

Microrganismos benéficos para la agricultura como aliados ante la contaminación de los suelos por metales pesados

Diego Helman Zapata Sarmiento, Gabriela Sepúlveda Jiménez y Mario Rodríguez Monroy.

Diego Helman Zapata Sarmiento es biólogo de la Universidad de Quindío, Colombia. Realizó sus estudios de Maestría en Manejo Agroecológico de Plagas y Enfermedades en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN) en Yauatepec, Morelos, y actualmente estudia el Doctorado en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos en el CEPROBI-IPN.

Gabriela Sepúlveda Jiménez es bióloga, con estudios de Maestría en Ciencias Químicas y Doctorado en Ciencias Biológicas en la UNAM. Es investigadora Nacional Nivel I. Es profesora de tiempo completo en el CEPROBI-IPN y participa en los Programas de Posgrado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Manejo Agroecológico de Plagas y Enfermedades, y es la Coordinadora del Programa de Maestría. Su área de estudio es la interacción entre las plantas y los microorganismos. Mario Rodríguez Monroy es biólogo, con estudios de Maestría y Doctorado en Biotecnología en el CINVESTAV y en la UNAM, respectivamente. Es investigador Nacional Nivel II. Es profesor de tiempo completo en el CEPROBI-IPN y participa en los Programas de Posgrado: Maestría y Doctorado en Desarrollo de Productos Bióticos. Su área de estudio es la Biotecnología Vegetal. Es miembro de la Academia de la Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

El suelo y su importancia

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación define al suelo como el medio natural para el crecimiento de las plantas. El suelo se forma por capas horizontales compuestas de minera-

les, materia orgánica, aire, organismos vivos y agua. La capa superior es la de mayor actividad biológica, porque contiene la mayor cantidad de materia orgánica, es donde se forma el humus a partir de residuos de animales y plantas, y es la capa donde viven muchos organismos. Los suelos son la base de la agricultura, donde crecen las plantas destinadas a la producción de alimentos. Es importante conservar la integridad de los suelos, ya que, si en suelos sanos se producen cultivos sanos, se mejora la calidad de vida de los consumidores.

Sin embargo, durante los últimos 50 años se ha ejercido una presión sobre los suelos, debido a la producción agrícola intensiva, es decir, el incremento de la producción de alimentos por el uso intensivo de las tierras dedicadas a los cultivos. Esto ocasiona un aumento de la degradación del suelo y, junto con los efectos adversos del cambio climático, se ha afectado el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, la restauración y el uso sostenible del suelo es fundamental para mejorar la producción agrícola, mitigar el cambio climático y satisfacer las necesidades de alimentación de las generaciones futuras. Debido a esto, la Unión Europea, a través del Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo, recomendó en el 2021 que hay que incrementar los esfuerzos

para implementar los principios de la agroecología en la producción de los cultivos, para garantizar el uso sustentable de los suelos. La agroecología es un enfoque que respalda una producción agrícola sustentable, al tiempo que mantiene un equilibrio en el ambiente y suelos, ya que la agroecología imita el funcionamiento de la naturaleza. Al implementar las prácticas agroecológicas es posible responder a las necesidades cambiantes de la sociedad, en términos de una producción sustentable de alimentos saludables y de conservar los suelos.

Cabe traer a colación la famosísima frase "Lo esencial es invisible a los ojos" del libro El Principito de Antony de Saint-Exupéry. Porque el suelo es un ecosistema vivo y dinámico, lleno de organismos microscópicos invisibles a nuestros ojos que cumplen funciones vitales, una de ellas, transformar la materia orgánica en una fuente de carbono y otros nutrientes para las plantas. Asimismo, en una zona del suelo cercana a las raíces de las plantas y que conocemos como la rizosfera, se encuentran bacterias y hongos que mantienen una relación mutua y benéfica con las plantas. Tal es el caso de hongos del género Trichoderma y Glomus, y bacterias de los géneros Bacillus, Pseudomonas y Azospirillum. Así es como un suelo saludable depende de una gama de formas de vida que en él habitan, pero que está en constante amenaza de cambiar o desaparecer, a causa de la contaminación.

¿Qué son y cómo los metales pesados contaminan el suelo?

La contaminación del suelo interrumpe el delicado equilibrio de las interacciones y las formas de vida. Todo el ecosistema se perturba por las malas prácticas agrícolas, los desechos urbanos no tratados, el almacenamiento inadecuado de residuos químicos, la industria y la minería. Una forma de contaminación es por metales pesados, que es la que nos vamos a enfocar.

