

Artículo de revisión

Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en frutales de Colombia y su comparación con investigaciones internacionales

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in Colombian fruit trees and their comparability with international research

Aranguren Yerson A.¹; Castellanos Leónides²; Escalante Juan C.³

¹Ingeniero Agrónomo en ejercicio libre, Pamplona, Correo: yerson.aranguren@unipamplona.edu.co, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5245-1837>. ²Ingeniero Agrónomo, PhD. Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona, Dirección: Vía A Bucaramanga #km 1, Pamplona, Norte de Santander. Código postal: 543058. Tel: (+573166993265). Correo: lccastell@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9285-4879>. ³Licenciado en Administración de Empresas Agropecuarias, MSc. Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Zootecnia. Grupo de Investigación en Agricultura y Ganadería Sostenible (GIAS). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0754-0774>. Dirección: Vía A Bucaramanga #km 1, Pamplona, Norte de Santander. Código postal: 543058. Correo: jcescalante1212@gmail.com.

RESUMEN

La utilización de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en la agricultura es cada vez mayor, por eso la importancia de buscar e investigar en el ámbito agronómico sobre beneficios de las micorrizas en especies frutales constituye un elemento significativo para el mejoramiento de los cultivos. En este trabajo se realizó una investigación documental de artículos con información actualizada que indicara el abordaje de las HMA en frutales resaltando los resultados exitosos de su asociación y aplicabilidad en el área agronómica, utilizando como unidades de análisis los artículos publicados por las revistas nacionales e internacionales y las bases de datos seleccionadas durante el periodo de 2010 a 2020. Durante la recopilación de la información se encontraron un total de 63 artículos originales publicados, distribuidos así; a través de Google y Google Académico se localizaron en revistas nacionales 12 artículos; en revistas internacionales 14 artículos y en la base de datos de la biblioteca digital de la Universidad de Pamplona 37 artículos, los cuales fueron seleccionados de acuerdo con el abordaje de los HMA.

Palabras clave: micorrizas, beneficios nutricionales, fitoprotección de raíces.

ABSTRACT

The use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in agriculture is increasing, therefore the importance of searching and researching in the agronomic field on the benefits of mycorrhizae in fruit species constitutes a significant element for the improvement of crops. In this work, a documentary investigation of articles with updated information that indicated the approach of AMF in fruit trees was carried out, highlighting the successful results of their association and applicability in the agronomic area, using as units of analysis the articles published by national and international journals and the databases selected during the period from 2010 to 2020. During the compilation of the information, a total of 63 original articles published were found, distributed as follows; 12 articles were found in national journals through Google and Google Scholar; 14 articles in international journals and 37 articles in the digital library database of the University of Pamplona, which were selected according to the HMA approach.

Keywords: mycorrhizae, nutritional benefits, root protection.

Recibido: 31-05-2020

Aceptado: 01-07-2020

Publicado: 01-07-2020

Introducción

Los Hongos vesículo arbusculares (HMA) interactúan simbióticamente con cerca del 80% de las familias de plantas terrestres. La principal característica morfológica de estas micorrizas son los arbusculos, estructuras típicas de la colonización que el hongo desarrolla en el interior de las

células de la corteza de la raíz por ramificación de sus hifas. Estas estructuras le dan el nombre de arbusculares a este tipo de micorrizas (Barea *et al.*, 2018).

Los HMA constituyen un grupo funcional importante en la biodiversidad del suelo ya que pueden contribuir enormemente en la productividad de los cultivos y la sostenibilidad del ecosistema (Smith y Read, 2008). A través de sus actividades nutricionales y no nutricionales, influyen profundamente en

Autor de correspondencia: Castellanos Leónides. Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia. Correo: lccastell@gmail.com

los procesos agroecosistémicos, prestando servicios ecosistémicos de estabilización de suelos, bioprotección, biofertilización, biorregulación (Gianinazzi *et al.*, 2010; Fuentealba, 2014) y también juegan un papel importante en la biofortificación (Golubkina *et al.*, 2020), convirtiéndose en un importante recurso biológico en la estructura y funcionamiento de los suelos e incidiendo en el comportamiento ecológico, productividad y composición de comunidades vegetales naturales, así como de cultivos agrícolas (Pérez *et al.*, 2011).

Las frutas tropicales se producen principalmente en Asia, con 67,4%; América, con 20,5% y África, con 11,8%. El 0,26% restante es producido en Europa (Molina, 2016). La fruticultura colombiana está representada por diferentes cultivares de importancia económica, como; aguacate, guanábana, guayabo, lulo, mango, cítricos, maracuyá, papaya, tomate de árbol, uchuva, plátano, durazno y fresa (Asohofrucol, 2020).

La importancia de la utilización de los HMA en la agricultura es cada vez mayor, por eso la importancia de buscar e investigar en el ámbito agronómico sobre beneficios de las micorrizas en especies frutales por tal razón, existe un amplio potencial para incrementar los rendimientos a través del uso de esta biotecnología (Roveda *et al.*, 2007), favoreciendo la obtención de plantas como mayor calidad genética y fitosanitaria. El objetivo de la presente revisión bibliográfica es contribuir al conocimiento de los resultados de investigación más recientes con relación a los HMA en los frutales, sin incluir los bananos, tanto internacionalmente como en Colombia.

Materiales y métodos

a. Tipo de estudio. El presente trabajo se ejecutó en el período comprendido entre los meses de julio de 2020 y noviembre de 2020. Se realizó una investigación documental descriptiva (Quevedo *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2014) del tipo analítica (Jordi *et al.*, 2016) donde las unidades de análisis fueron los artículos y tesis recopilados en una búsqueda bibliográfica sobre resultados de investigación sobre los HMA en relación con los cultivos de frutales como aguacate, guanábana, guayabo, lulo, mango, cítricos, maracuyá, papaya, tomate de árbol, uchuva, durazno y fresa.

b. Métodos. En la compilación se incluyeron los artículos publicados en el periodo comprendido entre 2020 a 2020 de las siguientes revistas colombianas (Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, Revista Agrosavia, Universitas Scientiarum, Acta Agronómica, Agronomía colombiana, Acta Biológica Colombiana, Revista UDCA y Horticultura) y los de las revistas extranjeras (Cultivos Tropicales, Pastos y Forrajes, Revista de Uncuyo, Centro agrícola, Remexca y Pastos Tropicales) utilizando los siguientes términos índice o palabras clave: hongos micorrízicos arbusculares, micorrizas arbusculares y micorrizas en frutales. Posteriormente se utilizaron las mismas palabras clave en español e inglés en

cuatro bases de datos (Scopus, Springerlink, Science Direct y Francis and Taylor) de la biblioteca digital de la Universidad de Pamplona.

