

EL EFECTO Y LA APORTACIÓN DE LA MICORRIZA EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

*Armando Canchani Viruet¹, Robert Espaillat Pérez² &
Jonathan Alfredo López-Colón, MSEM^{2,3}*

Recibido el 11 de abril de 2018; aceptado 19 de septiembre de 2018

Resumen - El aumento poblacional requiere de formas innovadoras y sustentables para satisfacer la demanda de alimentos. Con el creciente uso de los recursos naturales, el desequilibrio en los ecosistemas y el aumento en condiciones adversas a la salud, las prácticas tradicionales de la agricultura ya no son una opción. Una estrategia utilizada es aprovechar los microorganismos que se encuentran naturalmente dentro y alrededor de las raíces de las plantas. Estos microorganismos aportan a la absorción de nutrientes, como es el caso de los hongos micorrízicos arbusculares (MA). Las micorrizas son una asociación simbiótica entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas. Aunque las micorrizas arbusculares han existido durante millones de años, el uso de este hongo en un sistema agrícola no se ha estudiado hasta muy recientemente. En esta revisión de literatura, documentamos el efecto y las aportaciones de la micorriza en el ecosistema y en los cultivos agrícolas, así como las técnicas de la utilización de micorrizas para una agricultura sostenible.

Palabras claves: micorrizas, agricultura sustentable, simbiosis, interacciones, micorremediación

Abstract - Population growth requires to find innovative and sustainable ways to satisfy the demand for food. In front of natural resources demand, ecosystems disequilibrium and increasing of health conditions, the traditional practices of agriculture are no longer an option. One strategy used is to take advantage of the microorganisms that are naturally found in and around the roots of plants. These microorganisms contribute to the absorption of nutrients, as is the case of arbuscular mycorrhizal fungi (AM). Mycorrhizae are a symbiotic association between soil fungi and plant roots. Although arbuscular mycorrhizae have existed for millions of years, the use of this fungus in an agricultural system has not been studied until recently. In this review, we document the effect and contributions of mycorrhizae on the ecosystem and on agricultural crops, as well as the techniques of mycorrhizae use for sustainable agriculture.

Keywords: mycorrhizae, sustainable agriculture, symbiosis, interactions, mycoremediation

¹ Escuela de Ciencias, Tecnología y Ambiente, Universidad Metropolitana; armando.canchani@gmail.com

² Departamento de Ciencias Naturales, Universidad del Sagrado Corazón; robert.espaillat@upr.edu

³ Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras; jonathan.lopez30@upr.edu

Introducción

El Instituto Internacional de Investigación de Política Alimentaria de Washington ha determinado que la producción de alimentos tendrá que aumentar un 70% para apoyar el crecimiento poblacional a nivel mundial de 7 billones a aproximadamente 9 billones para el 2050 (Leakey, 2014). La situación se complica cuando consideramos el deterioro de la productividad del suelo, específicamente en áreas tropicales y subtropicales. Esto se da como consecuencia de la deforestación y la transformación de los suelos en las ciudades. Esta situación representa un desafío para los agricultores, alrededor del mundo, debido a que tienen que aumentar la producción con menor disponibilidad de recursos como fuentes de agua, terreno, energía y fertilizantes (Leakey, 2014). Como parte de la problemática, se suma la pérdida de hábitat, la fragmentación de terrenos, la introducción de nuevas especies y cambios en la vegetación. Se añaden las sustancias bioquímicas utilizadas para la fertilización agrícola que ocasionan una alteración a los ciclos de transporte de la materia, lo cual tiene efectos negativos para el ambiente (Grau et al., 2003). Por su parte, el desarrollo agrícola es un factor que contribuye al cambio climático.

Para contrarrestar estos impactos de la agricultura, las discusiones a nivel internacional se enfocan en mejorar la productividad del suelo utilizando biotecnología, modificaciones genéticas o a través de técnicas agrícolas que incluyen materiales orgánicos o prácticas agroecológicas para restablecer la productividad, y reducir la pérdida de biodiversidad por causa de depredadores, parásitos y enfermedades que les dan a las plantas de cultivo. Una de las estrategias utilizadas para mejorar la calidad y productividad del suelo son las micorrizas. Las micorrizas se encuentran debajo de la tierra y juegan un papel importante en los ecosistemas, ya que forman una relación simbiótica y mutualista entre las raíces de las plantas y los hongos, como lo son las micorrizas arbusculares (AMF). Se considera una relación simbiótica, porque la micorriza funciona como un fertilizante que establece y mantiene los ecosistemas transportándole nutrientes, minerales y agua a las plantas (McCormick et al., 2012). Es conocido que las plantas vasculares en su mayoría han coevolucionado asociadas con los hongos micorrízicos (Andrade-Torres, 2010). Además, se entiende que la relación simbiótica de las micorrizas, específicamente las arbusculares, representan una evolución convergente entre las plantas y varios linajes de hongos (Schubler, Schwarzott, & Walker, 2001).

