



Microplásticos contra hongos micorrízicos: una batalla silenciosa bajo nuestros pies

Jonás Álvarez-Lopezello^{1, *}
Sofía Becerril-González¹
Armando Sunny²

¹Universidad Intercultural del Estado de México, Libramiento Francisco Villa s/n, San Felipe del Progreso. Estado de México, 52060, México.

²Universidad Autónoma del Estado de México, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Facultad de Ciencias, Instituto Literario 100, Toluca, Estado de México, 50000, México.

*Autor para correspondencia: jonas.alvarez@uiem.edu.mx.

Bajo la superficie del suelo, plantas y hongos llevan millones de años sosteniendo una alianza vital que mantiene fértil la tierra y productivos nuestros cultivos. Hoy, esa alianza corre peligro por un invitado inesperado: "los microplásticos". Comprender cómo estos contaminantes alteran la vida del suelo es esencial para resguardar no solo la agricultura, sino también nuestra seguridad alimentaria futura.

Introducción



Por debajo de nuestros pies, lejos de la vista y aún más lejos de nuestra imaginación, se libra una batalla silenciosa. En ella participan dos protagonistas que rara vez aparecen juntos en una misma conversación, los hongos micorrízicos arbusculares y los microplásticos. Los primeros son aliados antiguos de las plantas, responsables de que los bosques respiren y de que los cultivos prosperen. Los segundos, fragmentos diminutos menores a 5 milímetros del plástico que usamos a diario, se han infiltrado sin pedir permiso hasta en los rincones más remotos del planeta. Hoy, esa antigua alianza subterránea enfrenta una amenaza moderna que podría alterar profundamente la fertilidad del suelo, el equilibrio de los ecosistemas y nuestra seguridad alimentaria (Figura 1).

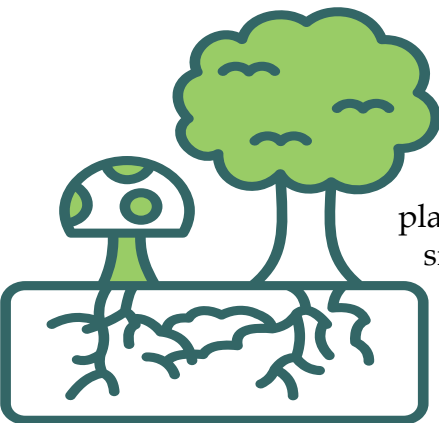


Figura 1. Primer contacto entre microplásticos (azul), considerados contaminantes emergentes, y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA; tonos café y amarillo), microorganismos clave para el funcionamiento de los ecosistemas. Los efectos directos de los microplásticos sobre las hifas micorrízicas, incluyendo presión física y química con potencial interferencia en la colonización radicular, exploración

del suelo e intercambio de nutrientes, así como posibles alteraciones en la producción de glomalina y proteínas asociadas, con implicaciones para la agregación y estabilidad del suelo. Los efectos indirectos derivados de cambios en la porosidad, conectividad del espacio poroso y estructura del suelo, que pueden modificar la funcionalidad micorrízica, la estabilidad de la red microbiana y la eficiencia del flujo de nutrientes. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.

Los hongos micorrízicos amenazados por los microplásticos

Los hongos micorrízicos arbusculares son hongos microscópicos que viven en una interacción positiva, denominada simbiosis, con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Esta alianza, que data de hace más de 400 millones de años cuando las plantas colonizaron la tierra, permite que las raíces absorban nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno de manera más eficiente. Además, esta simbiosis ayuda a las plantas a resistir mejor las condiciones adversas de sequía, salinidad o la presencia de contaminantes tóxicos, como el plomo y el cadmio. A cambio, los hongos micorrízicos reciben azúcares producidos por las plantas durante la fotosíntesis. Esta relación de beneficio mutuo ha sido descrita por muchos investigadores como una verdadera historia de amor. Sin embargo, esta cooperación ancestral se ve amenazada cuando el entorno se vuelve hostil, y hoy, esa amenaza proviene de un factor tan común como perturbador la creciente acumulación de microplásticos en los suelos.





¿Qué sucede cuando los microplásticos llegan al suelo?

Si bien la imagen más común de los microplásticos es la de partículas flotando en los océanos, investigaciones recientes revelan que en algunos sistemas agrícolas los suelos pueden contener hasta veinte veces más partículas plásticas que los ecosistemas marinos. Sin embargo, esta cifra no se aplica a todos los suelos agrícolas, ya que la cantidad de microplásticos varía considerablemente dependiendo del tipo de cultivo, las prácticas agrícolas y otros factores locales. Estos fragmentos provienen de diversas fuentes por ejemplo las bolsas, envases de agua y refrescos, fertilizantes, ropa sintética, neumáticos, calzado y otros productos, cosméticos y pastas dentales, de uso diario. Con el tiempo, estos microplásticos terminan invadiendo las ciudades, los campos de cultivo y los bosques, incluso en las áreas más remotas.



