

MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Edith Ramírez-Segura¹, José Alberto Ramos-Zapata², Valeria Carreón-Luna³, Ana Carolina Guerrero-Chávez⁴, Uriel Solís-Rodríguez^{1*}

¿Qué son las micorrizas?

Las micorrizas son una asociación simbiótica, generalmente mutualista, entre hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares. En esta simbiosis, el hongo facilita la absorción de agua y nutrientes del suelo, poniendo a disposición de la planta elementos esenciales para su crecimiento, además de ofrecer protección contra algunas enfermedades radiculares causadas por bacterias y hongos fitopatógenos. A cambio, la planta le suministra al hongo los azúcares y el espacio dentro de la raíz que necesita para sobrevivir y completar su ciclo de vida (Smith y Read, 2008).

Existen varios tipos de micorrizas en los ecosistemas terrestres, entre los que destacan las ectomicorrizas, la micorriza ericoide, las orquidoides y la micorriza arbuscular. Estas últimas son las más comunes en los ecosistemas tropicales y se establece entre hongos microscópicos del subfilo Glomeromycotina (Spatafora et al. 2016) y la mayoría de las plantas, presentando una relación especialmente estrecha con plantas herbáceas, como los pastos. En la micorriza arbuscular, el hongo penetra en las células de la raíz formando estructuras especializadas llamadas arbúsculos, a través de las cuales se realiza el intercambio de nutrientes (Figura 1).

1Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar, Ojuelos, Jalisco, México. **2**Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Ecología Tropical, Carretera Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México. **3**UNIVER, URA, Sede Jalostotitlán- San Miguel km 1, Col. Lagos del Sol Jalostotitlán, Jalisco, México. **4**Facultad de Estudios Superiores Iztacala - UNAM Avenida de los Barrios Número 1, Colonia Los Reyes Ixtacala, Tlalnepantla, Estado de México, México. Correspondencia: lxagnr@gmail.com



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

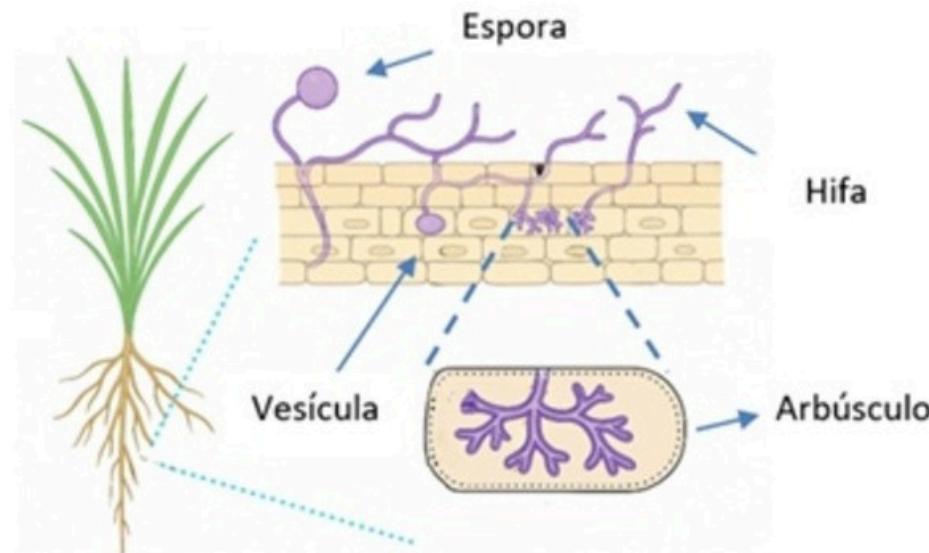


Figura 1. Esquema de la simbiosis micorrízica arbuscular en un pasto (Imagen generada con DALL-E de OpenAI).

Otras estructuras fúngicas se desarrollan dentro y fuera de las raíces de las plantas que sirven como almacenamiento de nutrientes (vesículas), o bien para su reproducción (esporas) y crecimiento (hifas), estas hifas permiten al hongo explorar grandes volúmenes de suelo más allá del alcance de las raíces, conectando incluso a diferentes plantas entre sí mediante redes subterráneas (Smith y Read, 2008). Por otro lado, las esporas, además de desempeñar funciones clave en el establecimiento y funcionalidad de la simbiosis, nos permiten identificar hongos microscópicos con técnicas sencillas de laboratorio.

Beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares para las plantas

La simbiosis micorrízica arbuscular representa una estrategia biológica efectiva para favorecer el crecimiento vegetal y la adaptación a condiciones ambientales adversas (Martínez y Pugnaire, 2009). Esta asociación beneficia tanto a especies silvestres como cultivadas, mejora la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y fortalece la tolerancia al estrés biótico y abiótico.