Un metal pesado es un elemento químico con un peso atómico de 63.5 a 200.5 gramos/mol. Es un elemento químico que posee una densidad mayor o igual a 5 gramos/cm³. Pero hay metales pesados como el cobre, selenio, zinc y co-

balto que en muy bajas cantidades son esenciales para mantener el metabolismo de los organismos. Sin embargo, en concentraciones altas son tóxicos. Otros metales pesados como el mercurio, plomo y cadmio no tienen una función biológica, y al acumularse en los suelos y el agua son tóxicos para todos los organismos.

¿Qué es una concentración baja o alta de un metal en el suelo?

Para responder a esta pregunta, ¿qué es una concentración baja o alta de un metal en el suelo?, vamos a considerar como ejemplo al cobre, ya que es un metal que está presente en fungicidas usados en la agricultura para el manejo de enfermedades. Un valor de referencia bajo y no dañino del cobre es 100 miligramos de cobre por kilogramo de suelo, pero un valor de referencia alto es 150 o de 200 mg de cobre por kilogramo de suelo, que ya es una concentración de cobre que causa un impacto ambiental.

La contaminación del suelo por metales pesados se da por actividades humanas como es el uso de aguas residuales, de fertilizantes y pesticidas a base de cobre y cadmio en los cultivos. La quema de combustibles fósiles en termoeléctricas genera metales como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico. En la minería y la fundición de metales se generan arsénico, plomo, mercurio, cobre, zinc y cadmio.

¿Cómo los microorganismos del suelo toleran la contaminación de metales pesados?

Los microorganismos que habitan el suelo como bacterias y hongos son los primeros en ser sometidos a los efectos tóxicos de metales pesados. Pero bajo esta presión ambiental, los microorganismos han desarrollado mecanismos fisiológicos y bioquímicos que les permiten tolerar los metales pesados. Los mecanismos son la biosorción, bioacumulación, biomineralización, y biotransformación.

A continuación, vamos a describir estos mecanismos y apoyarnos de forma ilustrativa en la Figura 1. La biosorción es la retención del metal en la superficie celular, por la interacción fisicoquímica del metal con

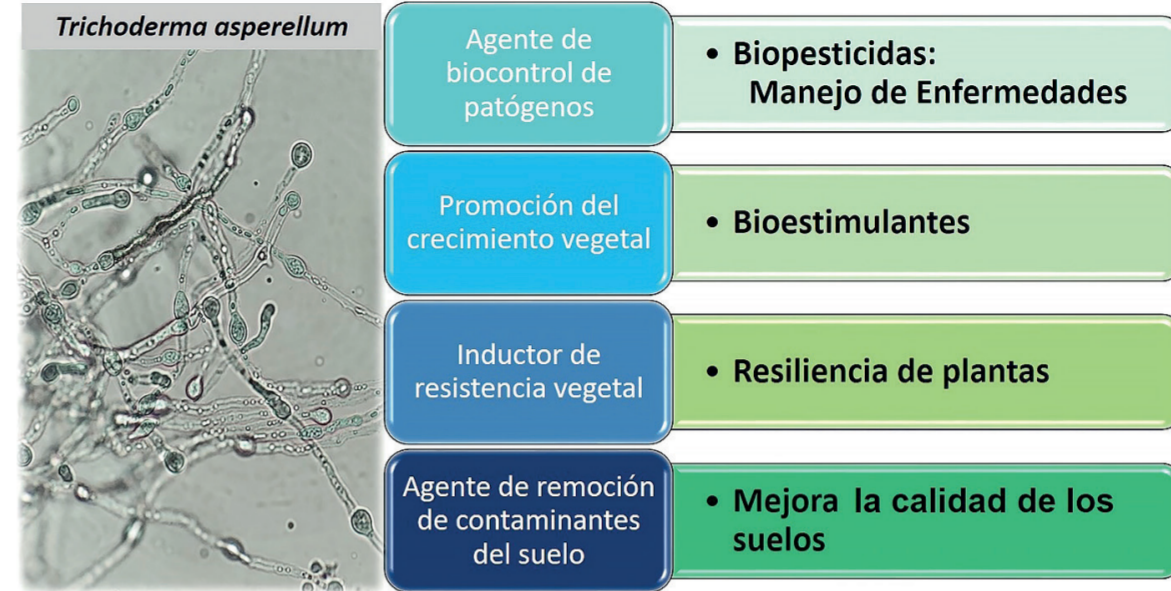


FIGURA 2. ACTIVIDAD biológica y usos de Trichoderma en la agricultura y en la remediación de suelos.