Una vez en el suelo, los microplásticos no permanecen inertes. Al contrario, actúan a modo de vectores de contaminantes, como metales pesados (elementos químicos naturales, como el plomo, el mercurio o el cadmio, que pueden ser tóxicos para los seres vivos), y plaguicidas. Además, afectan y modifican la estructura física del suelo, alteran la capacidad de retención de agua, la porosidad y la acidez (pH), y cambian drásticamente la dinámica de la vida microscópica que allí habita. Los hongos micorrízicos arbusculares no son inmunes a estos cambios. De hecho, se ha sugerido que se encuentran entre los organismos más vulnerables a este tipo de contaminación.

¿Cómo impactan los microplásticos a los hongos micorrízicos?

Los efectos de los microplásticos en los hongos micorrízicos arbusculares pueden clasificarse en dos categorías principales; los impactos directos, derivados del contacto físico y químico entre el plástico y el hongo, y los impactos indirectos, que alteran las condiciones generales del suelo y, por ende, la relación simbiótica entre la planta y el hongo. Los impactos directos se evidencian cuando ciertos plásticos comienzan a degradarse liberando compuestos tóxicos, que resultan perjudiciales para las plantas y la salud del suelo. Esto compromete la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares y disminuye su capacidad para colonizar el interior de las raíces de las plantas (Figura 2).

“Los hongos micorrízicos arbusculares son hongos microscópicos que viven en una interacción positiva, denominada simbiosis, con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres.”