Visualizando la importancia de las micorrizas, no tan solo en los ecosistemas sino también en la agricultura como un beneficio para la sociedad, nos preguntamos: (a) ¿Cuál sería el efecto de la utilización de hongos micorrízicos como fertilizantes en la agricultura? (b) ¿Cómo la micorriza aporta a la resiliencia del suelo y el

desarrollo agrícola?, y si (c) ¿Podría utilizarse la micorriza para restablecer terrenos degradados? En esta revisión de literatura, documentamos el efecto y las aportaciones de la micorriza en el ecosistema y en los cultivos agrícolas, así como las técnicas de la utilización de micorrizas para una agricultura sustentable.

Efecto de la micorriza en el ecosistema y en la agricultura

El 80% de las plantas en el planeta Tierra se benefician de la influencia productiva que les otorgan las micorrizas (Berruti, Lumini, Balestrini, & Bianciotto, 2016). A través del tiempo, los estudios micológicos y ecológicos han probado que los hongos micorrízicos llevan a cabo una parte importante de los ciclos bioquímicos, como el ciclo de carbono, el ciclo de nitrógeno y el ciclo de fósforo, entre otros, para casi todos los ecosistemas. Esto es porque las micorrizas son reguladores dinámicos que almacenan minerales, como el carbono, por la descomposición de materia orgánica, luego las reserva en sus cavidades, bajo tierra y se las provee al ecosistema a través de rizomas, hifas de hongo o redes micorrízicas, específicamente en terrenos o áreas agrícolas donde la tierra es pobre en minerales nutritivos (van der Heijden, Martin, Selosse, & Sanders, 2015). La mayoría de los cultivos como el maíz, los cereales, las sojas, las patatas y el arroz son fertilizados con micorrizas y son estos de dónde los cultivos reciben el carbono. Además, en estudios hechos con la intención de observar la contribución de fósforo que recibe una planta o una comunidad de plantas por la micorriza arbuscular ha demostrado una aportación de 90% de fósforo. La contribución de nitrógeno dependerá del agua, el pH y el tipo de suelo (Tobar, Azcón, & Barea, 1994). A diferencia, los hongos ectomicorrízales pueden aportar nitrógeno y fósforo al suelo en grandes cantidades (Simard et al., 1997).

Aportaciones de la micorriza a los cultivos agrícolas

Los hongos micorrízicos tienen otras funciones y factores que pueden aportar al ecosistema y a la agricultura. Por ejemplo, aportan al establecimiento de las plántulas; se pueden utilizar como biofertilizante porque descomponen la materia orgánica muerta y reciclan los minerales nutritivos; crean productividad del suelo, y les proveen a las plantas resistencia a enfermedades, a la sequía, al estrés y a patógenos (van der Heijden et al., 2015). En otro estudio del Instituto Smithsonian Environmental Research Center en Maryland se documentó el efecto que tiene la abundancia del hongo micorrízico en la distribución, la persistencia y el tamaño de la orquídea *Showy orchid*. Como resultado se observó que había una relación positiva entre el número de plantas en las parcelas y la abundancia de micorrizas. Además, se descubrió que las plantas con más abundancia de hongos micorrízicos en el suelo pueden sobrevivir en condiciones estresantes debido a los nutrientes

proporcionados por el hongo. Por último, se descubrió una relación positiva entre el tamaño de la planta y la abundancia de micorrizas en la tierra (McCormick, 2018).

Las micorrizas como micorremediadores

Los nutrientes juegan un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas. A su vez la agricultura tradicional se encuentra centrada en el uso de fertilizantes sintéticos creando un problema en la producción de los suelos agrícolas pues alteran los ciclos de nutrientes transformándolos de un sistema cerrado a uno completamente abierto (Sarandón & Flores, 2014). La sustentabilidad de los ecosistemas naturales y agrícolas en su nivel de convergencia depende de la contribución de diversos organismos que se encuentran en el suelo, los cuales brindan abundantes servicios ecológicos (Barrios, 2007).

