

La comunicación entre el hongo *Rhizophagus irregularis* y las plantas: una red subterránea fascinante^φ

Emmanuel Saúl Franco-Novelo¹, Miguel Ángel Herrera-Alamillo¹,
Luis Carlos Rodríguez-Zapata¹

Introducción

● Sabías que bajo el suelo existe una red de comunicación tan grande y compleja como internet? En las ciudades, cada edificio está conectado por cables que permiten el acceso a internet. En la naturaleza, cada árbol y planta es como un edificio y todas las plantas se pueden comunicar entre ellas, recibir información y también captar nutrientes de su medio.

El intercambio de información y nutrientes se da gracias a un microbioma conformado por una red de organismos. Entre estos figuran las bacterias, los virus, los protozoarios y los hongos. En toda esta red, cada organismo cumple una función para cada planta ya sea por alimentación, crecimiento, defensa, captación de nutrientes e intercambio de información (Carrasquilla 2021).

Si bien hay varias especies de microorganismos, los microhongos forman una simbiosis con la planta por una red subterránea de hifas para enviar información (Mendoza y Torres 2016). Esto se asemeja a la función de los cables de internet, o electricidad, que permiten estar comunicados. Entre los tipos de hongos que destacan por la manera como hacen simbiosis son los “hongos micorrícicos arbusculares” (HMAs) que forman una micorriza en la raíz de la planta (Douds y Millner 1999). En particular destaca *Rhizophagus irregularis* por sus características, comportamiento y los beneficios para la planta y por su uso potencial en la

^φ ¹Laboratorio de Fisiología Molecular y Transformación Genética en Plantas. Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, CP 97205. Autor para correspondencia: emmanuelnovelo07@hotmail.com
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5955>



agricultura. El objetivo de este trabajo fue dar a conocer la fascinante red de comunicación que desarrolla este hongo y la planta para coexistir sin afectarse mutuamente.

¿Qué son los hongos micorrízicos arbusculares?

La micorriza es una asociación simbiótica mutualista entre las raíces de las plantas y los hongos del suelo. De ahí su nombre acuñado por el botánico alemán Albert B. Frank en 1885, del griego *mikos* (hongos) y *rhiza* (raíz) (Franco-Navarro 2012). Cuando el hongo hace simbiosis permite un intercambio de nutrientes (carbono, fósforo, nitrógeno) con y agua con la planta (Colozzi Filho y Cardozo 2000; Franco-Navarro 2012). Es como si las plantas tuvieran sus propios generadores eléctricos, pero éstos fueran limitados por lo que al establecer una relación con el hongo se puede compartir la electricidad (nutrientes) por sus hifas que actúan como cables de corriente.

Los hongos micorrízicos también son conocidos como endomicorriza ya que su micelio no es visible a simple vista en la planta, sino que se introduce en las células de la epidermis de la raíz. Aquí forman vesículas para el intercambio de nutrientes y reservas de lípidos para la planta y arbuscúlos (Fig. 1) (Douds y Millner 1999). Éstos últimos son un tipo de hifas especializadas para la absorción de nutrientes para la planta (Villalbazo 2022).