Interacciones entre la planta, HMA y microplásticos en el suelo

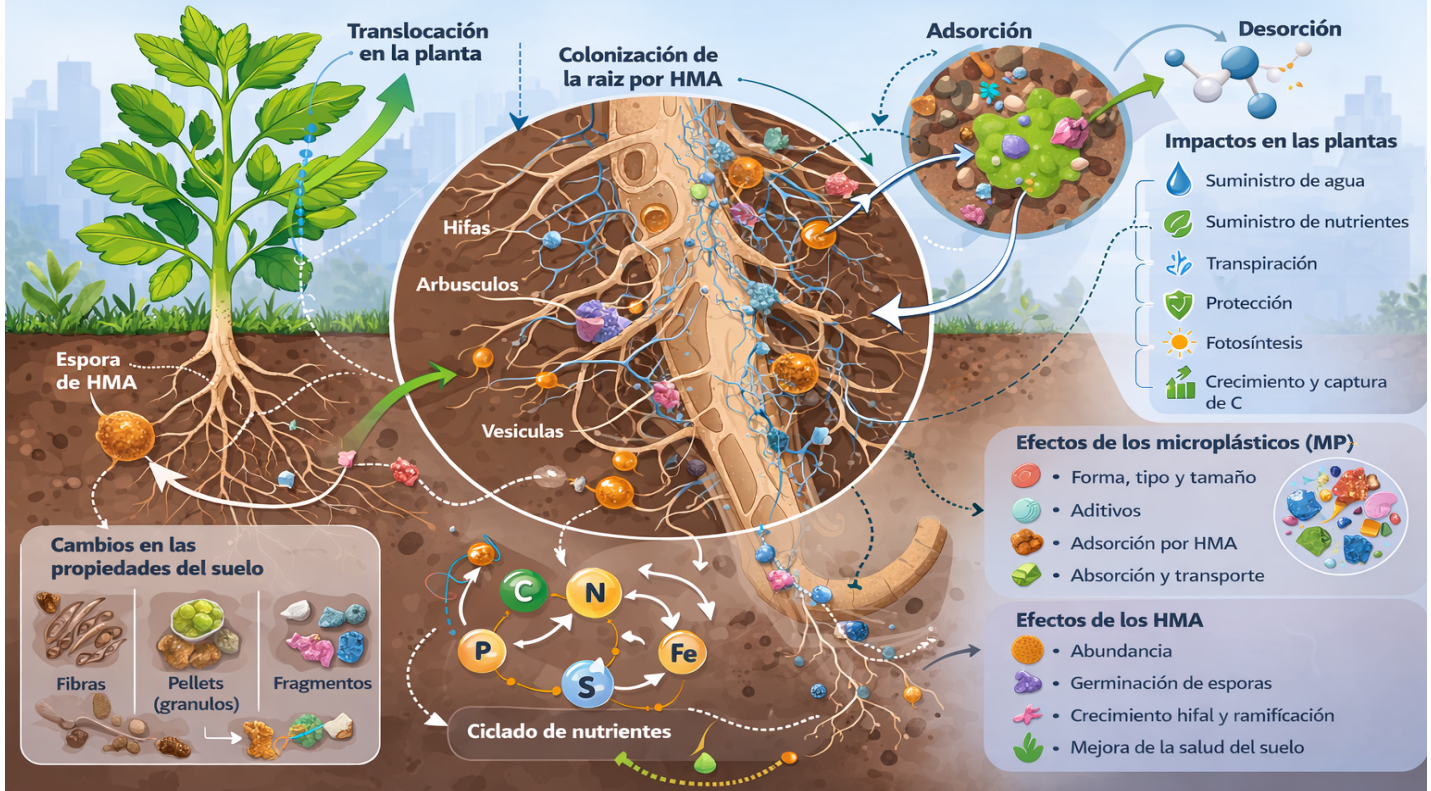


Figura 2. Los microplásticos (fibras, fragmentos y pellets) pueden alterar la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo y afectar la actividad microbiana, lo que podría generar efectos negativos en la diversidad, abundancia y colonización radicular de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Asimismo, los distintos tipos de microplásticos, sus propiedades y los factores de estrés ambiental influyen en la diversidad y abundancia de HMA, así como en las funciones del suelo. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.

En experimentos de laboratorio e invernadero se ha documentado que algunos microplásticos pueden absorber y retener nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo, limitando su disponibilidad tanto para las plantas como para los hongos micorrízicos, lo que perjudica la simbiosis. Otro efecto significativo es la alteración en la composición de las comunidades fúngicas. Si bien algunas especies de hongos son más resistentes como *Glomus* spp. o *Rhizophagus* spp. y logran adaptarse y proliferar en presencia de microplásticos, otras especies pueden desaparecer, resultando en una pérdida considerable de biodiversidad en el suelo.



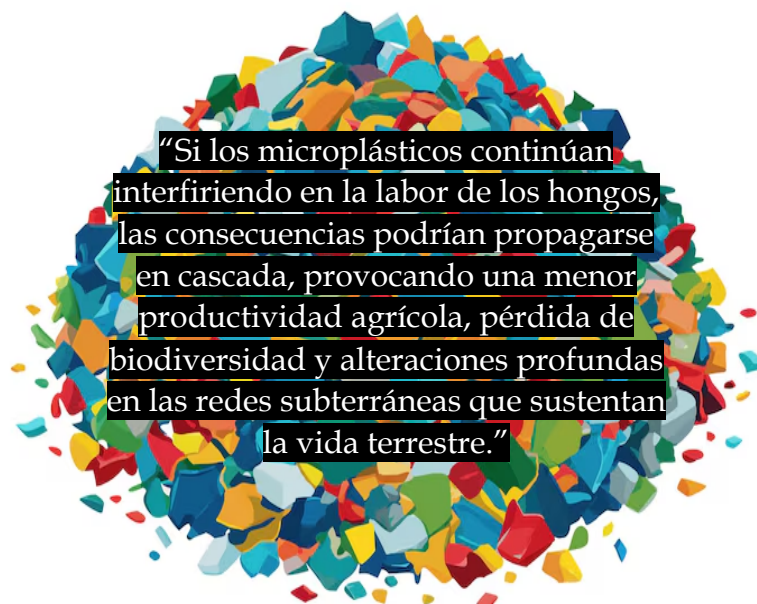
En cuanto a los impactos indirectos, estos surgen cuando los microplásticos provocan compactación y reducción de la porosidad en el suelo, dificultando el crecimiento de las hifas fúngicas que son filamentos diminutos, generalmente blanquecinos, que en conjunto forman el cuerpo del hongo. Además, modifican parámetros fisicoquímicos esenciales, como la acidez del suelo (pH), que es crucial para la salud de los hongos micorrízicos. Si la planta huésped se ve afectada por la presencia de microplásticos, la simbiosis se debilita. Una planta debilitada pierde su capacidad para mantener esta relación beneficiosa, lo cual es preocupante, ya que esto contribuye con la desintegración gradual de la intrincada red subterránea que sustenta los ecosistemas terrestres (Figura 2).



No todos los plásticos son iguales

La complejidad del problema radica en que los microplásticos no constituyen un conjunto homogéneo. Su impacto varía según el tipo de polímero (plástico), los aditivos presentes, su forma física -fibras, gránulos, películas o fragmentos-, su tamaño y el tiempo de exposición en el ambiente.

