

Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia

Bioprospecting of fungi mycorrhizal mycorrhizal as an alternative for the strengthening of the cultivation of avocado (*Persea americana* Miller) in Colombia

Bioprospecção fungos micorrízicos arbusculares como uma alternativa para fortalecer o cultivo de abacate (Persea americana Miller) na Colômbia

Sandra Patricia Montenegro Gómez¹, Silvia Eugenia Barrera Berdugo² & Carlos Mario Valencia³

¹Licenciada en Biología y Química. Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas. Magister en ciencias agrarias, énfasis suelos. Doctora en Ciencias área de concentración microbiología Agrícola.

²Bióloga, Magister y Doctora en Ciencias, énfasis en suelos y nutrición de plantas, área de concentración microbiología del suelo. ³Agrónomo, Especialista en Biotecnología Agraria

¹Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología-CIAB. Dosquebradas. Risaralda. Colombia.

²Grupo de Investigación en Ecofisiología Vegetal & Ecosistemas Terrestres-Universidad Industrial de Santander-UIS. ³Gobernación de Antioquia.

¹sandra.montenegro@unad.edu.co, ²silviaebarrerab@gmail.com, ³carlos.valencia@antioquia.gov.co

Resumen

El Aguacate (*Persea americana* Miller) es uno de los frutos de mayor consumo mundial. México es el principal productor y actualmente afronta problemas como el ataque de patógenos a la raíz y recientemente se han registrado impactos en la salud humana por uso de agroquímicos. Una alternativa para afrontar problemáticas en el desarrollo de las plantas ha sido iniciar el correcto manejo de las primeras etapas de producción y con ello mitigar problemas posteriores, en este manejo los microorganismos juegan un papel fundamental. Uno de los métodos es la inoculación con microorganismos del suelo como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA);

diversos estudios han demostrado que su colonización radicular en las plantas contribuye con la absorción de agua y nutrientes; lo cual indica que su potencialización puede contribuir en el manejo sustentable de los cultivos y como opción para fortalecer la producción. Colombia ocupa el quinto lugar en productividad a nivel mundial y lo que más resta competitividad local es el costo de los agroinsumos; en este sentido se podrían fortalecer investigaciones encaminadas a la bioprospección de HMA específicos para diversas variedades de aguacate en las regiones colombianas, ya que son poco los avances en esta temática. Avanzar tecnológicamente en el

manejo de cultivos y generar estrategias sostenibles hace parte de las perspectivas y retos de la cadena del aguacate en Colombia. Adicionalmente es prioritario entrar en la dinámica de la demanda mundial con preferencia de alimentos más sanos y cuya producción sea amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: Hongos micorrízicos arbusculares, Aguacate (*Persea americana*, Miller). Bioprospección, sustentabilidad.

Abstract

Avocado (*Persea americana* Miller) is one of the most consumed fruits in the world. Mexico is the main producer of avocado and currently Mexico faces problems such as the attack of pathogens to the root and recently there have been impacts to human health by the use of agrochemicals. An alternative to deal with problems in the development of plants has been to start the correct management of the first stages of production and with that to mitigate later problems, in this management microorganisms play a fundamental role. The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is an important method. Several studies have shown that the root colonization in plants help to the absorption of water and nutrients. It indicates that the AMF can contribute to the sustainable management of crops as an option to strengthen production. Although Colombia is the top 5 of productivity in the world level, local competitiveness is the cost of agro-inputs. To the other hand, the research aiming to bioprospection of AMF specific for avocado varieties in Colombian regions, is necessary and could be strengthened this field because of it is little know currently about advances in this theme and its influence on the strengthening of Colombian agriculture. Advancing in the crop management and generating sustainable strategies are the perspectives and challenges for the chain of avocado in Colombia. Indeed, it is a priority to get in at the dynamics of global demands preferring healthier food and friendly production to the environment.

Key-words: Arbuscular mycorrhizal fungi, Avocado (*Persea americana*, Miller). Bioprospecting, sustainability.