moléculas de la superficie celular. La bioacumulación es el transporte del metal por la membrana plasmática y su secuestro en el interior de la célula. En la biomineralización, los metales se precipitan para formar minerales, como son los carbonatos o sulfatos. La biotransformación es un proceso que involucra un cambio químico sobre el metal pesado, como por ejemplo en el estado de oxidación o metilación. Por estas propiedades, una línea de investigación importante es aislar e identificar bacterias y hongos de ambientes contaminados por metales pesados. La idea es que se usen en la restauración de suelos, para evitar que los metales afecten a las plantas, o bien, para evitar que lleguen, a través de los productos agrícolas, hasta los consumidores. Al respecto, diversas bacterias pertenecientes a los géneros Pseudomonas, Bacillus, y Azospirillum se reportan como agentes potenciales para la biorremediación de suelos. Pero, además su empleo como insumos biológicos en las labores agrícolas genera múltiples ventajas, ya que promueven el crecimiento de las plantas, controlan enfermedades y plagas, e inducen resistencia en las plantas a varios tipos de estrés abiótico (Saeed et al., 2021), es decir, el producido por factores ambientales.

¿Por qué los hongos Trichoderma son microorganismos que benefician al agricultor y pueden parti-

cipar en la restauración de suelos contaminados? Los hongos del género Trichoderma son un grupo que merece una atención especial, por la diversidad de actividades biológicas que realizan y que son presentadas en resumen en la Figura 2. Los hongos Trichoderma son agentes de biocontrol de patógenos en diferentes cultivos y se emplean en el manejo de enfermedades. Como Trichoderma promueve el crecimiento de las plantas, se usa como un bioestimulante. Además, es un hongo que actúa como inductor de resistencia en las plantas ante condiciones de estrés abiótico como la sequía y la salinidad, lo que repercute en la resiliencia en las plantas. La diversidad de especies de Trichoderma aisladas de las raíces de las plantas y de suelos agrícolas es amplia.

Los hongos Trichoderma tienen una alta capacidad de crecer y adaptarse a diferentes condiciones de pH, temperatura y humedad del suelo. También se reporta que hay especies de Trichoderma aisladas de suelos contaminados por metales pesados. Los estudios muestran que los hongos Trichoderma aislados de suelos y aguas contaminadas son tolerantes y participan en la biodegradación y la bioacumulación de metales como el cobre, cromo, plomo, níquel, zinc y cadmio. Por esto se propone a Trichoderma como un agente de remoción de metales contaminantes y para me-

orar la estructura de los suelos.

Por otra parte, el agricultor puede recibir diversos beneficios al aplicar Trichoderma en sus cultivos: aumentar la productividad, obtener plantas con mejores características de calidad y nutricionales, reducir el uso de agroquímicos que dañan al ambiente y la salud, y mejorar la estructura de los suelos.

En la interacción de Trichoderma con las raíces de las plantas, hay un beneficio mutuo. Trichoderma promueve el crecimiento de las raíces, ya que sintetiza compuestos similares a una hormona vegetal (ácido indol acético). Este cambio en las raíces favorece la absorción de nutrientes en las plantas. Mientras que el hongo también aumenta su crecimiento, ya que en las raíces encuentra un nicho seguro y los nutrientes para su crecimiento. Durante esta interacción planta y microorganismo, las plantas sintetizan compuestos químicos que participan en la defensa contra insectos depredadores y microorganismos patógenos. Un grupo de compuestos que son sintetizados por las plantas, son los compuestos fenólicos que tienen una función antioxidante. Dichos compuestos también protegen a la planta de la oxidación que se ocasiona por condiciones de estrés como la sequía, la salinidad y la exposición excesiva a metales pesados, como el cobre.

