante de Ulises Adrián Salgado Vargas agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de tesis otorgada en el marco del proyecto “Bioestimulantes y bioplaguicidas derivados de *Bacillus* spp. aislados de lodos residuales y cultivados en melazas como estrategia integral y sostenible para mejorar la productividad de maíz y frijol” (clave PEE-2025-G-102),

El autor Isaí Ismael Bahena-Contreras agradece al Programa de Maestría en Biociencias de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada No. **4076244** Becas Nacionales para estudios de Posgrado 2026-1. CVU: **2187711** que contribuyó al desarrollo de este trabajo.

Asimismo, expresa agradecimiento a la Dra. Patricia Álvarez Fitz y al Dr. Macdiel Emilio Acevedo Quiroz por sus valiosas observaciones, orientación académica y apoyo durante la elaboración del presente artículo.

De igual manera, se agradece a la Ing. Monserrat Guadalupe Ocampo Parral y al Est. de Ing. Bioquímica Leonardo Gael Amaya Ga-

rita por su apoyo en las actividades relacionadas con la toma de fotografías, edición de imágenes, apoyo experimental y búsqueda bibliográfica.

Referencias

- [1] Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., et al. (2023). *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21, 312–326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>
- [2] Srivastava, S., Debnath, B., Manda, R. R., Maurya, S., Rana, M., & Tiwari, A. K. (2026). *Trichoderma* in sustainable agriculture: Advances, applications, and future prospects for biocontrol and plant growth promotion. *Annals of Applied Biology*, 188(1), 332–351. <https://doi.org/10.1111/aab.70052>
- [3] Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1160551. doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551
- [4] Dixon, M.W. (2018). Chemical fertilizer in transformations in world agriculture and the state system, 1870 to interwar period. *Journal of Agrarian Change*, 18: 768–786. <https://doi.org/10.1111/joac.12259>
- [5] Carson, R. (2017). From silent spring to silent night: Agrochemicals and the anthropocene. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 5: 57. <https://doi.org/10.1525/elementa.246>
- [6] Guo Q, Shi L, Wang X, Li D, Yin Z, Zhang J, Ding G, Chen L. (2023). Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from the *Trichoderma* genus (Covering 2018-2022). *J Agric Food Chem*, 71(37):13612-13632. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04540>
- [7] Cando-Narvaez, A. A., et al. (2022). Rice recycling: A simple strategy to improve conidia production in solid-state cultures. *Letters in Applied Microbiology*, 74(3), 385–394. <https://doi.org/10.1111/lam.13614>