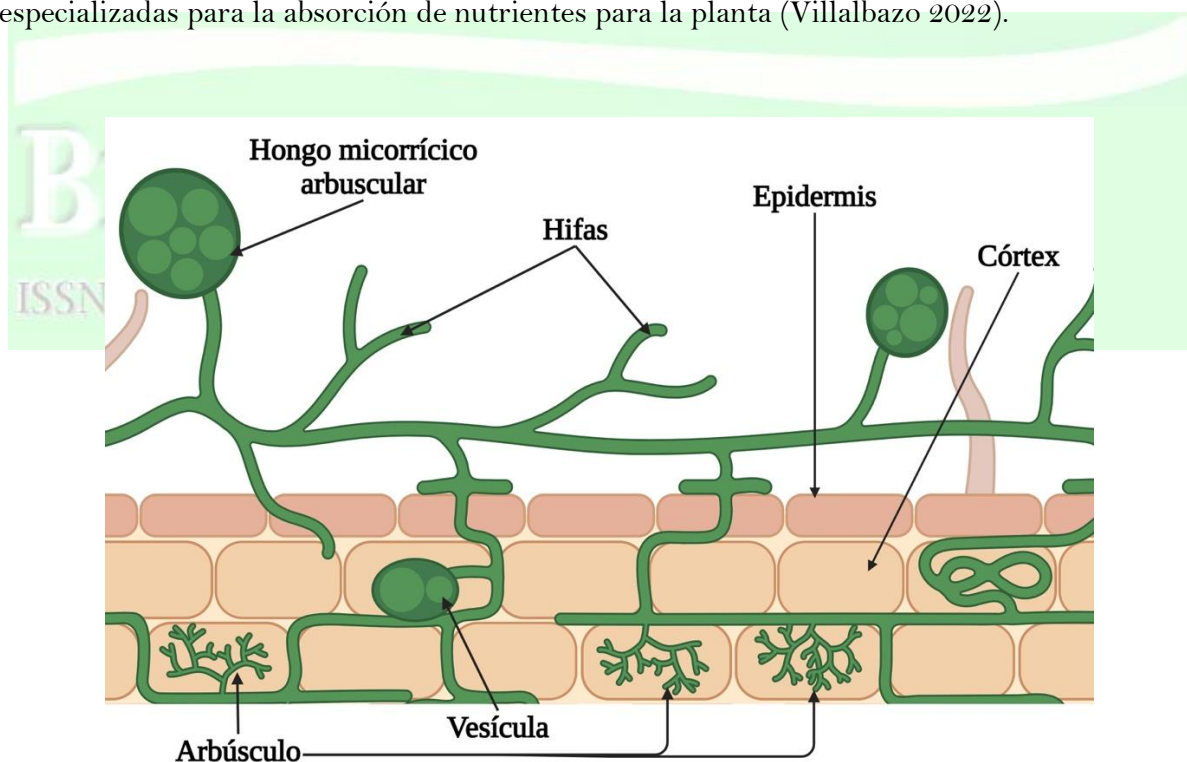


Figura 1. Esquema de la simbiosis de hongo micorriza arbuscular y planta. Las hifas del hongo se extienden por las células de la epidermis e ingresan a las células del córtex de la raíz para formar dos estructuras: el arbúsculo, que son hifas especializadas para el intercambio de nutrientes con la planta; la vesícula, para almacenar nutrientes como lípidos de reserva. Editado con Biorender.

“La micorriza es una asociación simbiótica mutualista entre las raíces de las plantas y los hongos del suelo.”

¿Por qué es importante el hongo *Rhizophagus irregularis*?

Existen seis géneros de HMAs: *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Sclerocytis*, *Scutellospora* y *Glomus*. Uno de los hongos más estudiados en los últimos años es del género *Glomus* por sus características morfológicas de esporangio con forma subglobosa en la punta de las hifas. Sin embargo, fue taxonómicamente reclasificado por su cercanía filogenética con el género *Rhizophagus*. Por tanto, *Glomus intraradices* ahora es *Rhizophagus irregularis* (Fig. 2) (Schüßler *et al.* 2001).

Lo que hace especial a *R. irregularis* es su capacidad para mejorar el crecimiento de plantas y hojas ya que puede incrementar el transporte de nutrientes según los requerimientos de la planta. Un ejemplo de ello es la captación de compuestos nitrogenados en el suelo donde el hongo provoca una disminución del pH lo que favorece la captación de nitratos (Bago *et al.* 1996). Tal como se ha reportado para la planta *Stevia rebaudiana* (estevia), hay un aumento en la cantidad de potasio y fósforo en las células vegetales en comparación con plantas del mismo modelo no inoculadas con el hongo (Vafadar *et al.* 2013).

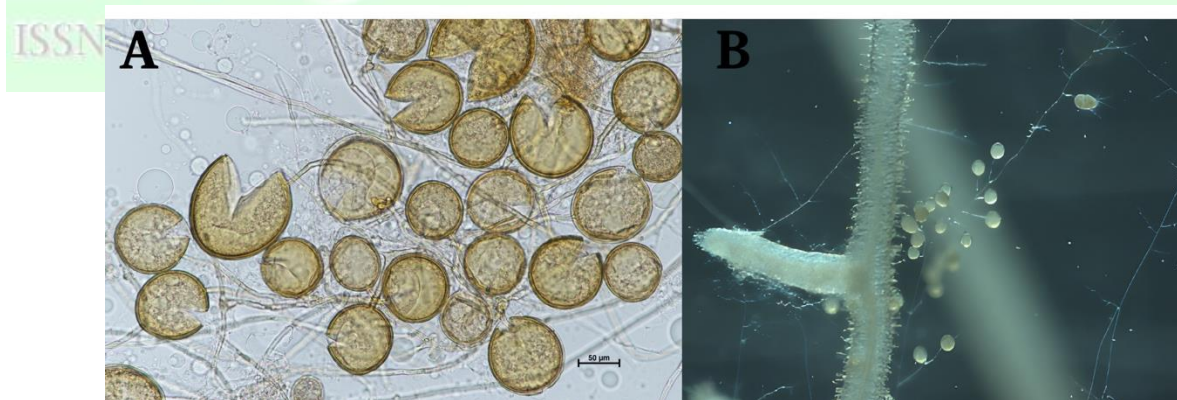


Figura 2. A) Cabezas de hongos (y algunas con esporas ya liberadas) de *R. irregularis* bajo microscopio óptico. B) Cepa DAOM197198 de *R. irregularis* en simbiosis con raíz de zanahoria bajo estereoscopia. Nota: Obtenido y modificado de Bécard (2013) y Minister of Agriculture and Agri-Food (2020).

Red de interacción

La interacción planta-hongo puede ser muy compleja ya que si bien hay señales de los hongos hacia las plantas, y viceversa, existen otras que no. Comprender esta relación puede ser sencillo si imaginamos que el hongo es la “mascota” de la planta y ésta provee un hogar y nutrientes para sobrevivir. Sin embargo, el hongo ayuda a la planta en situaciones donde los nutrientes son limitados, cómo es el caso del fósforo, zinc y cobre. Además, el hongo mejora la capacidad de absorción de agua en la planta en condiciones de estrés al inducir un crecimiento de las raíces o bien utilizar sus hifas (Nogales 2006).

Los hongos pueden captar más nutrientes para las plantas gracias a un conjunto de estrategias de supervivencia llamadas estrategias de historia de vida (EHV), las cuales se asocian a la cantidad de núcleos que posea un HMA. En este contexto, las células de *R. irregularis* pueden tener un solo núcleo, o dos núcleos distintos, lo que se conoce cómo homocariones y dicariones, respectivamente. Se ha demostrado que cuando este hongo es dicarione tiene mejores EHV para sí mismo y el hospedero, lo que se traduce en una mayor esporulación e hifas más largas y abundantes para la captación de nutrientes.

Rhizophagus irregularis se adapta a la planta hospedera y puede modificar sus patrones de crecimiento de hifas según el tipo de planta con la que haga simbiosis y adaptarse a la captación de nutrientes que necesite la planta (Fig. 3). Además, los hongos dicariones son más generalistas y versátiles con sus hospederos, por lo cual tienen la capacidad de interactuar con varias plantas al mismo tiempo dentro de una comunidad (Serghi *et al.* 2021). Por tanto, en una comunidad puede haber más de una “casa” (planta) conectada a la misma red eléctrica (hifas de un hongo) formando una extensa red de interacción entre plantas-hongo.

Si bien se habla de los beneficios de la relación del hongo con las plantas hospederas y su adaptabilidad ¿Cómo se desarrolla esta simbiosis? hay que tener en cuenta que las hifas del hongo no solo ingresan a las raíces de forma sencilla, sino que necesitan pasar por el mecanismo de defensa de la planta para evitar ser detectado cómo un organismo patógeno o parásito. *R. irregularis* posee una proteína exógena llamada SP7 (por sus siglas en inglés proteína secretada 7), que en el momento de la colonización se introduce en las células. Una vez dentro de la planta, la proteína bloquea la producción de señales de defensa de la planta para evitar ser detectado como una amenaza (Fig. 4) (Kloppholz *et al.* 2011).