En Morelos, en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional

(CEPROBI-IPN) se desarrolla una línea de investigación enfocada a la caracterización de cepas de Trichoderma para su uso en el cultivo de la cebolla, que es de importancia agrícola para el estado de Morelos y a nivel nacional e internacional. Con esta perspectiva, en cultivos de cebolla se aisló una cepa de Trichoderma asperellum (T. asperellum) con la que se han obtenido resultados favorables. Al respecto, los estudios muestran que T. asperellum promueve el crecimiento de las plantas en cebolla cultivada en invernadero, como se ilustra en la Figura 3. Las plantas presentan hojas más largas, raíces más abundantes y bulbos más grandes en comparación a las plantas a las que no se les aplica T. asperellum. En el aspecto nutricional y para la salud de los consumidores, los bulbos de las plantas tratadas con T. asperellum, presentan un incremento en el contenido de compuestos fenólicos, que le confieren una mejor actividad antioxidante. La aplicación de T. asperellum en las plantas de cebolla, puede reducir hasta en un 50% el uso de fertilizantes químicos (Ortega-García et al., 2015) y es un agente de biocontrol de patógenos foliares y del bulbo de las plantas de cebolla (Luna-Vera et al., 2018, Zapata-Sarmiento et al., 2020). Por lo cual, se propone que T. asperellum es una alternativa de biocontrol y bioestimulante al uso de agroquímicos para el manejo del

cultivo de cebolla. Aunado a lo anterior, la cepa de T. asperellum es tolerante a fungicidas a base de cobre y su aplicación en las plantas de cebolla redujo los efectos tóxicos causados por el cobre en las plantas (Téllez-Vargas et al., 2017). Lo que sugiere que T. asperellum se podría usar en el manejo integrado de enfermedades de cebolla, lo que permitiría reducir el uso de fungicidas a base de cobre. Por todo esto, es de gran interés desarrollar proyectos que vinculen los resultados de nuestra investigación con los productores. Se tiene la oportunidad de que existan microorganismos, como es el caso de los hongos Trichoderma, que son parte de la comunidad de organismos del suelo, que benefician al ser humano ya que participan en forma activa en la conservación y restauración de los suelos.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

@uniodemorelos
 launion.com.mx
 C I E N C I A

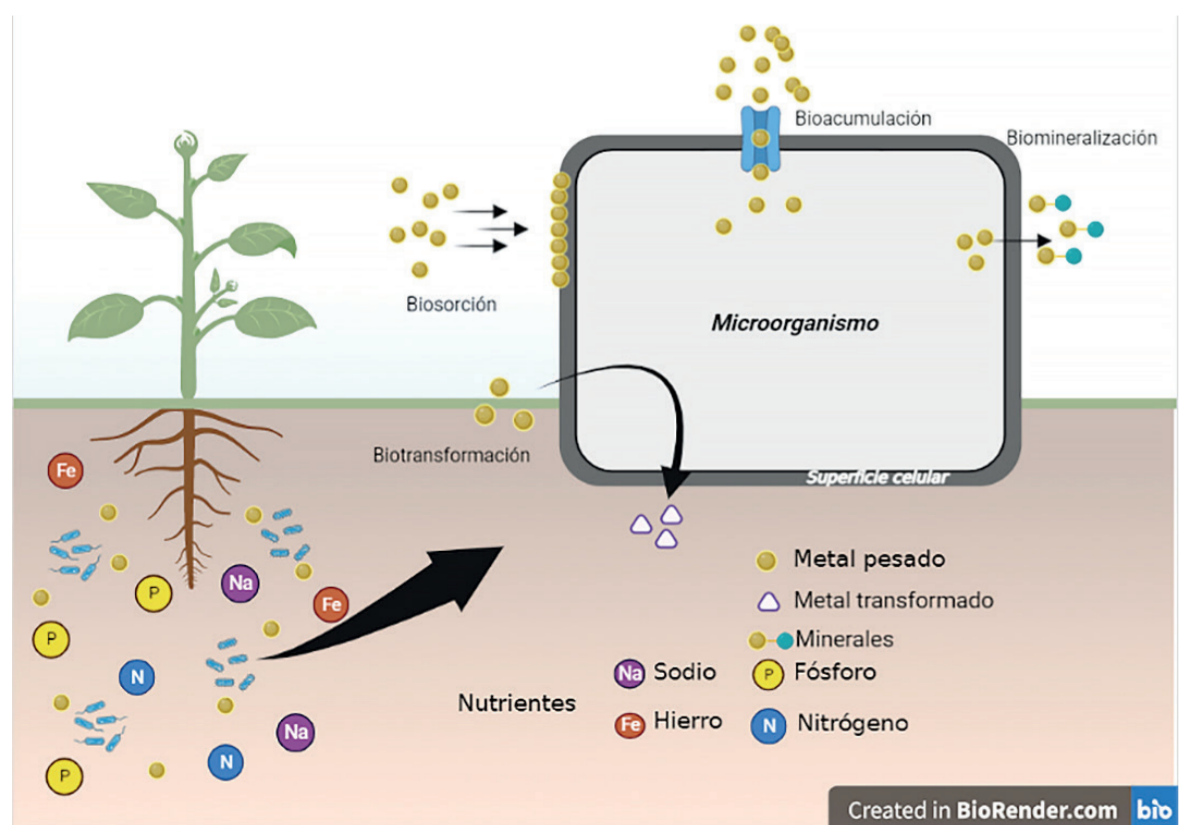


FIGURA 1. MECANISMOS fisiológicos y bioquímicos que tienen los microorganismos para tolerar los metales pesados en los suelos.