Resumo

Abacate (*Persea americana*, Miller) é uma das frutas mais consumidas no mundo. México é o maior produtor e atualmente passa por problemas como o ataque de patógenos na raiz e recentemente tem-se encontrado que afeta a saúde humana pelo uso de agroquímicos. Uma alternativa para resolver os problemas no desenvolvimento das plantas foi iniciar com o tratamento correto nos estágios iniciais de produção e, assim, mitigar problemas posteriores. É aqui que os microorganismos desempenham um papel fundamental. Um método é a inoculação com microrganismos do solo como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estudos têm mostrado que a colonização da raiz contribui na absorção de água e nutrientes; indicando que potencializar seu uso pode contribuir para uma gestão agrícola sustentável e assim fortalecer a produção. Por outro lado, Colômbia ocupa o quinto lugar em produtividade no mundo e que mais resta na competitividade local é o custo dos insumos agrícolas; com relação a isto, deve-se fortalecer a pesquisa de bioprospeção em FMA específicos para diversas variedades de abacate nas regiões colombianas, porque na atualidade, sabe-se pouco sobre os avanços neste tema e sua influência sobre o fortalecimento da agricultura colombiana. Avançar tecnologicamente em manejo de culturas e gerar estratégias sustentáveis é parte das perspectivas e desafios da cadeia Colombiana do abacate. Além disso, é uma prioridade para a dinâmica da demanda global de alimentos de preferência mais saudáveis visando uma produção ambientalmente amigável.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos arbusculares, Abacate (*Persea americana*, Miller). Bioprospeção, sustentabilidade.

Introducción

El aguacate (*Persea americana*, Miller) es un fruto de gran consumo mundial, con un comercio dinámico y en crecimiento. Colombia se ubica entre los cinco primeros lugares de producción de acuerdo a datos registrados por la FAO STAT hasta el año 2014, con producción anual de 288.739 t. México ocupa el primer lugar con 1.520.695 t, este país también ocupa el primer lugar mundial en consumo *per capita* y exportación (Bárceñas *et al.*, 2011). Pese a su privilegiada ubicación, México afronta problemas de producción, como el ataque de patógenos a la raíz (Graham, 2001; Morales-García, 2009, Contreras, 2012) e impactos sobre la salud humana por uso de agroquímicos (El financiero, 2016). Una alternativa para afrontar algunas de las problemáticas ha sido iniciar el correcto manejo de las primeras etapas de producción y con ello mitigar problemas posteriores, en este manejo los microorganismos juegan un papel fundamental. Uno de los métodos es la inoculación con microorganismos del suelo, como los hongos micorriza arbuscular HMA, (Contreras, 2012). Diversos estudios han demostrado que HMA además de favorecer la absorción y aprovechamiento de los nutrimentos del suelo en estas plantas, incrementan su tasa fotosintética y promueven aumento del crecimiento y mejora en la salud de las mismas. (Menge *et al.*, 1980; Azcón-Aguilar *et al.*, 1992; Bárceñas *et al.*, 2011). El papel de los HMA junto a microorganismos solubilizadores de fosfato ha dado buenos resultados en plantaciones de aguacate en otros países como Chile, Brasil y Estados Unidos (Thies & Grossman, 2006).

Factores como la especie vegetal y el tipo de suelo pueden influir en el establecimiento de la asociación HMA vs planta, así como otros factores bióticos o abióticos, por lo tanto investigaciones al respecto, deben direccionarse hacia poblaciones de HMA nativas, ya que puede existir adaptación y/o restricciones por factores locales que en algún momento podrían transformar esta relación comúnmente mutualista en una relación parasitaria (Lasso-Rivas, 2015). Tanto poblaciones nativas como foráneas de hongos micorrízicos arbusculares han sido usadas

en la agricultura como inoculantes biológicos. Ejemplos donde se evalúa el efecto de inóculos comerciales en diferentes cultivos son abundantes (Motta & Munévar, 2005; Douds Jr *et al.*, 2007; Castillo *et al.*, 2009; Fernandez *et al.*, 2011), observándose un efecto positivo en la planta derivado de la interacción con el hongo, y aunque suelo con esporas y propágulos es usado como inóculo, otros productos como inóculos líquidos, usados principalmente en horticultura, actúan como inoculante de semillas o son aplicados alrededor del tallo (<http://mycorrhizae.com/mycoapply-products/liquid/mycoapply-liquid-endo/>).

Importancia de la interacción HMA y plantas de Aguacate

Los hongos micorrízicos desarrollan una extensa red de hifas en el suelo y ofrecen una eficiente transferencia horizontal de agua y nutrientes para las plantas a partir de áreas especializadas llamadas interfaces simbióticas que interactúan con la planta hospedera (Bonfante & Genre, 2010). Los mecanismos de interacción planta/hongo micorrízico están asociados a la especie de planta hospedera y a la estructura y función de los hongos, estos pueden ser ectomicorrizas ECM, micorrizas de orquídeas, ericoides y micorriza arbusculares MA (van der Heijden *et al.*, 2015). En la raíz las ECM forman un manto alrededor de la raíz y penetran de forma intercelular la corteza de la misma, se ha encontrado que colonizan un número menor de plantas en comparación con las MA, los cuales colonizan de forma inter e intracelular la corteza de la raíz, formando arbusculos, dentro de la célula vegetal (Figura 1). Los HMA interactúan simbióticamente con el 80% de las familias de plantas terrestres encontrándose en casi todos los ecosistemas terrestres (Smith & Read, 2008; Carreón-Abud *et al.*, 2013), generando una fuerte influencia sobre el crecimiento y la productividad vegetal (van der Heijden *et al.*, 2015). Por su parte la asociación simbiótica con la mayoría de las plantas de cultivo ha despertado gran interés en contextos agronómicos para el uso potencial de HMA en la producción sostenible con tendencia a la disminución en la aplicación de insumos químicos (Lanfranco *et al.*, 2016).

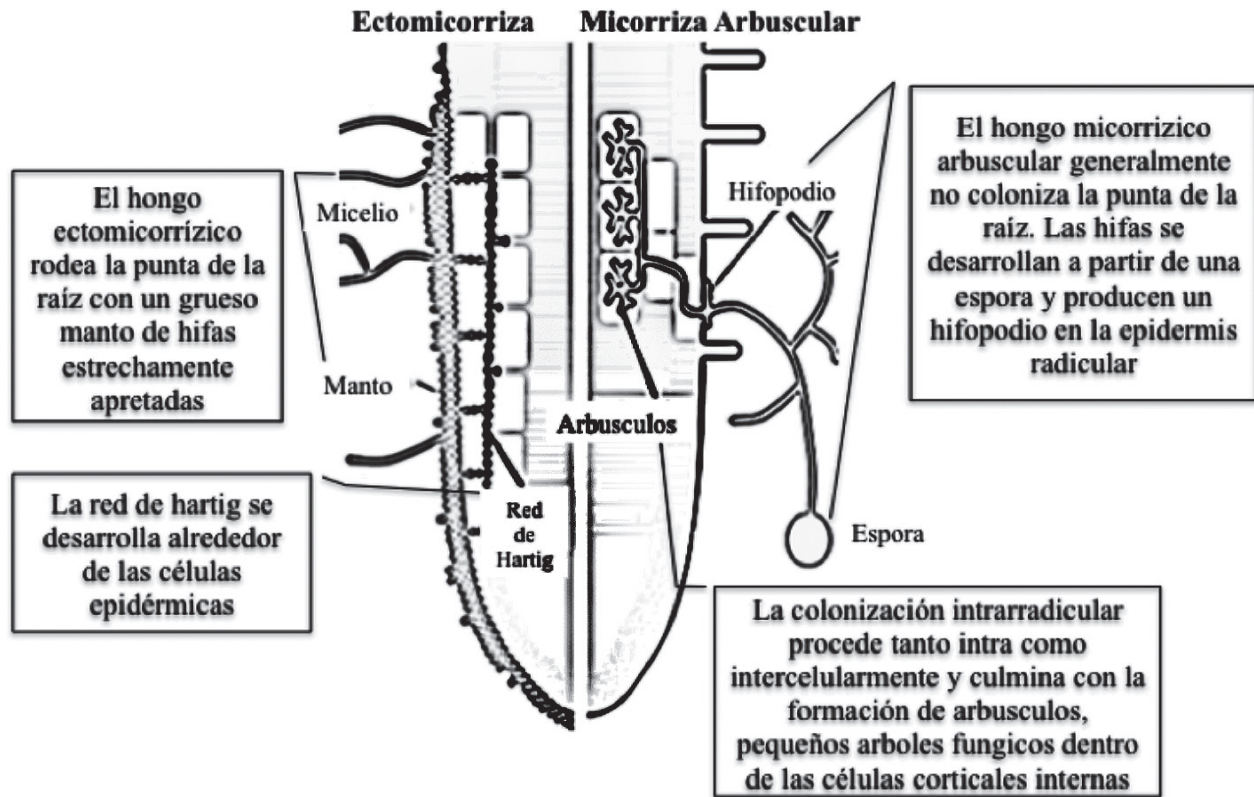


Figura 1. Ilustración de las estructuras de colonización de raíces en interacciones ectomicorrízicas (izquierda) y micorrízicas arbusculares (derecha). Fuente: Bonfante & Genre (2010).

Entre otros cultivos de interés agrícola, diversas leguminosas, cítricos, papaya, aguacate, manzana, mango, fresa y durazno han sido reportados por su interacción y resultados benéficos en desarrollo y productividad asociados a la presencia de HMA. En lo que respecta al aguacate; esta es una planta con pocos pelos absorbentes y la absorción de agua y nutrientes la realiza a través de tejidos primarios de las puntas de las raíces (Godínez *et al.*, 2000; Lavaire & Morazán, 2013), por lo tanto la asociación microbiológica aguacate/hongos micorrízicos, se convierte en un mecanismo que facilita la exploración del suelo por parte de esta planta de raíz pivotante y muy ramificada en los primeros 60 cm. (Whiley *et al.*, 1988a). Plantas con sistemas radiculares abundantes pero con pocos pelos absorbentes, como yuca, cebolla y cítricos, pueden ser altamente dependientes de la micorrización (Sánchez, 1999), mientras que plantas con un sistema radicular con abundantes raíces finas y pelos radiculares largos pueden ser poco dependientes de esta (Sieverding, 1991).

Desde la caracterización de un transportador de fosfato de alta afinidad, TP, en un HMA por Harrison & van Buuren (1995), la asociación simbiótica entre plantas y estos hongos ha sido objeto de estudio para el fortalecimiento en la toma de nutrientes en las planta y una alternativa para la fertilización agrícola sustentable, la cual complementada con otras prácticas de fertilización orgánica ha demostrado resultados muy favorables en transporte de P al interior de las plantas (Velez & Sánchez, 2014). Según lo reportado por Allen & Shachar-Hill (2009), Sieh *et al.* (2013) y Berruti (2015), el fosforo inorgánico -Pi-, N y S se pueden transferir a las plantas a través de HMA. Actualmente se sabe que existe asimilación de K⁺ derivado de la simbiosis HMA-planta, la cual podría estar relacionada con la tolerancia de la planta al estrés abiótico (Garcia & Zimmermann, 2014; Berruti, 2015). Recientemente, se han publicado estudios de metanálisis, centrados en la respuesta de cultivos a la contribución de diferentes

concentraciones de micronutrientes provenientes de la interacción con HMA (Lehmann *et al.*, 2014; Lehmann & Rillig, 2015; Berruti, 2015). Los resultados muestran incrementos de Zn en tejidos de varias plantas de interés agrícola en diferentes ambientes (Lehmann *et al.*, 2014), un efecto positivo en la absorción de Cu (Lehmann & Rillig, 2015) y mejoramiento en la productividad y en el contenido nutricional de Fe y Zn en garbanzo *Cicer arietinum* (Pellegrino & Bedini, 2014).

De acuerdo a los planes de fertilización, de modo general la extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate, en orden descendente sería la siguiente: Potasio (K_2O) > Nitrógeno(N) > Fósforo (P_2O_5) > Calcio (CaO) > Magnesio (MgO) > Azufre (S) (Bernal & Díaz, 2005). Algunos estudios revelan la efectividad de la asociación de la planta con HMAs. En la Tabla 1, se detallan algunas experiencias internacionales relevantes a nivel latinoamericano, donde México, como mayor productor del mundo lidera estudios basados en asociación de aguacate con HMA.

Tabla 1. Algunas experiencias internacionales relevantes a nivel latinoamericano en producción de aguacate asociado a HMA

Publicación	Autor/año	País
Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (<i>Persea americana</i> Miller) y selección de plantas trampa para su propagación	Carreón <i>et al.</i> (2016)	México
Interacción de inoculantes micorrízicos arbusculares y estiércol de pollo en la producción de portainjertos de aguacate	Carreón <i>et al.</i> (2015)	México
Inoculación micorrízico arbuscular en portainjertos de plantas de aguacate cv 'Hass' en viveros de Michoacán, México	Carreón <i>et al.</i> (2014)	México
Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotrófon.	Carreón-Abud <i>et al.</i> (2013)	México
Etapas óptimas de inoculación micorrízica en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i>)	Contreras, (2012)	México
Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza	Rivera <i>et al.</i> (2011)	Cuba
Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate (<i>Persea americana</i> , Miller) de Michoacán.	Bárcenas <i>et al.</i> (2011)	México
Elementos minerales y carbohidratos en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> Miller) 'carmen' inoculados con micorrizas arbusculares.	Da Silveira <i>et al.</i> (2003)	Brasil
Aplicación de vermicomposta y hongos micorrízicos en la producción de planta de aguacate en vivero.	Reyes <i>et al.</i> (2001)	México
Simbiosis Micorrízica y vermicomposta en el Desarrollo de Portainjertos de Aguacate crecidos en Sustratos Agrícola y Forestal.	Reyes <i>et al.</i> (2000)	México
Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en costa rica.	Blanco, <i>et al.</i> (1997).	Costa Rica

HMA y prospección productiva de aguacate en Colombia

El aguacate es una planta que se puede adaptar a diferentes condiciones climáticas. La producción de aguacate en Colombia pasó de tener una balanza comercial deficitaria en 2010 a ser superavitaria a partir del 2013. Los costos de producción también se han ido incrementado principalmente por el valor de los agroinsumos, que en síntesis es el componente que más resta competitividad en la fase productiva para la industria local (Minagricultura, 2015). Avanzar tecnológicamente en el manejo de cultivos

y generar estrategias sostenibles, hace parte de las perspectivas y retos de la cadena del aguacate en Colombia de acuerdo a Barreño (2014), en este sentido se podrían fortalecer investigaciones encaminadas a la bioprospección de HMA específicos para diversas variedades de aguacate en las regiones colombianas ya que hasta ahora es poco lo que se ha trabajado en esta temática. En la Tabla 2 se presentan algunos estudios relevantes realizados en el país los cuales se basan principalmente en porcentaje de colonización, caracterización de esporas nativas y respuesta de la planta.

Tabla 2. Algunas experiencias colombianas en producción de Aguacate asociado a HMA

Ubicación	Autor/año	Región
Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrizica en la rizósfera del aguacate (<i>Persea americana</i> , Mill) en Caldas, Colombia	Rivera <i>et al.</i> (2016)	Caldas
Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del genero <i>Glomus</i> sp. Asociadas a rizósfera de aguacate (<i>Persea Americana</i> , Mill)	Aranguren <i>et al.</i> (2015)	Tolima
Las interacciones de la rizósfera como base para el manejo eficiente de la nutrición y sanidad del aguacate en Colombia	Bolaños <i>et al.</i> , 2008-2011. Presente publicación (2014)	Tolima y Valle del Cauca
Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> , Miller) variedad “Hass” en diferentes sustratos.	Melo (2011)	Valle del Cauca
Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate	Serna (2013)	Antioquia
Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) variedad Hass y Nativo Antillano durante la fase de vivero.	Pérez (2013)	Caldas
Use of soil microorganisms as a biotechnological strategy to enhance avocado (<i>persea americana</i>)-plant phosphate uptake and growth	Osorio <i>et al.</i> (2012)	Antioquia
Colonización micorrizica en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> L.) en fase de vivero	Montañez <i>et al.</i> (2010)	Meta
Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales	Montañez <i>et al.</i> (2009)	Meta

El consumo global en el mercado agrícola presenta nuevas tendencias enmarcadas en agricultura sostenible, direccionadas a mejorar la calidad, el rendimiento y reducir al mínimo el uso de prácticas agrícolas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente (Montenegro & Hernandez, 2015). En el año 2002 se publicó el libro: “Aproximación al estado actual de la bioprospección” con

el resultado de diversos trabajos de investigación orientados hacia el estudio de las micorrizas (Melgarejo *et al.*, 2002). A pesar de esta iniciativa, el avance no ha sido relevante en el fortalecimiento de la agricultura colombiana. En lo que respecta al aguacate y su crecimiento productivo, es prioritario entrar en la dinámica de la demanda mundial con preferencia de alimentos más sanos y cuya producción sea