Por ejemplo, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) incrementan el índice de clorofila en las plantas, el contenido foliar de nutrientes, confieren tolerancia a la salinidad e incluso, favorecen la tolerancia a la sequía mediante la alteración de los perfiles hormonales (Ruiz-Lozano et al. 2016).

Existe evidencia de que los HMA favorecen el crecimiento radicular y mejoran la producción de biomasa aérea; lo que resulta en plantas más vigorosas y tolerantes a los daños causados por plagas (Gañán et al. 2011). Estos hongos no solo optimizan el acceso a recursos esenciales, sino que también participan en la regulación del metabolismo vegetal y en la protección celular frente a daños oxidativos provocados por las especies reactivas del oxígeno que se generan en las células en respuesta al estrés de la planta. Además, los HMA juegan un papel esencial en la salud del suelo ya que el micelio extraradical promueve el desarrollo de una microbiota más diversa, capaz de desempeñar una mayor variedad de funciones ecosistémicas en beneficio tanto del suelo como de las plantas en las que crecen. En la Figura 2 se resumen los principales beneficios de esta simbiosis, destacando su importancia en el desarrollo de estrategias productivas más sostenibles y resilientes.



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Aumentan el área de absorción radicular lo cual se traduce en una mayor absorción de nutrientes.

El reducido diámetro de las hifas facilita el acceso a depósitos de agua presente en los microporos del suelo.

Producen ácidos orgánicos y hormonas que regulan el crecimiento vegetal y el estrés abiótico.

Los ácidos orgánicos que producen los HMA ayudan a movilizar nutrientes poco disponibles.

Reducen el daño celular en las plantas por acción de radicales libres gracias a la regulación de enzimas antioxidantes.



El micelio extraradical alberga microorganismos benéficos como bacterias solubilizadoras de fósforo entre otras bacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Mejoran la tolerancia de las plantas al estrés causado por sequías, salinidad y temperaturas extremas.

Regulan el microbioma edáfico, lo cual promueve una mayor diversidad biológica y funcional del suelo.

Figura 2. Importancia de la micorriza arbuscular en las plantas (elaboración propia).

Beneficios de la micorriza arbuscular para la salud del suelo

En el suelo los HMA desempeñan un papel clave para mantener su salud y funcionalidad, especialmente en contextos donde el recurso edáfico ha sido degradado, salinizado, contaminado o sometido a condiciones de sequía extrema (Asmelash et al. 2016). El micelio extraradical de los HMA mejora la estructura del suelo al promover su agregación y porosidad, lo que favorece la retención de humedad y el intercambio gaseoso necesarios para soportar el adecuado crecimiento vegetal (Rillig y Mummey, 2006). Además, el micelio de los HMA produce una proteína con propiedades cementantes (adhesivas), llamada glomalina, que facilita la formación de agregados del suelo estables en el agua (Wright y Upadhyaya, 1996), contribuye a mejorar la estructura edáfica y favorece el desarrollo radicular de las plantas (Figura 3).



Figura 3. Agregados del suelo adheridos a una raíz de algodón silvestre inoculada con HMA (fotografía: Solís-Rodríguez, U.).



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Al favorecer la supervivencia y el establecimiento de las plantas, la simbiosis micorrízica arbuscular contribuye a reducir la dependencia a fertilizantes sintéticos (Qian et al. 2024), lo cual, se traduce en menores costos de producción y una disminución del riesgo de contaminación de suelos y cuerpos de agua a causa de su lixiviación. Por ello, la inclusión de esta simbiosis benéfica puede resultar valioso en la rehabilitación de tierras degradadas en sistemas de producción ganadera y agrícola.

Por otro lado, desde el punto de vista del ciclo del carbono, los HMA también cumplen una función destacada, al recibir hasta un 20 % del carbono fotosintético de la planta (Jakobsen y Rosendahl, 1990), estos hongos incorporan dicho carbono a su biomasa y lo mantiene en el suelo a través del micelio extraradical (Figura 4). Este proceso contribuye a la acumulación de materia orgánica y a la estabilización del carbono en el suelo, favoreciendo su fertilidad a largo plazo y ayudando a mitigar el cambio climático mediante la estabilización de carbono en el suelo. En este sentido, los HMA son aliados importantes en la restauración ecológica y el desarrollo de prácticas agrícolas y ganaderas más sustentables.