Figura 3. Patrones de crecimiento de hifas afectados por la identidad de la planta hospedante. En *Cichorium intybus* (escarola) (imagen arriba), las hifas tienen una morfología similar a una espina de pescado con patrones de ramificación. Las hifas de *Nicotiana benthamiana* (Tabaco de virginia) (en medio) son como líneas irregulares y cortas, y las hifas de *Daucus carota* (Zanahoria) (abajo) tienen ramas más largas y abundantes con un crecimiento tridimensional. Fuente: Serghi *et al.* (2021).

“Rhizophagus irregularis se adapta a la planta hospedera y puede modificar sus patrones de crecimiento de hifas según el tipo de planta con la que haga simbiosis y adaptarse a la captación de nutrientes que necesite la planta.”

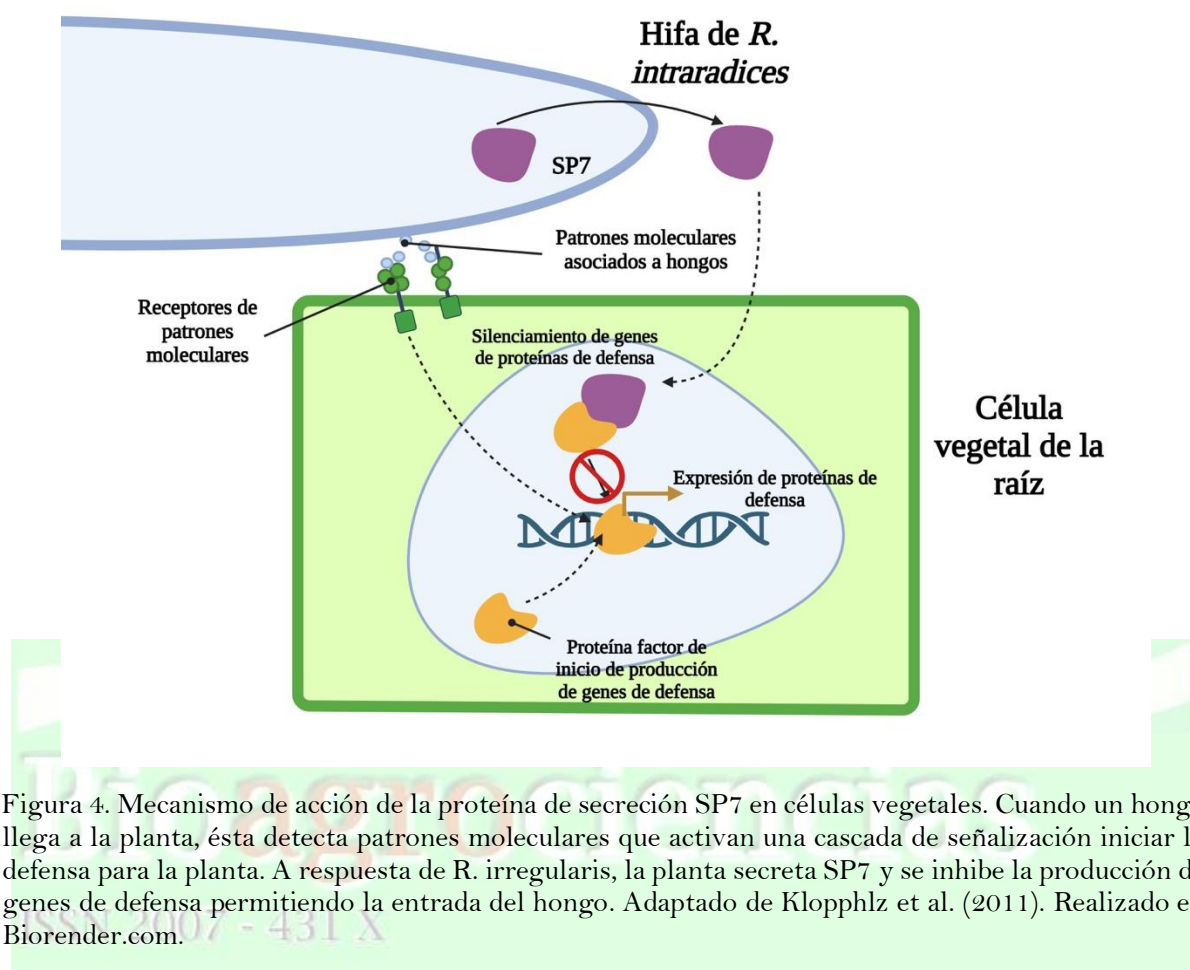


Figura 4. Mecanismo de acción de la proteína de secreción SP7 en células vegetales. Cuando un hongo llega a la planta, ésta detecta patrones moleculares que activan una cascada de señalización iniciar la defensa para la planta. A respuesta de *R. irregularis*, la planta secreta SP7 y se inhibe la producción de genes de defensa permitiendo la entrada del hongo. Adaptado de Klopplz et al. (2011). Realizado en Biorender.com.