amigable con el medio ambiente, sin descuidar las condiciones de vida de los trabajadores rurales y la de sus familias (Fonseca, Muñoz & Cleves, 2011), por lo tanto las razones para iniciar prácticas que favorezcan el uso sustentable del suelo, incluyendo la relación simbiótica planta-HMA, se hacen cada vez más necesarias ya que el aumento de productividad del Aguacate en Colombia basada en prácticas agrícolas tradicionales, podría desencadenar efectos negativos tanto en plantas como en cultivadores como ocurre actualmente en México y su desbordada producción de Aguacate (El financiero, 2016). Una proyección sustentable podría basarse en la implementación productiva de aguacate basada en servicios ecosistémicos de regulación, sustentada en el mantenimiento del suelo como parte de uno de estos servicios proporcionado por los ecosistemas, que comúnmente son visibles solamente cuando los daños implican pérdidas difíciles de recuperar (FAO, 2017; Corredor, Fonseca & Páez., 2012).

Conclusiones

En Colombia, se ha estudiado poco sobre la producción de aguacate y su asociación simbiótica con HMA como herramienta biotecnológica de bioprospección. El cultivo de aguacate en Colombia indica una proyección comercial en alza al igual que el costo de los insumos agrícolas, lo cual resta competitividad en la fase productiva para la industria local y alternativas de mejoramiento en sistema de nutrición a partir de la potencialización de HMA, que podría contribuir hacia el cumplimiento de uno de los retos y perspectivas de la cadena de aguacate en Colombia fundamentada en la generación de estrategias sostenibles.

Literatura citada

- Allen, J. W. & Shachar-Hill, Y. (2009). Sulfur transfer through an arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiol.* 149, 549–560. doi: 10.1104/pp.108.129866
- Aranguren, Aroca, R., A.; Ocampo, Guerrero M. L. & Mesa López, N. (2015). Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del género *Glomus* sp. Asociadas a rizosfera de aguacate (*Persea Americana Mill*). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.* 25, p.50-60.
- Azcón-Aguilar, C, Barceló, A, Vidal, M. & De la Viña, G. (1992) Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropogated avocado plants. *Agronomie.* 12:837- 840.
- Bárceñas Ortega, A., Varela-Fregoso, L. Stürmer, S.L. & Chávez-Bárceñas, AT. (2011). Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate (*Persea americana* Miller) de Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Congreso mundial del aguacate. Recuperado de <http://www.congresomundialdelaguacate2011.com/userfiles/file/Ana%20Barceñas-Ortega%201130-1150.pdf>
- Barreño F. (2014). Estado actual y perspectivas de la cadena del aguacate en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural, Republica de Colombia.
- Bernal E., J.A. & Diaz D., C.A. (2005). Tecnología para el Cultivo del Aguacate. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico 5. 241 p.
- Blanco, F. A. & Salas, E. A. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en costa rica. *Agronomía Costarricense* 21(1): 55-67.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. & Bianciotto, V. (2015). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1559. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Bolaños Benavides, M. M. (2014). Manejo de Suelos en la producción de Alimentos Ecológicos -Las interacciones de la rizósfera como base para el manejo eficiente de la nutrición y sanidad del aguacate en Colombia. C. I. Tibaitatá de Corpoica. VI Congreso Nacional Hortofrutícola. Recuperado de: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/4Manejo%2>
- Bonfante, P. & Genre, A. (2010) Mechanisms underlying beneficial plant- fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications* 1, 48. doi: 10.1038/ncomms1046.
- Carreón-Abud, Y., Jerónimo-Treviño, E., Beltrán-Nambo, M. A., Martínez-Trujillo, M., Trejo Aguilar, D. & Gavito, M. E. (2013). Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotrófon. *Revista mexicana de micología*, 37, 29-39. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802013000100005&lng=es&tlng=es.
- Carreón Abud, Y., Aguirre Paleo, S., Gavito, M.E., Mendoza Solís, D.J., Juárez Chávez, R., Miguel Martínez Trujillo, M. & Trejo Aguilar, D. (2014). Inoculación micorrizica arbuscular en porta injertos de plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) cv 'Hass' en viveros de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.5 30 de junio 13 de agosto, p. 847-857. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500010
- Carreón-Abud, Y., Vega-Fraga, M. & Gavito, M.E. (2015). Interacción de inoculantes micorrízicos ar-