En este estudio descriptivo mediante análisis de documentos se procedió a buscar y extraer todos aquellos artículos de carácter teórico o empírico cuyo título indicará el abordaje de los HMA en frutales, cuyo resumen confirmará dicho contenido y en caso necesario los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con el objetivo, además que los resultados indicaran los beneficios de los HMA.

c. Análisis estadístico. Se realizaron comparaciones y valoraciones sobre la información recopilada en revistas colombianas y sobre estudios realizados en Colombia con respecto a revistas extranjeras y los resultados de otros territorios buscando qué tipos de estudios no se han realizado en Colombia y valorar como nuevos temas de investigación para los frutales. Se compararon los resultados de eficacia de la micorriza tanto en experimentos realizados en condiciones de invernadero, vivero, laboratorio y campo.

Resultados

Se encontraron los siguientes resultados respecto a los beneficios a nivel agronómico de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en interacción con especies frutales. Aunque las bases de datos consultadas albergan un volumen importante de información sobre los hongos micorrízicos arbusculares, probablemente exista información científica sobre el tema objeto de estudio que no haya sido identificada en ellas. Por otra parte, la búsqueda manual realizada para identificar los documentos incluidos permitió establecer una aproximación más exhaustiva sobre la situación actual de los HMA en frutales.

La búsqueda bibliográfica arrojó un total de 63 documentos publicados en el periodo comprendido entre 2010 a 2020, distribuidos así; a través de Google y Google Académico se localizaron en revistas nacionales 12 artículos; en revistas internacionales 14 artículos y en la base de datos de la biblioteca digital de la Universidad de Pamplona 37 artículos, los cuales fueron seleccionados de acuerdo al abordaje de los HMA y corresponden a temas únicamente del contexto agronómico, donde se evidencian los beneficios de los HMA en frutales.

Se localizaron 63 documentos, en diversos cultivos, que incluyen: aguacate (18), chirimoya (1), guanábana (1), anón (1), guayaba (4), manzano (2), durazno (1), papaya (11), lulo (1), uchuva (1), fresa (10) y cítricos (9). Al respecto, la prioridad dada a los estudios realizados en vivero y campo también fue evidente incluir dentro de esas 63 recopilaciones 5 trabajos de tesis. A continuación, se exponen los diversos trabajos relacionados con los HMA en distintos cultivos a nivel nacional e internacional (Tabla 1).

Tabla 1. Investigaciones por cultivo a nivel nacional e internacional

Cultivo	Nacional	Internacional
Fresa		Lingua <i>et al.</i> (2013), Cordeiro <i>et al.</i> (2019), Lizarraga <i>et al.</i> (2015), Palencia <i>et al.</i> (2013), Serret <i>et al.</i> (2016), Garcia <i>et al.</i> (2019), Castellanos <i>et al.</i> (2010), Borowicz (2010), Salgado <i>et al.</i> (2012), Albornoz <i>et al.</i> (2014).
Papaya		Quiñones <i>et al.</i> (2012; 2019), Vázquez <i>et al.</i> (2020), Pírela <i>et al.</i> (2018), Quiñones <i>et al.</i> (2014; 2014), Rodríguez <i>et al.</i> (2011), Almeida <i>et al.</i> (2016), Oliveira <i>et al.</i> (2020), Vázquez <i>et al.</i> (2011), Olawuyi <i>et al.</i> (2014).
Aguacate	Páez <i>et al.</i> (2015), Aroca <i>et al.</i> (2015), Melo (2011), Serna (2013), Osorio <i>et al.</i> (2012), Montañez <i>et al.</i> (2010).	Castro <i>et al.</i> (2013), Banuelos <i>et al.</i> (2013), Carreón <i>et al.</i> (2016; 2015; 2014; 2013), Bárcenas <i>et al.</i> (2011), Lara <i>et al.</i> (2013), Contreras (2012), Sanchez <i>et al.</i> (2011), Bañuelos <i>et al.</i> (2017), Montañó <i>et al.</i> (2019).
Chirimoya	Viera <i>et al.</i> (2017).	
Lulo	Posada <i>et al.</i> (2013).	
Uchuva	Ramírez <i>et al.</i> (2019).	
Guayaba		Ramos <i>et al.</i> (2013), Quiñones <i>et al.</i> (2020; 2018), Silva <i>et al.</i> (2013).
Manzano		Castillo <i>et al.</i> (2016), Ceustermans <i>et al.</i> (2018).
Durazno		Wu <i>et al.</i> (2011)
Anón		Coelho <i>et al.</i> (2012)
Cítricos		Wu <i>et al.</i> (2010; 2010; 2012), Simon <i>et al.</i> (2019), Navarro y Montes (2019), Zhang <i>et al.</i> (2020; 2018), Xiao <i>et al.</i> (2014), Chen <i>et al.</i> (2014).
Guanábana		Burgos (2019).

Fuente: Los autores

Discusión

En general, la información recopilada sobre la aplicación de los HMA en especies frutales a nivel internacional para la última década es variada y de alta calidad, durante la compilación de información se encontraron diversos estudios científicos relacionados estrictamente con los hongos micorrízicos y cultivos de interés agronómico. Si bien, la información encontrada no implica otros cultivos, los resultados mostrados en este trabajo muestran positivamente la aplicabilidad de los hongos micorrízicos arbusculares.

En relación con el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) es necesario conocer la diversidad de las micorrizas arbusculares, conocimiento que podría contribuir a la generación de estrategias adecuadas para su conservación, manejo y utilización (Chimal *et al.*, 2016). Con respecto a esto, Bárcenas *et al.* (2011) identificaron en seis tipos climáticos de producción de aguacate, 49 morfoespecies de HMA de los siguientes géneros: *Acaulospora*, *Ambispora*,

Archaeospora, *Entrophosphora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Pacispora*, *Racocetra*, *Sclerocystis* y *Scutellospora*. También, Carreón *et al.* (2016) identificaron una amplia gama de especies y morfotipos de HMA en la rizosfera de plantas de aguacate representados en 5 géneros *Gigaspora*, *Pacispora*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Acaulospora*. En otra investigación más reciente, se detectó que el mayor número de géneros encontrados en la rizósfera de los árboles de aguacate correspondió a la familia Glomeraceae y el género *Glomus* fue el más abundante (Montañó *et al.*, 2019).

Igualmente, se sabe que el cultivo de aguacate requiere condiciones ambientales suaves (Gutiérrez *et al.*, 2010) y se desarrolla en regiones tropicales y subtropicales donde las comunidades de HMA son muy diversas, lo que incluye la mayoría de las especies de diversas familias (Stürmer y Siqueira, 2011; Cortés *et al.*, 2012). En consecuencia, se ha estudiado una variedad de inoculantes en aguacate, generando efectos positivos; *Cetraspora pellucida* (Carreón *et al.*, 2015), *Glomus fasciculatum*, *Glomus constrictum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus geosporum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus mosseae* y *Glomus cubense* (Castro *et al.*, 2013),

Rhizophagus irregularis y *Scutellospora pellucida* (Carreón et al., 2014), *Pacispora scintillans* (Bañuelos et al., 2017) y *Cetraspora pellucida* (Carreón et al., 2015). Carreón et al. (2014) demostraron que en vivero los efectos particulares de *Acaulospora delicata*, *Acaulospora laevis*, *Glomus badium* y *Rhizophagus fasciculatus* duplicaron la biomasa de la raíz y del tallo, mientras que *Rhizophagus irregularis* y *Scutellospora pellucida* la triplicaron.

Sánchez et al. (2011) reportaron que utilización de *Glomus hoi-like* y *Glomus mosseae* estimula el desarrollo de portainjertos de aguacate en condiciones de vivero, lo cual repercute en la obtención de plantas de mayor calidad y a su vez constituyen una alternativa nutricional para este cultivo. Por otro lado, la inoculación de HMA nativas *Cetraspora pellucida* y *Pacispora scintillans* en plantas con baja fertilización, incrementaron ampliamente el diámetro del tallo (Carreón et al., 2015).

Carreón et al. (2013) observó en suelos de diferente manejo agrícola determinaron que la diversidad y riqueza de especies de HMA fue mayor en las zonas con manejo orgánico que en zonas de uso convencional. Se sabe que los sistemas agrícolas suelen albergar una menor diversidad de HMA que los sistemas naturales (Verbruggen et al., 2010).

En cuanto a los beneficios de los HMA en guayaba (*Psidium guajava* L.), se han obtenido resultados importantes. Ramos et al. (2013) indican que la inoculación de *Glomus intraradices* logra una reducción del 25 % de la fertilización mineral y de esta manera obtener un beneficio económico. La inoculación en consorcios de HMA nativos genera mejor desarrollo y calidad de la planta, además aumentan el crecimiento de las plantas de guayaba (Quiñones et al., 2020).

En condiciones de invernadero la inoculación de HMA nativos mostraron un aumento significativo en el crecimiento de las plántulas, reflejado, por ejemplo; en un mayor número de hojas, en comparación con una cepa comercial (Quiñones et al., 2018).

Otros resultados satisfactorios encontraron Silva et al. (2013) con la inoculación de *Acaulospora longula* para el control del nematodo *Meloidogyne enterolobii* induciendo mayor tolerancia y además aumento significativamente el crecimiento de las plantas. En el caso de *Meloidogyne* las plantas asociadas con HMA inducen una disminución en el número de agallas y huevos del nematodo y mejorar el crecimiento y desarrollo de la planta, repercutiendo en la reducción de daños (Silva et al., 2013).

En relación con plantas de manzano se han encontrado muy pocos resultados, pero nuevamente estos son satisfactorios. La inoculación combinada de *Acaulospora longula* y *Claroideoglossum claroideum* aumentó el crecimiento de las plantas y longitud de las raíces y redujo significativamente los nematodos en el suelo, indicando que las plántulas pueden resistir al daño causado por los nematodos ante la inoculación de HMA en condiciones de invernadero (Ceustermans et al., 2018). De igual manera, la inoculación en el inicio de la aclimatación genera un efecto positivo reduciendo de 60 a 40

días la aclimatación en invernadero y las plántulas presentan mayor expansión de sus hojas, mayor diámetro y mayor altura, respecto al control, mostrando diferencias significativas (Castillo et al., 2016). Cabe mencionar también que en durazno (*Prunus persica* L.) se conoce poca información sobre los roles potenciales de los HMA. Sin embargo, la inoculación con *Glomus mosseae*, *Glomus versiforme* y *Paraglossum occultum* mejoró significativamente el rendimiento en el crecimiento de las plantas, expresado en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el brote y la raíz en comparación con las plántulas sin HMA.

Acerca de la interacción entre los HMA y anonáceas, Burgos (2019) en portainjertos de guanábana (*Annona muricata* L.), encontró que la inoculación de un consorcio de HMA nativos (*Glomus ambisporum*, *Glomus pustulatum*, *Claroideoglossum claroideum*, *Funneliformis geosporum* y *Ambispora gerdemanni*), en comparación con dos consorcios comerciales, reflejó mejores resultados en la planta, representado en mayor crecimiento, lo que repercute en mayor altura, mayor diámetro del tallo y número de hojas, además las plantas fueron más eficientes en la acumulación de fósforo que los consorcios de HMA comerciales e igualó a las plantas fertilizadas químicamente. Por otra parte, en anón (*Annona squamosa* L.) Coelho et al. (2012) encontraron que, en invernadero, la inoculación con *Acaulospora longula* y *Gigaspora albida* favoreció el crecimiento de plántulas y la producción de raíces, determinando una mayor colonización de raíces por *G. albida* y favoreciendo más número de hojas, área foliar, masa fresca y seca de la parte aérea.

En la interacción de los HMA en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) se ha encontrado por Hristozkova et al. (2017) que la inoculación de especies nativas *Rhizophagus clarum* y *Claroideoglossum claroideum* incrementó el peso de las frutas y cambió la composición y concentración de los ácidos grasos de las frutas. Resultados similares reportaron Pérez et al. (2019) donde la inoculación de HMA nativos disminuyó significativamente la acumulación de Cd en los órganos de la planta.

En papaya (*Carica papaya* L.) las investigaciones en los últimos años evidencian que los avances en la aplicación de los HMA muestran resultados prometedores. La papaya responde positivamente ante la inoculación de los HMA y su estudio se ha abordado desde múltiples enfoques, investigaciones que muestran la importancia de la micorrización en vivero, antes de realizar el trasplante en campo (Quiñones et al., 2014). La micorrización de plántulas de papaya en vivero puede ser benéfica desde el punto de vista económico, ya que podría disminuir la estancia de las plantas e incrementar su crecimiento en menor tiempo y la aplicación de fertilizantes (Quiñones et al., 2012). El efecto de la inoculación de *Glomus* sp. Zac-2 y la fertilización con fósforo (P), sobre el crecimiento de papaya durante la etapa de vivero, sugiere que la micorrización puede beneficiar su crecimiento posterior en campo (Quiñones et al., 2014).

Rodríguez *et al.* (2011) relacionan también que la micorrización temprana en papaya reduce la necesidad de fertilización con P durante la fase de vivero obteniendo beneficios expresados en el desarrollo de la planta y estado nutricional. Vázquez *et al.* (2011) reportaron que la inoculación de papaya en etapa de vivero con *Glomus mosseae* incrementó en campo el rendimiento de fruto en 105,2%, obteniéndose una producción de 144ton·ha⁻¹ en plantas previamente inoculadas, contra 70,6 t ·ha⁻¹ en plantas sin inocular. También se ha demostrado que la inoculación de *Scutellospora fulgida*, *Funneliformis mosseae* y *Glomus manihotis* en el crecimiento inicial en vivero favorece el desarrollo e incrementa los contenidos de clorofila a y carotenoides de las plantas (Pírela *et al.*, 2018).

Por otra parte, Almeida *et al.* (2016) reportaron que la inoculación de *Gigaspora margarita*, *Entrophospora colombiana* y *Scutellospora heterogama* en ambiente protegido (invernadero) promovió un aumento del 30% en la materia seca de los brotes en relación a las plantas no micorrizadas y aumentos en el contenido de nitrógeno de las hojas y las raíces hasta 672 mg dm⁻³ P₂O₅ y la inoculación de *E. colombiana* favoreció las mayores ganancias en materia seca de raíces y brotes. Mientras que Vázquez *et al.* (2011) encontraron que la inoculación con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* aumentó significativamente la altura de la planta, el diámetro del tallo y el rendimiento al mejorar el cuaje y el peso del fruto, con respecto a las plantas no inoculadas. Estos resultados, marcados en diferencias por cada especie micorriza, concuerdan con Kim *et al.* (2017) quienes mencionan que los beneficios reflejados de una planta huésped varían con la especie de HMA utilizada.

La investigación llevada a cabo por Oliveira *et al.* (2020) ante el efecto de la inoculación de *Gigaspora candida*, *Acaulospora scrobiculata* y *Dentiscutata heterogama* sobre los componentes nutricionales, hídricos y bioquímicos de plántulas de papaya mostraron que las especies *D. heterogama* y *G. candida* presentaron las tasas más altas de hidratación foliar y el menor daño a las biomembranas en todos los niveles salinos, a nivel nutricional aumentaron la absorción de Nitrógeno (N) y fósforo (P).

En cultivares de cítricos (*Citrus* spp.) la inoculación de HMA según los estudios realizados han generado efectos satisfactorios, como el de Chen *et al.* (2014) quienes reportaron que la inoculación con *Glomus intraradices* mejoró el crecimiento, las concentraciones de Zn y la fotosíntesis en los cultivares de naranja y mandarina, asimismo Wu *et al.* (2010) encontraron que la inoculación de *Glomus mosseae* y *Paraglomus occultum* incrementaron altura de planta, diámetro de tallo, brote, raíz y biomasa total de la planta, tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática bajo estrés de NaCl de 0 y 100 mM. Resultados similares encontraron Xiao *et al.* (2014) donde la *Glomus versiforme* mejoró el crecimiento, las concentraciones de Mg en varias partes de la planta y la fotosíntesis, especialmente en condiciones pobres de Mg. También se ha determinado que la

micorrización con *Glomus mosseae* en mandarina bajo condiciones moderadas de temperatura (25°C) mantuvo un mejor diámetro del tallo, altura de la planta, área de la hoja, peso seco total y de la raíz, mayor tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática, mayor volumen de raíces y mayor absorción de P, Ca y Mg.

En otros resultados se ha determinado por Zhang *et al.* (2018) que *Funneliformis mosseae* y *Paraglomus occultum* elevaron significativamente la tasa de absorción de agua del suelo e incrementaron el potencial hídrico de las hojas de las plantas de naranja. Las plántulas inoculadas con *Funneliformis mosseae* mostraron características de crecimiento más altas, mayor potencial hídrico de las hojas y concentraciones de clorofila que las plántulas no micorrizadas en condiciones de buen riego (Zhang *et al.*, 2020).

En otros estudios, Navarro y Morte (2019) describen que la inoculación de *Rhizophagus irregularis* y *Funneliformis mosseae* tuvo un claro efecto beneficioso sobre el crecimiento de las plantas. Se ha demostrado el efecto benéfico de los HMA en un alto número de cultivos relacionado con mayor supervivencia de plantas en vivero debido al incremento en el crecimiento de raíces y mejor nutrición en estados tempranos de desarrollo, mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional bajo condiciones de campo (Smith y Smith, 2011; Chayyasen *et al.*, 2017), estos efectos se ven reflejados en incrementos de supervivencia a nivel de vivero y trasplante (Ajeesh *et al.*, 2017).

En aguacate (*Persea americana* Mill), por ejemplo; anterior a la actual década ya se había reportado mayor resistencia al estrés del trasplante, debido a que los HMA mejoran la capacidad de absorción de agua (Pimienta *et al.*, 2009), y favorece la acumulación de biomasa total en fase de vivero (Montañez, 2009).

Por otro lado, se ha demostrado que especies de micorrizas pertenecientes a la familia Glomeraceae han logrado una colonización micorrízica superior al 90% en aguacate (Páez *et al.*, 2015), corroborando esta familia como la de mayor distribución geográfica y especies cosmopolitas que también ha sido reportada por Montañez *et al.* (2010).

Referente a los beneficios de los HMA en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), la información es escasa, pero a pesar de esto ha significado positivamente su aplicabilidad, contribuyendo al mejoramiento en la absorción de nutrientes, principalmente fósforo (P), y aumentar la materia seca, lo que se refleja en el desarrollo de la plántula (Viera *et al.*, 2016). Además, se expresa en una mayor supervivencia de las plántulas; aumento del crecimiento de las plantas en menos tiempo, reduciendo así el tiempo de permanencia en el vivero, ahorro en costos de fertilizantes; y aumentos en la producción y la calidad del producto. Estos resultados favorecen lo dicho por Ramos *et al.* (2013) y Simó *et al.* (2015) quienes afirman que, en la producción de frutales, la fertilización mineral puede reducirse hasta 25% al utilizar microorganismos benéficos como los HMA.

En cuanto a algunos frutales de la familia de las Solanáceas como lulo (*Solanum quitoense* Lam), los estudios llevados a cabo por Posada et al. (2013) mostraron que la inoculación de *Glomus* sp., y *Scutellospora heterogama* en condiciones de sombra inducen plantas más altas y con mayor porcentaje de materia seca con respecto a las no micorrizadas, además ante la inoculación de *Acaulospora mellea* y estas dos micorrizas individualmente las plantas presentaron mayor área foliar, del mismo modo, las plantas inoculadas en condiciones de sol produjeron 153% y 132% más materia seca que las plantas no micorrizadas. Hay que mencionar, además que en condiciones de invernadero la inoculación de *Glomus aggregatum* modificó significativamente la longitud y área superficial del sistema de raíces en las plantas de lulo *Solanum quitoense* Lam. Mientras que Ramírez et al. (2019) encontraron alta diversidad y porcentaje de colonización de HMA asociados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en los Andes tropicales durante temporada de lluvias, así como gran abundancia relativa en época seca, determinando mayor número de especies micorrizas arbusculares en comparación con época de sequía.

La micorrización en fresa mostró una mayor concentración de las dos antocianinas principales en la fruta. Los HMA aumentaron la concentración de nitrógeno en las hojas y la concentración de fósforo en los órganos de la planta. Resultados similares describen Castellanos et al. (2010) donde obtuvieron que la micorrización y en específico *Glomus intraradices* aumenta la concentración de la antocianina (cianidina-3-glucósido) en frutos de fresa. Cordeiro et al. (2019) también demostraron que en frutos de diferentes cultivares de fresa en campo, la inoculación de plantas con HMA resultó en un incremento en el índice sólidos solubles totales/acidez y compuestos fenólicos, así mismo mejoró las características de la calidad poscosecha de las frutas.

Palencia et al. (2013) determinaron que la inoculación de *Glomus intraradices* en plantas de fresa favoreció los frutos y respecto a los grados brix. Salgado et al. (2012) inocularon plantas de fresa de la variedad Camino Real con *Glomus intraradices* y demostraron que, si bien la inoculación promueve el crecimiento, la simbiosis se desarrolla mejor a concentraciones bajas de fertilizantes nitrogenados, pero que la micorrización tiene el potencial de reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

En comparación con los demás países, Colombia ha generado mayores investigaciones respecto al número de objetivos de investigación y, además los objetivos que se han investigado en estos países también los comparte Colombia (colonización micorrízica, crecimiento, biofertilización, y bioprotección), exceptuando estudios no realizados respecto a la bioprotección contra organismos patógenos como hongos y nematodos, bioprotección contra estrés abiótico y metales pesados. Sin embargo, es de tener en cuenta que ninguno de los países ha realizado investigaciones sobre la micorrización in vitro en frutales (Pérez et al., 2015; 2012). La mayoría de los países han realizados estudios encaminados a determinar el efecto de

la micorrización en el crecimiento de las plantas durante la fase vegetativa en diversos cultivos como en aguacate (Melo, 2011; Castro et al., 2013), papaya (Pírela et al., 2018; Quiñones et al., 2014), anón (Coelho et al., 2012), durazno (Wu et al., 2011), fresa (Salgado et al., 2012) y lulo (Posada et al., 2013). Si bien es cierto, que Colombia no tiene gran diversidad de estudios investigativos en otras áreas en comparación con México, si es sustancial las investigaciones que se han realizado respecto a los demás países. Por otra parte, los temas que se han investigado en otros países fuera del continente son pocos, la mayor parte de esta información está relacionada con la producción y bioprotección a nivel abiótico y biótico son temas en los cuales no se ha investigado en el país y podrían ser nuevos temas de investigación.

Conclusiones

El empleo de HMA en frutales en el país es alentador en algunos cultivos como aguacate y papaya, pero falta definir aspectos sobre la capacidad de respuesta de cada cultivo a la simbiosis micorrízica, convirtiéndose esto en un obstáculo para la aplicación a mayor escala de esta biotecnología con fines comerciales.

Los resultados compilados tanto a nivel nacional e internacional muestran resultados favorables del empleo de los HMA en la mayoría de las especies de frutales, sin embargo, se hace necesario emprender un grupo importante de investigaciones de los HMA en relación con otros frutales que sí se han desarrollado en otros países o el propio país en cultivos como la papaya y el aguacate.

La escasa de investigación científica acerca de las especies de HMA y su potencial micorrízico limita potenciar mucho más su uso en una agricultura limpia y sostenible en la fruticultura colombiana pesar de los antecedentes existentes en algunos cultivos de frutales.

Referencias

- Abud, Y., Dorantes, N. y Trujillo, M. (2008). *Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal*. Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, 10(1): 60-70.
- Ajeesh, R., Santhoshkumar, A., Gopal, S. y Binu, N. (2017). *Screening of selected native arbuscular mycorrhizal fungi at different levels for their symbiotic efficiency with Tectona grandis seedlings*. Journal of Tropical Forest Science, 29(4): 395-403.
- Albornoz, P.L., Varela O., Díaz Ricci J.C. (2014). *Micorrizas arbusculares y endófitos septados oscuros en tres especies de Rosáceas de Argentina*. Lilloa 51: 9-19.

- Almeida, D., Pereira, W., Alexandre, P., Nunes, J. y Ferreira, W. (2016). *Growth and nutrient accumulation in mycorrhized papaya seedlings cultivated in a phosphorus-fertilized substrate*. *Revista Ceres*, 63(1): 86-94.
- Aroca, R. (2015). *Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del género Glomus sp. asociadas a rizósfera de aguacate Persea americana MILL.* *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*, 27: 50-60.
- Asohofrucol (2020). *Guía ilustrada de enfermedades y agentes causantes en cultivos frutales de importancia económica en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Bañuelos, J., Trejo, D., Lara, L., Gavito, M. y Carreón, Y. (2013). *Effects of seven different mycorrhizal inoculum in Persea americana in sterile and non-sterile soil*. *Trop Subtrop Agroecosyst*, 16(3): 423-429.
- Bañuelos, J., Sangabriel, W., Gavito, M., Trejo, D., Camara, S., Medel, R. y Carreón, Y. (2017). *Effect of different phosphorus levels on avocado inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1509-1520.
- Bárceñas, A., Varela, L., Stürmer, S. y Chávez, A. (2011). *Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate de Michoacán, México*. In *Proceedings VII World Avocado Congress*. Cairns, Australia.
- Barea, J., Pozo, M., Aguilar, C. (2018). *Significado y aplicación de las micorrizas en la agricultura*. *Revista agropecuaria y ganadera*. 999, 866-871.
- Borowicz, V. (2010). *The impact of arbuscular mycorrhizal fungion strawberry tolerance to root damage and drought stress*. *Pedobiología* 53: 265-270.
- Burgos, A. (2019). *Aprovechamiento de hongos micorrízicos arbusculares para la producción de portainjertos de guanábana (Annona muricata L.)*. https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:Fp0FKHA7HuAJ:scholar.google.com/&hl=es&as_sdt=0,5&as_vis=1
- Carreón, Y., Gómez, N., Beltrán, M., Alvarado, M. y Varela, L. (2016). *Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (Persea americana Mill) y selección de plantas trampa para su propagación*. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 18(2), 1-9.
- Carreón, Y., Vega, M., y Gavito, M. (2015). *Interaction of arbuscular mycorrhizal inoculants and chicken manure in avocado rootstock production*. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(4): 867-881.
- Carreón, Y., Aguirre, S., Gavito, M., Mendoza, D., Juárez, R., Martínez, M., y Trejo, D. (2014). *Arbuscular mycorrhizal inoculation in avocado rootstocks cv'Hass' in nurseries of Michoacán, México*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5): 847-857.
- Castellanos, V., Villegas, J., Wendelin, S., Vierheilig, H., Eder, R. y Cardenas, R. (2010). *Colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices alters the quality of strawberry fruits (Fragaria x ananassa Duch.) at different nitrogen levels*. *J. Sci. Food Agric*, 90: 1774-1782.
- Castillo, A., Montañez, A., Docampo, R., Rodríguez, P., Cabrera, D., y Zoppolo, R. (2016). *Micorrización de portainjertos de manzano micropropagados*. *Cultivos Tropicales*, 37: 7-12.
- Castro, A., Chávez, B., García, S., Reyes, R. y Bárcenas, O. (2013). *Effect of mycorrhizal inoculants in the development of Mexican landrace avocado rootstocks*. *Trop. Subtrop. Agroecos.* 16(3): 407-413.
- Ceustermans, A., Van Hemelrijck, W., Van Campenhout, J., y Bylemans, D. (2018). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on Pratylenchus penetrans infestation in apple seedlings under greenhouse conditions*. *Pathogens*, 7(4), 76.
- Coelho, I., Cavalcante, U., Campos, M., y Silva, F. (2012). *Uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na promoção do crescimento de mudas de pinheira (Annona squamosa L., Annonaceae)*. *Acta Botanica Brasilica*, 26(4): 933-937.
- Contreras, M. (2012). *Etapas óptimas de inoculación micorrízica en plántulas de aguacate (Persea americana)*. <https://docplayer.es/39066672-Etapas-optimas-de-inoculacion-micorrizica-en-plantulas-de-aguacate-persea-americana.html>
- Cordeiro, E., Resende, J., Córdova, K., Nascimento, D., Saggin, J., Orivaldo, J., Zeist, A. y Favaro, R. (2019). *Arbuscular mycorrhizal fungi action on*