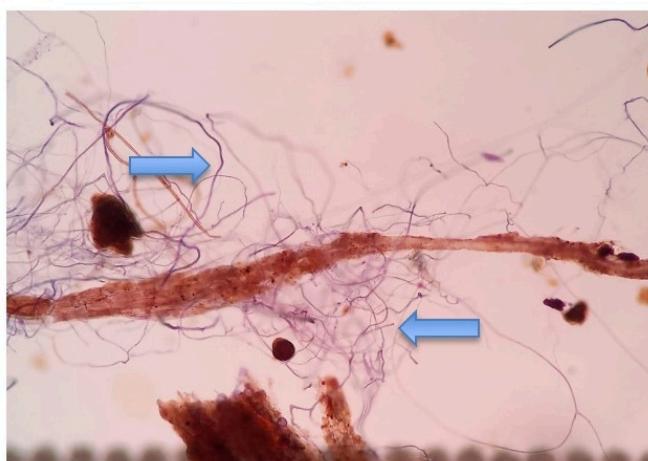


Figura 4. Imagen del micelio extraradical de HMA aislado del suelo rizosférico del algodón silvestre usando microscopio óptico 10 X (fotografía: Solís-Rodríguez, U.).

Pastizales, sequías y micorrizas

México cuenta con diversas regiones áridas y semiáridas que incluyen desiertos, matorrales y pastizales, los cuales se distribuyen en una franja de norte a sureste del territorio nacional, cubriendo aproximadamente 66% de la superficie del país (Jurado-Guerra et al. 2021; SEMARNAT, 2018). Dentro de las regiones áridas y semiáridas más destacadas de México se encuentra el desierto Sonorense que se extiende por partes de los estados de Sonora, Baja California Norte y Sur; por otra parte, el desierto Chihuahuense que se extiende por los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí, con porciones menores en Querétaro, Guanajuato e Hidalgo. De igual forma, la región del Altiplano Mexicano abarca principalmente los estados del centro y norte del país, incluyendo San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Durango, Jalisco, Guanajuato y Querétaro. Este último se extiende hacia el sur, abarcando también porciones del Estado de México, Tlaxcala, Puebla e Hidalgo, así como algunas áreas en Coahuila y Chihuahua. Finalmente, la región del Valle de México se ubica en la parte central del territorio mexicano y contempla los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala; es por lo anterior que México destaca debido a su alta diversidad climática, topográfica y vegetal (Jurado-Guerra et al., 2021).

La región árida y semiárida de México, se caracteriza por presentar condiciones climáticas extremas. Actualmente, estas regiones enfrentan numerosos desafíos debido a la desertificación y degradación provocada por el uso de malas prácticas en los agostaderos y pastizales. Esta situación amenaza la biodiversidad, la sostenibilidad de la producción ganadera, la cobertura vegetal y la salud del suelo, lo que a su vez impacta negativamente en la calidad de vida de las comunidades locales y el hábitat de diferentes especies de flora y fauna silvestres.



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Como resultado, en las últimas cinco décadas, las regiones áridas y semiáridas de México han experimentado una pérdida estimada del 14% de los pastizales y 26% de los matorrales, lo que equivale a una pérdida de entre 9.77 y 40.95 millones de hectáreas de pastizales y matorrales, respectivamente (Becerril-Pina et al. 2015; SEMARNAT, 2018).

Algunas especies de gramíneas que predominan en las zonas áridas y semiáridas de México son *Bouteloua gracilis* (navajita azul), *B. curtipendula* (banderita), *B. eriopoda* (navajita negra) y *Aristida adscensionis* (zacate tres barbas), entre otras. Estas especies resisten sequías prolongadas y niveles altos de salinidad en el suelo, estos estresores abióticos provocan una serie de alteraciones fisiológicas en las plantas debido a la deshidratación de los tejidos causada por el desequilibrio entre el agua absorbida por la raíz y la que se transpira por las hojas.

Sin embargo, se ha observado que algunas de estas especies como es el caso del pasto navajita establecen una interacción simbiótica con HMA posiblemente para aliviar este tipo de estrés (Figura 5). Las plantas pueden reducir la pérdida de agua al establecer una interacción con los HMA (Augé, 2001), por un lado, las plantas micorrizadas tiene una capacidad mayor de absorción de agua que las no micorrizadas debido al incremento del área de exploración del micelio extraradical. Por otro lado, los HMA influyen positivamente en el ajuste osmótico al favorecer la acumulación en las plantas de compuestos conocidos como osmorreguladores (Ruiz-Lozano et al. 2016). Ambos mecanismos actuando de manera sinérgica pueden contribuir a evitar una disminución de la actividad fotosintética, alteraciones en la translocación de nutrientes y fotoasimilados, así como la pérdida de rendimiento productivo .



Figura 5. Hifas y vesículas de HMA en raíces de *Bouteloua gracilis* (fotografía: Solís-Rodríguez, U.).