- busculares y estiércol de pollo en la producción de portainjertos de aguacate. *Journal of soil science and plant nutrition*, vol.15 no.4, 867-881. Versión On Line ISSN **0718-9516**. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162015000400005 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000060>
14. Carreón-Abud Y., Gómez Dorantes, N., Beltrán Nambu M. A., Alvarado-Herrejón M. & Varela-Fregoso L. (2016). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (*Persea americana* Mill) y selección de plantas trampa para su propagación. *Revista Biológicas Vol. 18*, No. 2, 1-9. Recuperado de: https://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/BiologicasVol-18No2_2106_1-9/205
 15. Castillo, Claudia., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, C., Borie, F. & Rubio, R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*capsicum annuum* L.). *Chileanjar*, 69(1), 79-87.
 16. Contreras Bernal, M. M. (2012). Etapas óptimas de inoculación micorrízica en plántulas de aguacate (*Persea americana*). Universidad veracruzana. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31358/1/manuelmiguelcontrerasbernal.pdf>
 17. Corredor Camargo, E., Fonseca Carreño, J. & Páez Barón, E. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), enero-junio, 77-83. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/936/934>
 18. Da Silveira, S.V., De Souza, P.V.D., Koller, O.C. & Schwarz, S.F. (2003). Elementos minerales y carbohidratos en plántulas de aguacate (*Persea americana* Miller) 'carmen' inoculados con micorrizas arbusculares. Departamento de Horticultura e Silvicultura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, p. 415-420. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p415.pdf.
 19. Douds D.D., Jr, Nagahashi G., Reider C. & Hepperly P.R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biol Agric Hort*, 25, 67–78.
 20. El financiero (2016). Economía: La 'fiebre verde' del aguacate en México, un negocio tóxico. Recuperado de: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/la-fiebre-verde-del-aguacate-en-mexico-un-negocio-toxico.html>
 21. FAO (2017). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>.
 22. FAO STAT (2014). Datos. Producción-Cultivos. Mundo Lista. Producto Aguacate. Recuperado de : <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
 23. Fernández, F.; Dell'Amico, J.M., Angoa, M.V. & de la Providencia, E. (2011). Use of a liquid inoculum of the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus hoi* in rice plants cultivated in a saline Gleysol: A new alternative to inoculate *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(2), 24-33. Available online <http://www.academicjournals.org/jpbcs>
 24. Fonseca C., J., Muñoz P., N. & Cleves L., J. (2011). El sistema de gestión de calidad: elemento para la competitividad y la sostenibilidad de la producción agropecuaria colombiana. *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, 2(1), enero-junio, 9-22. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/909/903>
 25. Garcia, K. & Zimmermann, S. D. (2014). The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. *Front. Plant Sci.* 5:337. doi: 10.3389/fpls.2014.00337
 26. Godínez, M., Martínez, M., Melgar, N. & Méndez, W. (2000). El cultivo del aguacate en Guatemala. PRO-FRUTA, MAGA, Guatemala, Guatemala. 35 p.
 27. Graham, J. H. (2001). What Do Root Pathogens See in Mycorrhizas? *New Phytologist* 149: 357–359.
 28. Harrison, M. J. & van Buuren, M. L. (1995). A phosphate transporter from the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Nature* 378, 626–629. doi: 10.1038/378626a0.
 29. Lanfranco L, Bonfante P. & Genre, A. (2016). The Mutualistic Interaction between Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Microbiol Spectrum* 4(6): FUNK-0012-2016. doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0012-2016.
 30. Lasso-Rivas, N. (2015). Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), enero-junio, 53 - 66. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1263/1599>
 31. Lavaire, L. & Morazán, F. (2013). Manual técnico del cultivo de aguacate en honduras (*Persea americana* Mill). Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). Honduras. 58p.
 32. Lehmann, A. & Rillig, M. C. (2015). Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops—A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 81, 147–158. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.11.013
 33. Lehmann, A., Veresoglou, S. D., Leifheit, E. F. & Rillig, M. C. (2014). Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants—A meta-analysis. *Soil*
 34. Menge, A, LaRue, J, Labanuskas, K & Johnson, L. (1980). The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:400-404.
 35. Melgarejo, L. M., J. Sánchez, A. Chaparro, F. NEW-MARK, M. Santos-Acevedo, C. Burbano & Reyes, C. (2002). Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia Bogotá: Cargraphics 334p.--(Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10). Recuperado de: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/ESTADO_BIOPROSPERACION.pdf
 36. Minagricultura (2015). Organización de cadena productiva del aguacate. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202015%20Diciembre.pdf>