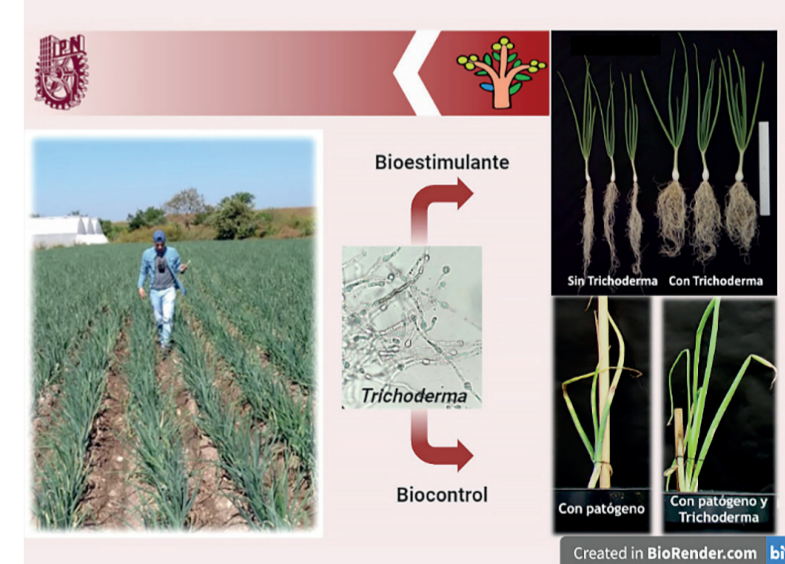


FIGURA 3. TRICHODERMA asperellum es un hongo aislado de cebolla cultivada en Morelos, con tolerancia a cobre, actividad bioestimulante y de biocontrol de patógenos de la cebolla.

BIBLIOGRAFÍA

- Community Research and Development Information System, Luxembourg, 2021. Transitioning toward sustainable, climate and ecosystem-friendly farming and food systems. <https://cordis.europa.eu/article/id/430692-agroecology-transitioning-toward-sustainable-climate-and-ecosystem-friendly-farming-and-food/es> (18 de Agosto, 2022).
- Luna-Vera, A.M., Palacios-Pala, E.F., Camacho-Luna, V., Solis-Centeno, Y., Bravo-Luna, L., Rodríguez-Monroy, M., Sepúlveda-Jiménez, G., 2018. Potential of Trichoderma asperellum TC3 in the control of onion diseases. *Frontera*

- Biocientífica 11, 232. <https://www.revistafonterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol11/pdf/Revista-Septiembre-Diciembre-2018.pdf>.
- Ortega-García, J. G., Montes-Belmont, R., Rodríguez-Monroy, M., Ramírez-Trujillo, J. A., Suárez-Rodríguez, R. and Sepúlveda-Jiménez, G. 2015. Effect of Trichoderma asperellum applications and mineral fertilization on growth promotion and the content of phenolic compounds and flavonoids in onions. *Scientia Horticulturae*, 195, 8-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815301461>
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kučerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., Naseem, M., Kintl, A., Ejaz, M., Naveed, M., Brtnický, M and Mustafa, A. 2021. Rhizosphere bacteria in plant growth promotion, biocontrol, and bioremediation of contaminated sites: a comprehensive review of effects and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), 10529. <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/19/10529>.
- Téllez-Vargas, J., Rodríguez-Monroy, M., López-Meyer, M., Montes-Belmont, R., Sepúlveda-Jiménez, G., 2017. Trichoderma asperellum ameliorates phytotoxic effects of copper in onion (*Allium cepa* L.). *Environmental Experimental Botany* 136, 85–93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847217300229>.
- Zapata-Sarmiento, D. H., Palacios-Pala, E. F., Rodríguez-Hernández, A. A., Melchor, D. L. M., Rodríguez-Monroy, M. and Sepúlveda-Jiménez, G. 2020. Trichoderma asperellum, a potential biological control agent of *Stemphylium vesicarium*, on onion (*Allium cepa* L.). *Biological Control*, 140, 104105. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964419303810>.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx