

Respuesta de plántulas de aguacate (*Persea americana*) bajo invernadero a diferentes inóculos micorrizales

Response of avocado (*Persea americana*) seedlings under greenhouse to different mycorrhizal inocula

Christian Felipe Román Cardona*, Jorge Alberto Sierra Escobar** y Octavio Augusto González Murillo ***

Resumen

Se realizó un experimento bajo condiciones controladas para determinar la respuesta de plántulas de aguacate (*Persea americana*) a la inoculación con diversos inóculos micorrizales. Para tal fin se evaluaron cinco inóculos micorrizales (comercial A, natural, comercial B, *Glomus manihotis*, *Glomus intraradices*, y control negativo); además, se utilizó un sustrato inerte, el cual fue ajustado a un nivel de fósforo en la solución del suelo de 0,02 mg L⁻¹, donde se colocaron las semillas de aguacate en su respectiva unidad experimental. El diseño experimental fue completamente al azar con 5 tratamientos. Se emplearon como variables de respuestas, el P foliar absorbido, la masa seca aérea, y la colonización micorrizal. Los resultados indican que no se presentaron diferencias significativas (LSD, P a 0.05) con el contenido de P foliar entre los tratamientos. En cuanto a masa seca aérea –MSA–, sí existieron diferencias significativas cuando se compararon los inóculos multiespóricos (natural, comercial A y comercial B) con los monoespóricos (*Glomus manihotis* y *Glomus intraradices*). Aunque no se evidenciaron estructuras de los HMA en el interior de las raíces, sí se observaron externamente puntos de infección (apresorios) en las paredes de las mismas. Las plántulas de aguacate aquí evaluadas respondieron a la aplicación de los hongos micorrizo arbusculares, aunque con una mejor respuesta por parte de los inóculos multiespóricos.

Palabras clave: Aguacate, fósforo, inóculo micorrizal, respuesta micorrizal.

* Estudiante de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Unidad de Sanidad Vegetal. Universidad Católica de Oriente - UCO. Rionegro, Antioquia, Colombia. Correo electrónico: piperoman87@hotmail.com

** Magister en Bosques y Conservación Ambiental, Magister en Ecoauditorías y Planificación Empresarial. Grupo de Investigación Estudios Florísticos. Docente medio tiempo Facultad de Ingenierías. Universidad Católica de Oriente - UCO. Rionegro, Antioquia, Colombia. Correo electrónico: jsierra@uco.edu.co

*** Ingeniero Agrónomo, Director Técnico de Abonamos S.A. Correo electrónico: octaviog@abonamos.com



Abstract

An experiment was conducted under controlled conditions to determine the response of avocado (*Persea americana*) seedlings to inoculation with different mycorrhizal inoculants. For this purpose five mycorrhizal inoculum (commercial A natural, commercial B, *Glomus manihotis*, *Glomus intraradices*, and negative control) were evaluated. Additionally, an inert substrate was used, which was set at a phosphorus level of 0.02 mg L⁻¹ on the soil solution, where avocado seeds were placed within their respective experimental unit. The experimental design was accomplished in an entirely random way, with 5 treatments. As response variables absorbed P foliar, dry air mass and mycorrhizal colonization were used. Results indicate there were no significant differences (LSD, P 0.05) in P foliar uptake between treatments. On the contrary, dry air mass showed significant differences when comparing multisporic inocula (natural, commercial A and commercial B) to monosporic inocula (*Glomus intraradices* and *Glomus manihotis*). Even though AMF structures were not apparent in the roots, infected points (appressoria) were observed externally on the wall. Avocado seedlings undergoing testing showed to be responsive to the application of arbuscular mycorrhizal fungi, but with a better response from multisporic inocula.

Keywords: Avocado, phosphorus, mycorrhizal inocula, mycorrhizal responsiveness.

Introducción

El aguacate (*Persea americana*), planta perteneciente a la familia Lauraceae tuvo su origen en las partes altas del centro de México y de Guatemala (Williams, 1977). Existen evidencias muy antiguas del consumo de aguacate encontradas en una cueva, región de Tehuacán, Puebla, México, que se dataron entre los años 8000-7000 a.C. (Smith, 1966). Se conocen tres razas de aguacates y se diferencian por su morfología, lugar de origen y clima en el que se desarrollan: la raza mexicana (que crece en altitudes superiores a 1.700 m), la guatemalteca (que crece en altitudes de 1.000 a 2.000 m) y la antillana (adaptada hasta los 1.000 m) (Bernal y Díaz, 2005). Esta especie tiene un tronco fuertemente ramificado, que puede alcanzar de 8 a 12 metros de altura, y un sistema radicular constituido por una raíz que a veces alcanza profundidades de hasta 4 m, vigorosa, aunque la masa radicular es relativamente superficial. Se considera un árbol perennifolio (posee follaje durante todo el año), de hojas alternas, pecioladas, muy brillantes, y flores perfectas en racimos subterminales. Este

árbol prospera en terrenos arenosos o franco arenosos con buen drenaje y abundante materia orgánica y temperatura óptima de 17 °C a 29 °C, se debe evitar los terrenos muy pesados y mal drenados (Marín, 2010).

Desde el punto de vista nutricional, el aguacate necesita nutrientes como el fósforo (P), un elemento esencial para el buen desarrollo del cultivo, clave para favorecer el desarrollo radical y a la vez regular todo lo relacionado con la fecundación y maduración de los órganos vegetativos (Crowley, 1992; Domínguez, 1984). Adicionalmente, García et al. (1983) afirman que el P cumple un papel importante en la fructificación del aguacate, y las irregularidades en su suministro pueden ser la causa de fluctuaciones en la producción de las cosechas. Además, Menge et al. (1980) encontraron que altas concentraciones de nitrógeno (N) en las hojas se correlacionaban directamente con altas concentraciones de P en las plántulas de aguacate inoculadas con micorrizas, así como altas aplicaciones de P (640 mg k⁻¹) mejoran la absorción de N en plantas no micorrizadas.

Actualmente, se aplican hongos micorrizo arbusculares (HMA) para mejorar la absorción de P en las plántulas de aguacate, a fin de incrementar la productividad del cultivo (Reyes et al., 1977).

Los HMA forman una relación simbiótica entre algunos hongos y raíces de una planta hospedera, son una de las estrategias más exitosas desarrolladas por las plantas para superar el estrés que ocurre durante la colonización de los ecosistemas terrestres (Allen, 1996), además, se cree que estos hongos se asocian con el 80% de las especies de plantas conocidas (Peterson et al., 2004). Factores como la acidez y el contenido de materia orgánica y P, Ca, Al, Fe y Mg en el suelo, inciden sobre el buen establecimiento y desempeño de la simbiosis, lo cual se refleja en la capacidad de colonización del hongo y su producción de esporas (Prada, 2009). El potencial de uso de los HMA, como agentes biorreguladores del crecimiento, biofertilizantes y biocontroladores, se presenta mayormente en la etapa de vivero, como una alternativa interesante para los productores, cuyos beneficios redundan en la reducción de costos de producción y la obtención de plantaciones de mayor vigor y calidad en menor tiempo (Montoya, 2007).

Infelizmente, no es muy clara la relación de los HMA con sus plantas hospederas, incluyendo aguacate. Algunos estudios han demostrado que a pesar de que los hongos micorrizales son generalistas, existe cierta afinidad de algunas especies de hongos con ciertos grupos de plantas, por ejemplo evidencias recientes obtenidas con técnicas moleculares indican que las plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA, basados en los efectos diferenciales sobre el crecimiento vegetal (Vandenkoornhuysen et al., 2002). Aunque esta especificidad no es absoluta, puede influir de un modo importante, no solo en la productividad de las comunidades vegetales (Van der Heijden et al.,

1998) sino también en la diversidad, las relaciones competitivas y el funcionamiento general de los ecosistemas naturales. Cabe resaltar también que la relación con los HMA es muy importante, pues son micorrizógenos obligados, es decir, necesitan una planta hospedera para su óptimo desarrollo (Prada, 2009).

Por otro lado, Menge et al. (1980) y Godínez et al. (1986) observaron que el aguacate en vivero tiene mayores efectos con la implementación de los HMA, mayor crecimiento y estado nutricional debido a la simbiosis. Además, Vidal et al. (1992) sugieren que para la multiplicación en la propagación *in vitro* de plántulas de aguacate es necesario el uso de micorrizas, lo que convierte a los HMA como factor clave en la micropropagación de aguacate y otros frutales. En países como México, Chile, Brasil y Estados Unidos (California), el uso de los hongos micorrizo-arbusculares como alternativa biotecnológica en la fase de vivero en el cultivo de aguacate ha sido exitoso por reducir el estrés postraspante (Menge et al., 1978; Hernández, 2001). Infortunadamente, en Colombia el uso de los HMA en aguacate no se ha desarrollado de manera adecuada, a pesar del creciente interés de los asistentes técnicos y productores (Montoya, 2007).