37. Montenegro Gómez, S. & Hernández Ossa, Y. (2015). Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), julio-diciembre, 97 - 108. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1408/1732>
38. Morales-García, J.L. 2009. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de aguacate en Michoacán, México. III Congreso latinoamericano del aguacate, del 10-12 de noviembre, Medellín, Colombia. pp. 15-31.
39. Motta D., Munévar, F. (2005). Respuesta de Plántulas de Palma de Aceite a la Micorrización. *Palmas*, 26 (3): 11-20.
40. Osorio Vega, Nelson Walter, Serna Gómez, Sandra Luz & Montoya Restrepo, Beatriz Elena. (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. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200009&lng=en&tlng=.
41. Montañez Orozco, B.I. (2009). Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* Lineo.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Exactas Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/11052852.pdf>
42. Montañez Orozco, I., Vargas Sarmiento, C., Cabezas Gutiérrez, M. & Cuervo Andrade, J. (2010). Colonización micorrízica en plantas de aguacate (*Persea americana* L.). *Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13 (2): 51-60. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a07.pdf>
43. Pellegrino, E. & Bedini, S. (2014). Enhancing ecosystem services in sustainable agriculture: biofertilization and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 68, 429–439. doi:10.1016/j.soilbio.2013.09.030
44. Pérez Melchor, E.J. (2013). Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass y Nativo Antillano durante la fase de vivero. (tesis de pregrado) Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales, Colombia. Recuperado de <http://biblio.ucaldas.edu.co:8000/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=46399>
45. Reyes Alemán, J. C. Ferrera Cerrato, R., Cortés Flores, J.L. & Alarcón, A. (2000). Simbiosis micorrízica y vermicomposta en el desarrollo de porta injertos de aguacate crecidos en sustratos agrícola y forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Recuperado de http://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1998-2001/CICTAMEX_1998-2001_PG_064-079.pdf
46. Reyes Alemán, J. C., Ferrera Cerrato, R. & Alarcón, A. (2001). Aplicación de vermicomposta y hongos micorrízicos en la producción de planta de aguacate en vivero. Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX S.C y Área de Microbiología, Especialidad de Edafología. IRENAT-CP. México. Recuperado de: http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-2001/cictamex_1998-2001_pg_080-087.pdf
47. Rivera Espinosa, R.A., Martín Cárdenas, J.V., Calderón Puig, A. & Torres Hernández, A. (2011). Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos tropicales vol.32 no.2, abril-jun*, 23.29. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000200007
48. Rivera Páez, F.A., González Salazar, V., González Acosta, J.G. & Ossa López, P.A. (2016). Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Miller) en Caldas, Colombia. *Acta Agronómica*, vol.65 no.4, 398-405. Versión impresa ISSN 0187-3180. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.51714>
49. Sánchez, M. (1999). Endomicorizas en agroecosistemas colombianos. 1era ed. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1-227.
50. Sieh, D., Watanabe, M., Devers, E. A., Brueckner, F., Hoefgen, R., & Krajinski, F. (2013). The arbuscular mycorrhizal symbiosis influences sulfur starvation responses of *Medicago truncatula*. *New Phytol.* 197, 606–616. doi: 10.1111/nph.12034
51. Sieverding, E. (1991). Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agosystems. *Plant Physiology*, 13, 220-350.
52. Smith S. E. & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis, Third Edition. Elsevier Ltd., London, England.
53. Thies, J. & Grossman, J.M. (2006). The soil habitat and soil ecology. pp. 59-78. In: Uphoff N. (ed.). Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Boca Raton, FL. 764 p.
54. 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 Phytol*, 205: 1406–1423. doi:10.1111/nph.13288
55. Vélez Zabala, F. & Sánchez de Prager, M. (2014). Dinámica de los hongos de Micorriza Arbuscular (MA) en un Humic Dystrudepts sembrado con maíz *Zea mays* L. y Abonos Verdes (AV). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), enero-junio, 69-79. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/915/905>
56. Whiley, A.W., Chapman, K.R. & Saranah, J.B. (1988a). Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39, 457–467.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 05 de 2016
Aceptado: agosto 30 de 2016