- the quality of strawberry fruits. *Hortic. Bras.* 37(4): 437-444.
- Cortés, J., Vega, M., Varela, L., Martínez, M., Carreón, Y. y Gavito, M. (2012). *Comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y cambio de uso del suelo: la conversión de bosques templados a plantaciones de aguacate y maíz en el centro de México.* *Fungal Ecol.* 5, 16-23.
- Chen, Y., Hu, C. y Xiao, J. (2014). *Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth, zinc distribution and photosynthesis of two citrus cultivars grown in low-zinc soil.* *Trees*, 28(5): 1427-1436.
- Chimal, E., Montaña, N., Camargo, S., García, R. y Hernández, L. (2016). *Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México.* *Rev. Mex. Biodiv.* 87, 242-247.
- Dorantes, G., Abud, C. y Pavía, F. (2008). *Reducción de la susceptibilidad a Phytophthora capsici Leonian causante de la pudrición de raíz en jitomate (Solanum lycopersicum L.)* *Biológicas* 10: 100-108.
- Fuentealba, A. (2014). *El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas.* *Idesia (Arica)*, 32(1): 3-8.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M., Tuinen, D., Redecker, D. y Wipf, D. (2010). *Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services.* *Micorrizas* 20 (8): 519-530. doi: 10.1007/s00572-010-0333-3.
- Golubkina, N., Krivenkov, L., Şekara, A., Vasileva, V., Tallarita, A. y Caruso, G. (2020). *Prospects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Utilization in Production of Allium.* *Plants*, 9: 279.
- Gutiérrez, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., Chávez-Bárceñas, A. T. 2010. *Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México.* *Interciencia* 35: 647-653.
- Hernández, A. (2011). *Uso de pesticidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos.* *Rev. Int. Contam. Ambient.* 27 (2): 115-127.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *La metodología de investigación.* McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. Mexico DF.
- Jordi, M., Piovesan, S. y Patrón, C. (2016). *Orientaciones para realizar una monografía de Revisión.* Facultad de Odontología Departamento de Publicaciones. Universidad de Uruguay. Montevideo: Udelar.FO.
- Lara, M., Carmen, T., Aguirre, S. y Vargas, M. (2013). *Arbuscular mycorrhizal fungi identification in avocado trees infected with Phytophthora cinnamomi rands under biocontrol.* *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3): 415-421.
- Lingua, G., Bona, E., Manassero, P., Marsano, F., Todeschini, V., Cantamessa, S. y Berta, G. (2013). *Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (Fragaria x ananassa var. Selva) in conditions of reduced fertilization.* *International journal of molecular sciences*, 14(8): 16207-16225.
- Lizarraga, S., Ruiz, A., Salazar, S., Diaz, J. y Albornoz, P. (2015). *Micorrizas vesículo-arbusculares, endófitos septados oscuros y anatomía radical en Fragaria ananassa var. Camino Real (Rosaceae), en la provincia de Tucumán, Argentina.* *Rev. agron. noroeste argent.* 35(1): 11-17
- Kim, S., Eo, J., Lee, E., Park, H., y Eom, A. (2017). *Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil conditions on crop plant growth.* *Mycobiology*, 45(1): 20-24.
- Melo, P. (2011). *Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate Persea americana Mill variedad Hass en diferentes sustratos.* Maestría Ciencias Agrarias. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7311>
- Molina, N. (2016). *La producción de frutas tropicales: panorama mundial y en Argentina.* Estación experimental Agropecuaria Bella Vista, 19 p.
- Montañez, I. (2009). *Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (Persea americana L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales.* <http://www.bdigital.unal.edu.co/2619/1/790646.2010.pdf>
- Montaña, Y., Barrios, P., Paleo, S., Sandoval, M., Silva, R., y Lara, N. (2019). *Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán.* *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (23), 267-276.
- Navarro, J. y Morte, A. (2019). *Mycorrhizal effectiveness in Citrus macrophylla at low phosphorus fertilization.* *Journal of plant physiology*, 232: 301-310.

- Oehl, F., Lackzo, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., Heijden, V. y Sieverding, E. (2010). *Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities*. *Soil Biol. Biochem.* 42: 724-738.
- Olawuyi, O., Odebode, A., Oyewole, I., Akanmu, A. y Afolabi, O. (2014). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on Pythium aphanidermatum causing foot rot disease on pawpaw (Carica papaya L.) seedlings*. *Archives of Phytopathology And Plant Protection.* 47 (2): 185-193.
- Oliveira, F., Medeiros, J., Gurgel, M., Abrantes, E., Rolim, H. y Cassimiro, C. (2020). *Arbuscular mycorrhizal fungi as mitigating agents of salt stress in Formosa papaya seedlings*. *Comunicata Scientiae*, 11, e3188-e3188.
- Osorio, N., Serna, S. y Montoya, B. (2012). *Use of soil microorganisms as a biotechnological strategy to enhance avocado (Persea americana)-plant phosphate uptake and growth*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2): 6645-6657.
- Páez, F., Salazar, V., Acosta, J., y López, P. (2015). *Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (Persea americana Mill) en Caldas, Colombia*. *Acta Agronómica*, 65(4): 398-405.
- Palencia, P., Martínez, F., y Oliveira, J. (2013). *Efecto de micorrizas en plantas de fresa cultivadas en sistema de cultivo sin suelo*. *Agrícola Vergel*, 1.
- Pérez, U., Gómez, M., Ordoñez, D., Rolón, A., Ortiz, W., Ramírez, L. y Estrada, G. (2019). *Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) como estrategia para reducir la absorción de cadmio en plantas de cacao (Theobroma cacao)*. *Revista Terra Latinoamericana*, 37(2): 121-130.
- Pérez, U., Gómez, M., Narváez, Y. y Sánchez, J. (2015). *Efecto de la inoculación simple y combinada con Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular (HFMA) y Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (BPCV) en plántulas micropropagadas de mora (Rubus glaucus L.)*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1): 95-103.
- Pérez, U., Ramírez, M., Núñez, V., Franco, M. y Roveda, G. (2012). *Evaluación de un sistema para la micorrización in vitro en plantas de mora de castilla (Rubus glaucus, Benth)*. *Universitas Scientiarum*, 17(2): 140-151.
- Pérez, A., Rojas, J. y Montes, D. (2011). *Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano*. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 366-385.
- Pimienta, E., Zañudo, J. y López, E. (2009). *Efecto de las micorrizas arbusculares en el crecimiento, fotosíntesis y anatomía foliar de plantas jóvenes de Agave tequilana*. *Acta Botánica Mexicana* 89: 63-78.
- Posada, F., Olmos, J., Peñalosa, J. y Roveda, G. (2013). *Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (Solanum quitoense Lam.)*. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 16(1): 61-70.
- Pozo, M., Jung, S., Medina, A., Ráez, J., Aguilar, C., y Barea, M. (2013). *Root allies: Arbuscular mycorrhizal fungi help plants to cope with biotic stresses in: Symbiotic Endophytes (Ed: R. Aroca)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 289-307.
- Pírela, Á., Aguirre, O., Ramírez, M., Petit, B., Bracho, B. y Parra, I. (2018). *Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y del estiércol de ovino en el desarrollo inicial de la lechosa (Carica papaya L.) var. maradol roja*. *Bioagro*, 30(1).
- Quevedo, R., Díaz, C., Guglielmi, O. (2010). *Análisis comparativo de las publicaciones sobre drogodependencias en las revistas de psicología clínica y psiquiatría iberoamericanas indexadas en el Journal Citation Reports*. *Salud Ment*, 33(2):133-143.
- Quiñones, E., Rincón, G. y López, L. (2020). *Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (Psidium guajava L.)*. *Terra Latinoamericana*, 38-3: 541-554.
- Quiñones, E., Rincón, G., Fernández, A. y López, L. (2018). *Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de plántulas de guayaba (Psidium guajava L) en invernadero*. *Biocología y Sustentabilidad*, 2(1).
- Quiñones, E., López, L., Hernández, E., Ferrera, R. y Rincón, G. (2014). *Simbiosis micorrízica arbuscular y fuentes de materia orgánica en el crecimiento de Carica papaya L*. *Interciencia*, 39(3): 198-204.