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Diversos estudios han demostrado que la micorriza arbuscular desempeña un papel clave en la restauración de pastizales afectados por el estrés hídrico y la degradación del suelo (Emam, 2016). En estos ecosistemas, la simbiosis entre hongos micorrízicos y gramíneas nativas contribuye a mejorar la eficiencia en la absorción de agua, estabilizar el carbono en el suelo y favorecer el establecimiento de comunidades vegetales más resilientes (Rillig et al. 2019; Yang et al. 2022). No obstante, la recuperación de estos beneficios depende en gran medida del manejo del suelo. Prácticas como la sobreexplotación ganadera o el uso excesivo de fertilizantes fosfatados pueden reducir drásticamente la colonización micorrízica, limitando así la capacidad de los HMA para sostener la productividad y funcionalidad del ecosistema (Marques et al. 2017). Por ello, la conservación y el fomento de esta simbiosis en los pastizales no solo representan una estrategia ecológica viable, sino también una herramienta útil para avanzar hacia una ganadería sustentable en zonas áridas y semiáridas de México.

Conclusión

La micorriza arbuscular representa una herramienta biológica con gran potencial para enfrentar los desafíos que amenazan a los pastizales en México, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, donde la degradación del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y el uso intensivo del territorio han mermado su productividad y biodiversidad. Gracias a su capacidad para mejorar la absorción de agua y nutrientes, modular el estrés vegetal y mejorar la estructura del suelo, los HMA pueden desempeñar un papel fundamental en el establecimiento y la recuperación de las comunidades de pastos en estos ecosistemas. Además, su participación en la captura de carbono y en la formación de suelos más saludables los convierte en aliados clave para enfrentar el cambio climático.

Promover su presencia mediante prácticas sostenibles y el uso estratégico de inoculantes micorrízicos puede marcar una diferencia en los esfuerzos de restauración ecológica de los pastizales, beneficiando no solo al suelo y a las plantas, sino también al bienestar de las comunidades humanas que dependen de estos ecosistemas.



MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

Referencias

- Asmelash, F., Bekele, T., Birhane, E. (2016) The Potential Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Restoration of Degraded Lands. *Front. Microbiol.* 7:1095. <https://doi:10.3389/fmicb.2016.01095>
- Becerril-Pina, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.006>
- Emam, T. (2016). Local soil, but not commercial AMF inoculum, increases native and non-native grass growth at a mine restoration site. *Restoration Ecology*, 24(1), 35-44. <https://doi.org/10.1111/rec.12287>
- Gañán, L., Bolaños-Benavides, M. M., Asakawa, N. (2011). Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas de plátano con y sin presencia de nematodos fitoparásitos. *Acta Agronómica*, 60: 297–305.
- Jakobsen, I., Rosendahl, L. (1990). Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist*, 115(1), 77-83. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00924.x>
- Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12, 261–285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>
- Marques, A. C. R., de Oliveira, L. B., de Quadros, F. L. F., Jacques, R. J. S., Trindade, J. P. P., da Silva Volk, L. B. (2017). The effects of phosphorous fertilization on the mycorrhizal colonization of native forage grasses in the pampa biome. *Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária*, 1(1), 58-64.
- Martinez , L. B., Pugnaire, F. I. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, 18(2): 44–54.
- Qian, S., Xu, Y., Zhang, Y., Wang, X., Niu, X., Wang, P. (2024). Effect of AMF inoculation on reducing excessive fertilizer use. *Microorganisms*, 12(8), 1550. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081550>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, T. R., Degrune, F., Hohmann, P., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., van der Heijden, M. G. A., Yang, G. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 222(3), 1171–1175. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Rillig, M. C., Mumme, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New phytologist*, 171(1), 41-53. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x>
- Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, A. M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J. M., Ruyter-Spira, C., López-Ráez, J. A. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant, Cell y Environment*, 39: 441–452. <https://doi.org/10.1111/pce.12631>
- SEMARNAT. (2018). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe de la situación del medio ambiente en México. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Smith, S. E., Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press.
- Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T. Y., O'Donnell, K., Roberson, R. W., Taylor, T. N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M. M., Stajich, J. E. (2016). A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, 108(5), 1028–1046. <https://doi.org/10.3852/16-042>
- Yang, Y., He, M., Yang, J., Yu, L., Liu, D., Liu, Y. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant drought tolerance by altering soil carbon and microbial community in grasslands. *Science of The Total Environment*, 830, 154725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154725>



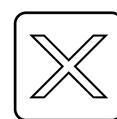
MICORRIZAS, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE PASTIZALES EN SUELOS DEGRADADOS

El contenido de este artículo es responsabilidad de el o los autores del mismo.

Fecha de recepción del artículo: 2 de agosto de 2025

Fecha de publicación del artículo: 9 de diciembre de 2025

Te invitamos a que te unas a nuestras redes sociales:



IYRP NORTH AMERICA
INTERNATIONAL YEAR OF RANGELANDS AND PASTORALISTS