Implicaciones en la agricultura

Otra de las ventajas de la simbiosis con HMAs es la capacidad para intervenir ante invasiones de microorganismos patógenos. Se ha demostrado que *R. irregularis* puede controlar la infección de parásitos, cómo los nemátodos, que se aprovechan de la planta hospedera pudriendo sus raíces al llevarse los nutrientes. Es como si un virus informático entrara en una computadora y tratara de robar información. Los hongos tendrían una función de un programa de antivirus al participar y reducir al parásito. Inclusive pueden controlar la fisiología de las raíces de la planta para desfavorecer la alimentación de nemátodos u otros patógenos asociados (Marro *et al.* 2014).

Rhizophagus irregularis genera una resistencia en *Phaseolus vulgaris* (frijol) contra nemátodos. A este mecanismo se le conoce cómo respuesta inducida por micorrizas (RIM), que pone alerta a los tejidos vegetales y los vuelve más sensibles para reaccionar de forma casi inmediata. Además, promueve la producción de ácido jasmónico como hormona de defensa (Mora-Romero *et al.* 2014). Durante la aplicación de HMA en la agricultura, se han desarrollado estrategias diferentes para el aprovechamiento de esta simbiosis y se ha estudiado el uso de monocultivos de plántulas en laboratorio; sin embargo, en el campo el uso de cultivos aislados

unos de otros pueden provocar una reducción de comunidades de HMA al volverse específicos para una planta y limitar el aporte de nutrientes en el ecosistema. Como alternativa, se ha optado por realizar cultivos no aislados para que se forme una comunidad vinculada mediante la red de comunicación fúngica y el resto del microbioma en los huertos (Barrer 2009).

Otro factor importante es el efecto de productos químicos comerciales sobre las plantas. Combinaciones entre plaguicidas e insecticidas, como neonicotinoide + triazol + fenilpirrol, pueden estimular una mayor colonización de *R. irregularis* en las raíces; sin embargo, el uso por sí solo de plaguicidas puede afectar negativamente al hongo (Fernández *et al.* 2011). Si bien los propios HMAs son considerados un biofertilizante, hasta el momento no se han podido combinar con otros productos de este tipo ya que las plantas son afectadas por un exceso de fósforo y se reduce su biomasa. En los hongos, la saturación de fósforo puede inhibir el crecimiento de hifas o hacer que la planta se vuelva dependiente de ellas (Barrer 2009).

Una condición para que las plantas se desarrollen es la homeostasis, es decir un equilibrio interno de las sales y nutrientes dentro de las células. En este sentido el sodio (Na^+) y el potasio (K^+) son los iones que participan activamente en mantener el equilibrio. En plantas *Oryza sativa* (arroz), *R. irregularis* capta K^+ y aumenta hasta en un 42 % su concentración en la planta, lo que regula el paso del Na^+ en las células vegetales. Esto significa un equilibrio entre el K^+ y Na^+ proporcionando a la planta una tolerancia al estrés salino cuando las aguas de riego, o de los sistemas de inundación (un tipo de cultivo donde las plantas de arroz permanecen sumergidas en agua), estén muy cargadas de sales y así evitar su deshidratación (Corratgé-Faillie *et al.* 2022). Por parte, la planta beneficia al hongo con moléculas de carbono que le cede para su correcto funcionamiento. Aunque no se sabe a ciencia cierta sobre todas las moléculas que secreta el hongo para proporcionarle nutrientes a la planta, sí se sabe que las hifas del hongo funcionan como “cables” para el transporte de nutrientes y micronutrientes. El estudio del secretoma (conjunto de moléculas secretadas) del hongo permitirá comprender más sobre la relación hongo-planta y sus aplicaciones en la agricultura, así como tomar en cuenta las implicaciones que conlleva utilizar este hongo (Fig. 5).