Estas diferencias determinan cómo los microplásticos modifican algunas propiedades del suelo, incluyendo la retención de agua, la estructura de los agregados y el pH. Por ejemplo, las fibras pueden aumentar la retención de humedad, pero reducen la aireación, mientras que los fragmentos rígidos favorecen un drenaje más rápido, pero pueden limitar la expansión de las hifas fúngicas.





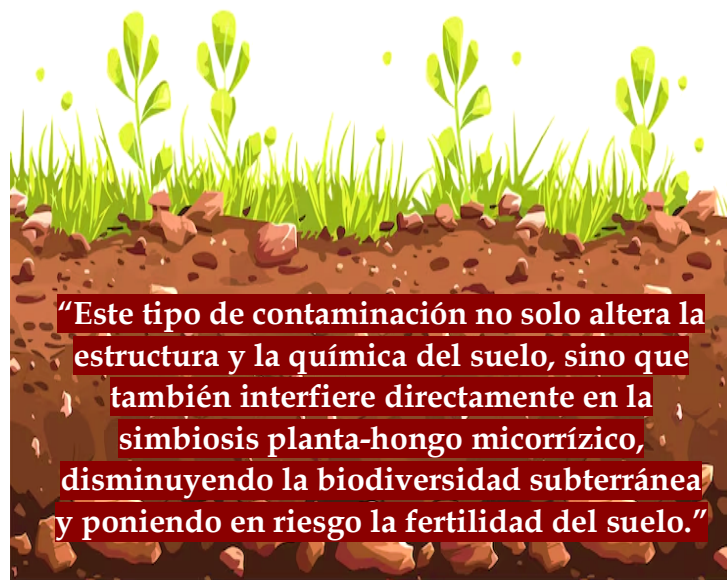
A medida que los plásticos se degradan en el suelo por la radiación UV, la humedad, los cambios de temperatura y la actividad microbiana, liberan aditivos y compuestos que se incorporan en la matriz del suelo. Estos interactúan con los microorganismos, generando efectos tóxicos que inhiben el crecimiento microbiano, alteran la estructura de las comunidades bacterianas y fúngicas, e interfieren en procesos clave como la descomposición de materia orgánica y la transformación de nutrientes esenciales, lo que afecta la fertilidad del suelo.



Los plásticos más tóxicos liberan sustancias que modifican las propiedades físicas y químicas del suelo, afectando negativamente a los hongos micorrízicos. A pesar de esto, muchos estudios siguen agrupando a todos los microplásticos como iguales, lo que limita la comprensión de los mecanismos específicos de daño y dificulta el desarrollo de soluciones eficaces.

¿Por qué deberíamos prestar atención a esta problemática?

Los hongos micorrízicos son elementos clave en el funcionamiento de los suelos y los ecosistemas. Sin su presencia la fertilidad disminuye, los cultivos enferman más rápido y los ecosistemas se desestabilizan. Si los microplásticos continúan interfiriendo en la labor de los hongos, las consecuencias podrían propagarse en cascada, provocando una menor productividad agrícola, pérdida de biodiversidad y alteraciones profundas en las redes subterráneas que sustentan la vida terrestre. Lo más preocupante es que la contaminación por microplásticos actualmente no se limita únicamente a los suelos, mares y ríos. Se ha detectado la presencia de microplásticos en algunos tejidos (hojas, tallos y raíces) de cultivos comestibles de gran consumo en el mundo y en México, como el maíz y el tomate. Por lo tanto, se trata de un problema que abarca dimensiones agrícolas, ecológicas y humanas.





¿Qué estrategias de mitigación se están explorando actualmente?

Aunque muchas de las investigaciones actualmente se encuentran en etapas iniciales exploratorias y de diagnóstico, ya se han propuesto diversas estrategias de mitigación. Una de ellas es la adición de enmiendas orgánicas al suelo, como las compostas libres de microplásticos, que podrían contribuir a reducir la toxicidad y proteger a los hongos micorrízicos. Además, se está evaluando la capacidad del microbioma del suelo para amortiguar y modular los efectos de estos contaminantes emergentes, mediante la reorganización de la comunidad microbiana (Figura 3), la recuperación de la agregación del suelo y el restablecimiento de procesos clave como el ciclo del carbono y el fósforo, así como las retroalimentaciones planta-suelo.