- Quiñones, E., López, L. y Rincón, G. (2014). *Dinámica del crecimiento de papaya por efecto de la inoculación micorrízica y fertilización con fósforo*. Revista Chapingo. Serie horticultura, 20(2): 223-237.
- Quiñones, E., Hernández, E., Rincón, G. y Ferrera, R. (2012). *Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya*. Terra Latinoamericana, 30(2), 165-176.
- Ramos, L., Reyna, Y., Lescaille, J., Telo, L., Ramírez, M. y Martín, G. (2013). *Hongos micorrízicos arbusculares, Azotobacter chroococcum, Bacillus megatherium y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en Psidium guajava, L. var. Enana Roja cubana*. Cultivos Tropicales, 34(1): 05-10.
- Ramírez, M., Pérez, U., Serralde, D., Peñaranda, A., Roveda, G., y Rodríguez, A. (2019). *Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with cape gooseberry (Physalis peruviana L.) crops*. Agronomía Colombiana, 37(3): 239-254.
- Rodríguez, A., Azcón, R. y Jaizme, M. (2011). *Early mycorrhization of two tropical crops, papaya (Carica papaya L.) and pineapple [Ananas comosus (L.) Merr.], reduces the necessity of P fertilization during the nursery stage*. Fruits, 66(1): 3-10.
- Roveda, G., Cabra, L., Ramírez, M., y Peñaranda, A. (2007). *Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la aclimatación y endurecimiento de microplántulas de mora (Rubus glaucus)*. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 8(1), 28-36.
- Salgado, C., Bravo, A., Wang, E. y Cárdenas, R. (2012). *Efecto de la inoculación con Glomus intraradices y de la fertilización nitrogenada en el crecimiento de plantas de fresa*. Scientia Agropecuaria 2: 171-179.
- Serret, M., Espinosa, D., Gómez, O. y Delgadillo, J. (2016). *Tolerancia de plantas de fresa (Fragaria × ananassa Duch.) premicorrizadas con Rhizophagus intraradices e inoculadas con PGPR'sa Phytophthora capsici*. Agrociencia, 50(8): 1107-1121.
- Serna, S. (2013). *Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11829/1/43541087.2014.pdf>
- Silva, M., Silva, F., Yano, A., Melo, N., Pedrosa, E. y Maia, L. (2013). *Responses of guava plants to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in soil infested with Meloidogyne enterolobii*. The Plant Pathology Journal. 29(3): 242.
- Simó, G., Ruiz, M. y Rivera, E. (2015). *Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular y el suministro de nutrientes en plantaciones de banano cv. 'FHIA-18' (Musa AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado*. Cultivos Tropicales. 36(4):43-54.
- Simon, L., Bousquet, J., Levesque, R. y Lalonde, M. (2019). *Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants*. Nature, 363: 67-69.
- Smith, S. y Smith, F. (2011). *Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales*. Annual Review of Plant Biology, 62, p. 227-250.
- Smith, SE. y Read, DJ. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Tercera edición. Londres: Academic Press.
- Stürmer, S. y Siqueira, J. (2011). *Species richness and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different land uses in the western Brazilian Amazon*. Mycorrhizae. 21, 255-267.
- Verbruggen, E, Röling, W., Gamper, H., Kowalchuk, G., Verhoef, H. y Van der Heijden, M. (2010). *Positive effects of organic agriculture on underground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils*. New phytologist. 186: 968-979.
- Vázquez, M., Galarza, M., Contreras, D., García, J. y Esquivel, G. (2020). *Calidad y almacenamiento de frutos de papaya procedentes de plantas inoculadas con Glomus mosseae*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(5): 1163-1170.
- Vázquez, M., Arévalo, L., Jaen, D., Escamilla, J., Mora, A., Hernández, E., y Téliz, D. (2011). *Effect of Glomus mosseae and Entrophospora colombiana on plant growth, production, and fruit quality of "Maradol" papaya (Carica papaya L.)*. Sci Hort, 128(3): 255-260.
- Wu, Q., Li, G. y Zou, Y. (2011). *Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient*

- acquisition of peach (Prunus persica L. Batsch) seedlings.* J. Anim. Planta. Sci. 21: 746-750.
- Wu, Q. S., Zou, Y. N., y He, X. H. (2010). *Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress.* Acta physiologiae plantarum, 32(2): 297-304.
- Wu, Q. y Zou, Y. (2010). *Beneficiales roles of arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress.* Scientia Horticulturae. 125(3): 289-293.
- Wu, Q., Zou, Y., Liu, C. y Ting, L. (2012). *Interacted effect of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines on root system architecture of citrus seedlings.* Journal of Integrative Agriculture, 11(10): 1675-1681.
- Xiao, J., Hu, C., Chen, Y., Yang, B., y Hua, J. (2014). *Effects of low magnesium and an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, magnesium distribution and photosynthesis of two citrus cultivars.* Scientia Horticulturae: 177: 14-20.
- Zhang, F., Zou, Y., Wu, Q. y Kuča, K. (2020). *Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliate orange.* Environmental and Experimental Botany, 171: 103926.
- Zhang, F., Zou, Y. y Wu, Q. (2018). *Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress.* Scientia Horticulturae, 229: 132-136.

Ciencia y Tecnología Agropecuaria es una revista publicada por la Universidad de Pamplona bajo la licencia: [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (CC BY-NC-SA 4.0)