“Otra de las ventajas de la simbiosis con HMAs es la capacidad para intervenir ante invasiones de microorganismos patógenos.”

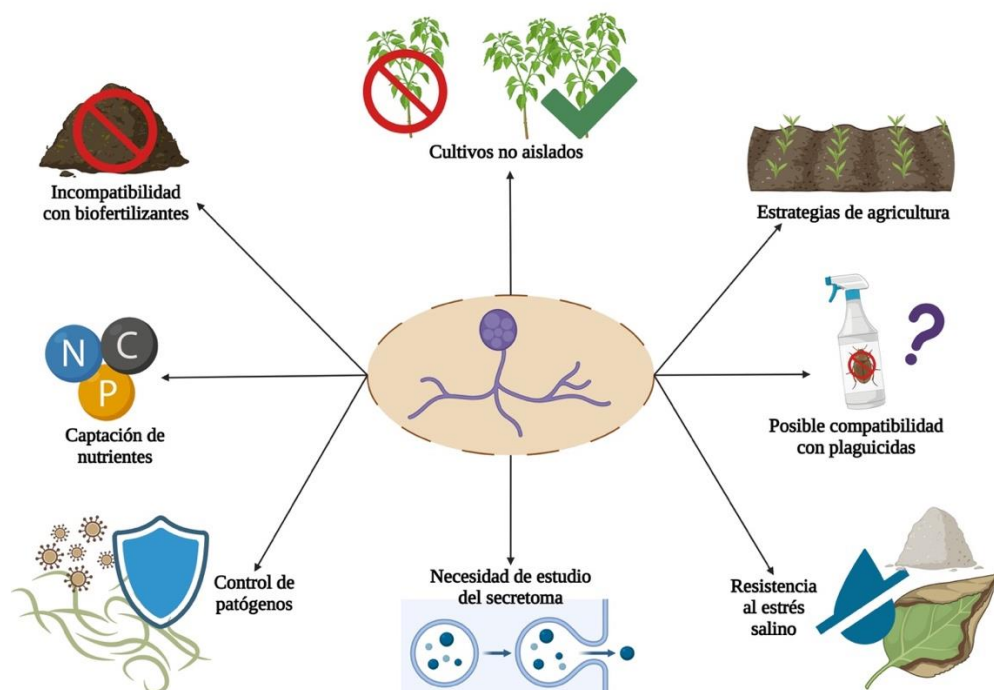


Figura 5. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) benefician a la agricultura al proteger las plantas contra patógenos y mejorar la absorción de nutrientes, aunque pueden ser incompatibles con algunos fertilizantes. Ayudan a las plantas a resistir el estrés salino regulando la ósmosis celular. Es necesario investigar más las moléculas que producen para entender mejor sus beneficios. *Nota:* Realizado en Biorender.com.

Conclusión

La red de comunicación en el suelo es llevada a cabo por un sinfín de microorganismos. Los HMAs son un tipo de hongos cuya simbiosis con las plantas hospederas permite la captación de nutrientes, como fósforo y nitrógeno, para la planta y que es llevado a cabo por las hifas del hongo. Las hifas ingresan a la raíz de la planta gracias a moléculas específicas, tales como proteínas especializadas, formando la micorriza. La red hongo-planta permite que el hongo transporte moléculas que la planta no puede obtener normalmente. Comprender cómo funciona esta relación de los HMAs con las raíces de las plantas puede ser utilizada como una herramienta en la agricultura para el control de la población de nematodos nocivos, la mejora en la respuesta de defensa, y el desarrollo y crecimiento de la planta, en combinación rotativa del uso de diferentes plaguicidas e insecticidas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) de México, con el proyecto CF-2023-G-636.