Los hongos micorrízicos tienen la capacidad de aportar grandes servicios al ecosistema con un rol importante en la bioremediación del suelo agrícola. Los hongos ectomicorrízicos tienen la capacidad de generar enzimas degenerativas de compuestos orgánicos complejos en el suelo. Las enzimas como las amilasas, lipasas, ureasas, gelatinasas y tirosinasas son parte de la actividad metabólica generada por hongos ectomicorrízicos (Hutchison, 1990). Otros hongos como las micorrizas arbusculares son organismos que tienen una asociación simbiótica con las raíces de las plantas en su periferia. Esta relación simbiótica brinda un servicio ecológico importante, confiriéndole a la planta hospedera beneficios como el consumo de fósforo, modulación y fijación de nitrógeno en el caso de interacciones con leguminosas, producción de hormonas y aumenta la recepción, tanto de macronutrientes como micronutrientes (Sullia, 1991). Así mismo, las micorrizas arbusculares tienen la amplitud de producir complejos xilanasas, mannasas y otras glucanasas que apoyan en la degradación de contaminantes peligrosos. En efecto, este hongo micorrízico no solo sirve como biofertilizante, sino que también tiene la capacidad de servir como un agente mycoremediador (Singh, 2006).

El nitrógeno también es un nutriente esencial para los hongos ectomicorrízicos. Estudios realizados con la soya por Li et al. (2013) demostraron que la transferencia y el metabolismo de nitrógeno y carbono se encuentran estrechamente relacionados con la generación de óxido nítrico a través de la simbiosis entre micorriza y planta. Esta molécula es un factor de resistencia para patógenos de la soya, lo cual aumenta la actividad de enzimas antioxidantes.

El uso de abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos equilibradamente es un factor relevante en la economía agrícola y en la calidad de producción de

las fincas. Los diferentes regímenes de fertilizantes influyen en la biomasa y los fitotipos de micorrizas en los suelos de importancia agrícola. Así, por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el suelo pueden estimular la esporulación de hongos arbusculares y los niveles de pH. Así también, las concentraciones de potasio intervienen en procesos de estos hongos micorrízicos, tanto en las raíces, como en los suelos (Qin et al., 2015).

Agricultura sustentable utilizando micorrizas y microorganismos

La interacción de los microorganismos con las plantas es un factor importante en la salud, crecimiento, y bienestar de las plantas. Más aún, en la agricultura es importante entender las interacciones de los microorganismos con la planta. El microbioma de las plantas y sus interacciones con los sistemas de la planta ayuda en el crecimiento, combate factores abióticos, ofrece resistencia a plagas y utiliza los nutrientes eficientemente (Busby et al., 2017). Los microorganismos como las bacterias, hongos y todos los que componen el microbioma aportan al ecosistema de las plantas y el suelo. Así, por ejemplo, las micorrizas de la rizosfera funcionan como biofertilizantes, bioprotectores y biodegradadores (Khan, 2006).

Yang y Crowley (2000) estudiaron las interacciones entre la planta y los microorganismos que le habitan variando la cantidad de hierro disponible para cebada (*Hordeum vulgare*). No solo encontraron los cambios en los nutrientes de la planta que provoca en la comunidad de la rizosfera, sino también que aproximadamente el 40% de estos cambios se pueden atribuir a esto, y que tienen gran influencia en la biodiversidad del suelo. En este estudio, utilizaron muestras de distintas partes de la rizosfera y consiguieron diferencias en composición de las comunidades que lo habitan. Tomando esto en cuenta, las variaciones en la rizosfera se pueden atribuir a la composición del suelo, especie de planta y la manera de cultivar los productos.

La mutua dependencia de las plantas y los microorganismos en el suelo es de suma importancia para la agricultura sustentable. Además, de atribuir nutrientes a las plantas, así mismo estos microorganismos como micorrizas ayudan a mitigar los efectos de erosión, y a estabilizar el agregado de suelo (Gianinazzi et al., 2010). Otro rasgo de las micorrizas es también que aportan al microbioma añadiendo a la diversidad de microorganismos que se encuentran alrededor de las raíces (Tisserant et al., 2013). En este estudio, consiguieron dos tipos de endo-bacteria. Los microorganismos que habitan las plantas y el suelo son extensas y complejas, y muchos de estos presentan oportunidades para una agricultura sustentable acorde con las investigaciones de Rascovan et al. (2016), quienes vieron que la diversidad de estos microorganismos tiene una correlación con cambios en el suelo y también

con posibles candidatos para promotores del crecimiento de plantas.