Figura 3. Representación metafórica de la resiliencia del ecosistema edáfico basada en la acción colectiva de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA; tonos café y amarillo) y otros microorganismos del suelo frente a la presión ejercida por los microplásticos (azul). La escena ilustra la capacidad del microbioma del suelo para amortiguar y modular los efectos de estos contaminantes emergentes mediante la reorganización de la comunidad microbiana, la recuperación de la agregación del suelo y el restablecimiento de procesos clave como el ciclado del carbono y el fósforo y las retroalimentaciones planta-suelo. Imagen generada con inteligencia artificial mediante ChatGPT (OpenAI) y posteriormente editada por JAL.



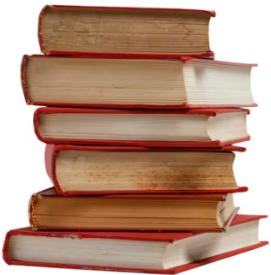
Otra propuesta se ha centrado en el desarrollo de plásticos menos agresivos, que incluyan materiales verdaderamente biodegradables y libres de aditivos tóxicos que puedan afectar a los microorganismos del suelo. Además, se sigue insistiendo en la necesidad de realizar estudios a largo plazo en condiciones de campo, ya que es fundamental comprender estos efectos más allá del laboratorio, en ecosistemas reales donde interactúan múltiples factores. En México, se están iniciando investigaciones sobre este tema, tanto en suelos agrícolas como forestales. La vasta diversidad microbiana y vegetal del país convierte este desafío en una oportunidad única para generar conocimiento local con un impacto global significativo.

Conclusiones

Los hongos micorrízicos arbusculares son aliados esenciales para la salud del suelo y de la vegetación. Sin embargo, su delicado equilibrio se ve amenazado por la creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas terrestres. Este tipo de contaminación no solo altera la estructura y la química del suelo, sino que también interfiere directamente en la simbiosis planta-hongo micorrízico, disminuyendo la biodiversidad subterránea y poniendo en riesgo la fertilidad del suelo. A medida que profundizamos en esta problemática, se hace evidente que no todos los plásticos tienen el mismo impacto y que se requieren estudios más específicos y soluciones urgentes. La buena noticia es que aún estamos a tiempo de actuar: evitar o reducir el uso de plásticos de un solo uso y promover prácticas agrícolas sostenibles son pasos concretos para proteger esta red invisible que sustenta la vida. Aunque el desafío de la contaminación por microplásticos es grande, no es insuperable; con compromiso y una nueva forma de entender nuestra relación con la Tierra, podemos cuidar los suelos, los microorganismos que la habitan y, con ello, nuestra propia salud y el futuro del planeta.



Literatura recomendada



- Álvarez-Lopezello, J. y Chávez-García, E. (2022). Microplásticos en el Antropoceno: contaminación y efectos en el suelo. Desde el Herbario CICY, 14, 212-217.
- Álvarez-Lopezello, J., Cruz-Martínez, H., González-Méndez, B., Chávez-García, E., y Sunny, A. (2025). Deciphering the effects of microplastics on arbuscular mycorrhizal fungi: Current knowledge and future research perspectives. Applied Soil Ecology, 215, 106477.
- Álvarez-Lopezello, J., Santiago-Mejía, H. y Sunny, A. (2025). Antroposoles: la historia poco conocida de la humanidad en el suelo. Desde el Herbario CICY, 17, 11-17.

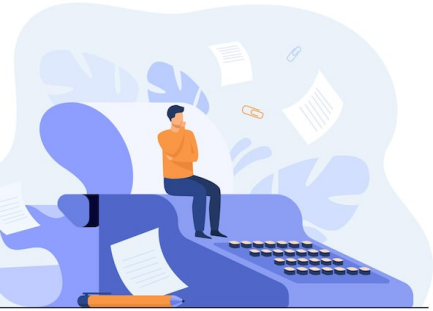


Semblanzas de autores

Jonás Álvarez Lopezello. Profesor de la Maestría en Gestión de la Innovación Rural Sustentable de la Universidad Intercultural del Estado de México. Su interés se centra en la ecología del suelo, la interacción entre plantas y hongos micorrízicos, la restauración ecológica y la contaminación de suelos por microplásticos.

Sofía Becerril-González. Ingeniero en Biotecnología. Actualmente realiza una estancia de investigación, financiada por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), en la Universidad Intercultural del Estado de México, enfocada en comprender el efecto de la fertilización sobre la diversidad de los hongos de micorriza arbuscular.

Armando Sunny. Profesor-investigador en el Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas de la UAEMéx. Sus líneas de investigación analizan cómo las características del paisaje y el cambio global afectan la biodiversidad en ambientes antropizados, mediante estudios de genética del paisaje, modelado de nicho ecológico y conectividad del paisaje.



Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>