Referencias

- Bago B, Vierheilig H, Piché Y, Azcón-Aguilar C. 1996. Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown in monoxenic culture. *The New Phytologist* 133(2): 273–280. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01894.x>
- Barrer SE. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Bioteecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 7(1): 123–132.
- Bécard G. 2013. Carrot roots colonized by *R. irregularis* DAOM197198 mycelium. Recuperado de https://mycocosm.jgi.doe.gov/Rhiir2_1/Rhiir2_1.home.html
- Carrasquilla M. 2021. El microbioma del agroecosistema y su importancia en la agricultura sostenible (Disertación doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona)
- Colozzi-Filho, A, y Cardoso EJB. 2000. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de caféiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 2033–2042.
- Corratgé-Faillie C, Matic L, Chmaiss L, Zhou H, Lolivier JP, Audebert PA, Bui X T, Seck M, Chinachanta K, Fizames C, Wipf D, Sentenac H, Very AA, Courty PE, y Luu DT. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* expresses an outwardly Shaker-like channel involved in rice potassium nutrition. *bioRxiv* 2022.11. <https://doi.org/10.1101/2022.11.04.515200>
- Douds DD Jr, y Millner PD. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74(1–3): 77–93. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(99\)00031-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00031-6)
- Fernández R, Veitía MM, y Rodríguez Y. 2011. Compatibilidad entre nuevos plaguicidas químicos sistémicos y el hongo micorrizógeno *Glomus intraradices* schenk y smith. *Fitosanidad* 15(2): 99–105.
- Franco-Navarro JdD. 2012. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. *Ciaorganico.net*. Recuperado el 19 de noviembre de 2024, de https://ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf
- Kloppholz S., Kuhn H, y Requena, N. 2011. A secreted fungal effector of *Glomus intraradices* promotes symbiotic biotrophy. *Current Biology: CB* 21(14): 1204–1209. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.06.044>
- Marro N, Lax P, Cabello M, Doucet M E, y Becerra, AG. 2014. Use of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* as biological control agent of the nematode *Nacobbus aberrans* parasitizing tomato. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 57(5): 668–674. <https://doi.org/10.1590/s1516-8913201402200>
- Mendoza APA, y Torres GC. 2016. Determinación y comparación de microhongos del suelo de un bosque húmedo premontano en Dagua, Valle del Cauca. *Revista de Ciencias* 20(2): 9. <https://doi.org/10.25100/rc.v20i2.4671>
- Minister of Agriculture and Agri-Food. 2020. *Rhizophagus irregularis*. His Majesty the King in Right of Canada. Recuperado de <https://agriculture.canada.ca/en/science/collections/canadian-collection-arbuscular-mycorrhizal-fungi-ccamf/catalogue-arbuscular-mycorrhizal-fungi-strains-available-glomeromycetes-vitro-collection#a4>
- Mora-Romero GA, Gonzalez-Ortiz MA, Quiroz-Figueroa F, Calderon-Vazquez CL, Medina-Godoy S, Maldonado-Mendoza I, Arroyo-Becerra A, Perez-Torres A, Alatorre-Cobos F, Sanchez F, y Lopez-Meyer M. (2014). PvLOX2 silencing in common bean roots

- impairs arbuscular mycorrhiza-induced resistance without affecting symbiosis establishment. *Functional Plant Biology: FPB* 42(1): 18.
<https://doi.org/10.1071/fp14101>
- Nogales GA. 2006. Estudio de la interacción entre el hongo formador de micorrizas arbusculares *Glomus intraradices* Schenj y Smith y el Hongo Patógeno *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kuhn en Vid (Universidad de Barcelona).
- Schüßler A, Schwarzott D, y Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105(12): 1413–1421.
<https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- Serghi EU, Kokkoris V, Cornell C, Dettman J, Stefani F, y Corradi N. 2021. Homo- and dikaryons of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* differ in life history strategy. *Frontiers in Plant Science* 12: 715377
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715377>
- Vafadar F, Amooaghaie R, y Otroschy M. 2013. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. *Journal of Plant Interactions* 9(1): 128–136.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2013.779035>
- Villalbazo TC. 2022. Efecto de *Glomus intraradices* para mejorar el desarrollo de plántulas *ex vitro* de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) durante la aclimatización (Colegio de Postgraduados, Tesis de Maestría.

Franco-Novelo ES, Herrera-Alamillo MA, Rodríguez-Zapata LC. 2024. La comunicación entre el hongo *Rhizophagus irregularis* y las plantas: una red subterránea fascinante. *Bioagrociencias* 17 (2): 134–143.
 DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5955>

ISSN 2007 - 431 X