Estas investigaciones aún están en sus comienzos. La incorporación de microorganismos en la agricultura a gran escala está limitada por la falta de investigación. La agricultura envuelve una gran variedad de cultivos y la aplicación de estos microorganismos tiene que ser distinta al momento de cambiar el cultivo. Los métodos convencionales parecen no ser una opción viable en conjunto con métodos de la agricultura sustentable como lo son las micorrizas. Boller et al. (2000) observaron que la utilización de plaguicidas y fertilizantes sintéticos aumentaba la cantidad de fósforo en el suelo y reducía los efectos positivos de las micorrizas. Es posible que variando el tipo de fertilizante y micorriza que está incorporado en el suelo, disminuyan los efectos negativos. Para ilustrar mejor, Dai, Singh y Nimasow (2011) utilizaron abono orgánico y cinco distintas especies de micorrizas y vieron un mejor resultado en crecimiento en biomasa. Las prácticas de agricultura sustentable son necesarias para mantener los recursos de manera productiva para las próximas generaciones y disminuir sus efectos negativos en los ecosistemas.

Técnicas para producir las micorrizas

El uso de micorrizas para la sustentabilidad de los cultivos agrícolas se le conoce como un biofertilizante. El principal beneficio de la utilización de un biofertilizante es que reduce el uso de agroquímicos que pueden ser dañinos, tanto para el cultivo agrícola, como para el suelo. Algunos de los impactos son que pueden causar modificaciones en los alimentos, reducir la productividad del suelo e impactar el ecosistema.

Para establecer la micorriza en el cultivo, primero se debe producir el hongo. Se utilizan dos prácticas conocidas como invernadero o in vitro. La técnica invernadero conlleva trabajar con la producción de los hongos micorrizicos en un suelo que contenga plantas que lleven a cabo el crecimiento de las micorrizas que se quieren introducir en los cultivos. Por otro lado, la práctica in vitro conlleva técnicas de laboratorio, en las cuales se producen los inoculantes micorrizicos y es la técnica principalmente utilizada por las empresas (Barea, Pozo, & Azcón-Aguilar, 2016). Sin embargo, se han hecho estudios que indican que la técnica de invernadero resulta mejor que la de in vitro. Por ejemplo, en Chile donde se han empleado y comercializado micorrizas arbusculares como biofertilizantes para cultivos de pimentón han tenido mejor resultado con el empleo de micorrizas nativas que las comerciales (Barrera-Berdugo, 2009).

Conclusión

La agricultura sustentable enfrenta varios problemas para abastecer una población en constante crecimiento, y producir alimentos eficientemente sin la necesidad de fertilizantes químicos o plaguicidas. Entender las interacciones de las plantas y sus microorganismos nos puede ayudar a enfrentar estos obstáculos. Los estudios sobre el uso de la micorriza en la agricultura han mostrado ser beneficiosos para el crecimiento de las plantas y la productividad del suelo. Para tener una agricultura sustentable sería beneficioso reducir el uso de fertilizantes y plaguicidas que puedan afectar la salud del consumidor y el medio ambiente. Por último, aumentar el uso de biofertilizante también puede reducir los costos de la producción de alimentos en el sistema agrícola.

Literatura citada

- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: Antigua interacción entre plantas y hongos. *Revista Ciencias*, 84-90. Recuperado de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf
- Barea, J. M., Pozo, M. J., & Azcón-Aguilar, C. (2016). Significado y aplicación de las micorrizas en agricultura. pp-746-751. Recuperado de <https://www2.eez.csic.es/mycorrhizaandbioticstresslab/Agricultura-divulgacion%20micorrizas.pdf>
- Barrera-Berdugo, S. E. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 123-132. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100014&lng=en&tlng=es.
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64(2), 269-285. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.03.004
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). *Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes*. Institute for Sustainable Plant Protection. doi:10.3389/fmicb.2015.01559
- Busby, P. E., Soman, C., Wagner, R. M., Friesen, M. L., Kremer, J., Bennett, A.,... & Dangl, J. L. (2017). Research priorities for harnessing plant microbiomes in sustainable agriculture. *PLOS Biology*, 15(3), 1-14. doi:10.1371/journal.pbio.2001793
- Dai, O., Singh, R. K., & Nimasow, G. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) inoculation on growth of chili plant in organic manure amended soil. *African Journal of Microbiology Research*, 5(28), 5004-5012.

doi.10.5897/AJMR11.628

- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., Tuinen, D. V., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519-530. doi:10.1007/s00572-010-0333-3
- Grau, H. R. H., Aide, M., Zimmerman, J. K., Thomlinson, R. J., Helmer, E., & Zou, X. (2003). The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico, *Bio Science*, 53(12), 1159-1168. doi:10.1641/0006-3568(2003)053[1159:TECOSA]2.0.CO;2
- Hutchisin, L. J. (1990). Studies on the systematics of ectomycorrhizal fungi in axenic culture II. The enzymatic degradation of selected carbon and nitrogen compound. *Canadian Journal of Botany*, 68(7), 1522-1530. doi:10.1139/b90-194
- Khan, A. G. (2006). Mycorrhizoremediation-an enhanced form of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University. Science B*, 7(7), 503-514. doi:10.1631/jzus.2006.B0503
- Leakey, R. (2014). The role of trees in agroecology and sustainable agriculture in the tropics. *Annual Review of Phytopathology*, 52(1), 113-133. doi:10.1146/annurev-phyto-102313-045838
- Li, Y., Liu, Z., Hou, H., Lei, H., Zhu, X., Li, X., He, X., & Tian, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi-enhanced resistance against *Phytophthora sojae* infection on soybean leaves is mediated by a network involving hydrogen peroxide, jasmonic acid, and the metabolism of carbon and nitrogen. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(12), 3463-3475. doi:10.1007/s11738-013-1382-y
- Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., & Niggli, U. (1999). Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 150-156. doi:10.1007/s003740050638
- McCormick, M. K., Taylor, D. L., Juhaszova, K., Jr., Burnett, R. K., Whigham, D. F., & O'Neil, J. P. (2012). Limitations on orchid recruitment: not a simple picture. *Molecular Ecology*, 21(6), 1511-1523. doi:10.1111/j.1365-294X.2012.05468.x
- McCormick, M. K., Whigham, D. F., & Canchani-Viruet, A. (2018). Mycorrhizal fungi affect orchid distribution and population dynamics. *New Phytologist*, 1-9. doi:10.1111/nph.15223
- Qin, H., Lu, K., Strong, P. J., Xu, Q., Wu, Q., Xu, Z., Xu, J., & Wang, H. (2015). Long-term fertilizer application effects on the soil, root arbuscular mycorrhizal fungi and community composition in rotation agriculture.

- Applied Soil Ecology*, 89, 35-43. doi:10.1016/j.apsoil.2015.01.008
- Rascovan, N., Carbonetto, B., Perrig, D., Díaz, M., Canciani, W., Abalo, M.,... & Vazquez, M. P. (2016). Integrated analysis of root microbiomes of soybean and wheat from agricultural fields. *Nature: Scientific Reports*, 6(28084), 1-12. doi:10.1038/srep28084
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. (pp. 211-230). Universidad de la Plata Argentina: Editorial Universidad de la Plata ISBN 970-95034-1107-0. Recuperado de <http://www.mec.gub.uy/innovaportal/file/75868/1/agroecologia.pdf>
- Schübler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12), 1413-1421. doi:10.1017/S0953756201005196
- Simard S. W., Perry, D. A., Jones, M. D., Myrold, D. D., Durall, D. M., & Molina, R. (1997). Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field: *nature International Journal of Science*, 388(6642), 579-582. doi:10.1038/41557
- Singh, H. (2006). *Mycoremediation: fungal bioremediation*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sullia, S. B. (1991). Use of vesicular - *Arbuscular mycorrhiza* (VAM) as biofertilizer for horticultural plants in developing countries. *Horticulture - New Technologies and Applications*, 12, 49-53. doi:10.1007/978-94-011-3176-6_8
- Tisserant, E., Malbreil, M., Kuo, A., Kohler, A., Symeonidi, A., Balestrini, R., ... & Gilbert, L. B. (2013). Genome of an arbuscular mycorrhizal fungus provides insight into the oldest plant symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(50), 20117-20122.
- Tobar, R., Azcón, R., & Barea, J. M. (1994). Improved nitrogen uptake and transport from ¹⁵N- labeled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water-stressed conditions. *New Phytologist*, 126(1), 119-122. doi:10.1111/j.1469-8137.1994
- Van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytology*, 205(4), 1406-1423. doi:10.1111/nph.13288
- Yang, C. H., & Crowley, D. E. (2000). Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), 345-351. doi:0099-2240/00/\$04.0010