En este sentido, el crecimiento y desarrollo del aguacate se han visto afectados por la baja disponibilidad de P en el suelo, lo cual es una de las limitaciones más serias para el crecimiento y la productividad vegetal de los agroecosistemas colombianos (Montoya, 2007). La solución a este problema es utilizar adecuadamente los HMA, ya que mejoran la eficiencia de la fertilización y el uso de P por parte de las plantas; además, enriquecen la microflora del suelo, con lo cual se aumenta el tamaño y vigor de las plantas y se incrementa la producción de las frutas (Castro y Díaz, 2001).

En los últimos años, ha crecido notablemente el interés por el cultivo de aguacate en Colombia, con estimados de aproximadamente 22.000 hectáreas (ICA, 2010), y en el departamento de Antioquia se ha incrementado el número de hectáreas plantadas, sobre todo en la región del Oriente antioqueño y sus municipios de El Retiro, La Ceja, Guarne, El Peñol, Marinilla, Santuario, Abejorral, San Vicente y Sonsón, con 2.300 ha sembradas principalmente con la variedad Hass (Corpoaguacate, 2011). Aunque Colombia ocupa una buena posición a nivel mundial en cuanto a producción de aguacate, no alcanza a ser competitivo frente a otros países productores de la fruta. Por tanto es prioritario mejorar la información sobre el proceso productivo del aguacate, en especial en aspectos como la fertilización fosfórica apoyada con la aplicación de bioinsumos como los HMA. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación consiste en determinar la respuesta de plántulas de aguacate bajo invernadero ante la aplicación de diversos inóculos de HMA.

Objetivo general

Determinar la respuesta del aguacate (*Persea americana*) a la aplicación de diferentes inóculos micorrizales.

Objetivos específicos

- Determinar si existen diferencias en la masa aérea entre los inóculos evaluados.
- Determinar si existe una relación entre la colonización micorrizal y la masa aérea.
- Evaluar el efecto de la concentración de P y el desarrollo de las plantas.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se realizó bajo condiciones protegidas en el municipio de Guarne (Antioquia)

en cercanías a la autopista Medellín-Bogotá (6° 17' 55" N, 75° 24' 20" W, altitud de 2.150 m). El sitio se encuentra en una zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) con promedios anuales de temperatura de 17 °C y precipitación de 1.700 mm (Espinal, 1977).

Sustrato de crecimiento

Como sustrato para la germinación de semillas se utilizó arena, la cual se transfirió a un germinador de 0,5 m de ancho por 1 m de largo y 0,5 m de profundidad; una vez dentro del germinador, se desinfectó el sustrato con 50 g de basamid y se mantuvo tapado con un plástico durante 15 días, luego se destapó, volteó y humedeció la arena, y se repitió el proceso por 15 días más, para finalmente destaparlo y sembrar las semillas. A los 60 días de germinadas las semillas, se trasplantaron a bolsas plásticas calibre 2 de 22 cm de diámetro por 29 cm de altura llenas de arena desinfectada por el método anterior. Las plántulas permanecieron 90 días hasta alcanzar alturas entre 60 y 70 cm (figura 1).

Para el experimento principal las plántulas fueron trasplantadas a envases plásticos de 30 cm de diámetro por 28,5 cm de altura. El sustrato de los potes fue una mezcla inerte (cuarzo 50%, arena 40%, arcilla 10%), esterilizada en autoclave por 1 hora a 120 °C. Los datos generales del sustrato fueron: contenido de humedad 30%, pH 6,8 y P ajustado a una concentración de 0,02 mg L⁻¹ en la solución del suelo, con el fin de tener un nivel óptimo para la asociación micorrizal (Habte & Manjunath, 1991). El P aplicado al momento de la siembra fue 4 x 10⁻⁵ kg, se usó como fuente KH₂PO₄ con base en los resultados de la isoterma de adsorción de P (Fox y Kamprath, 1970).

Cada unidad experimental recibió quincenalmente 70 mL de la solución nutritiva Hoagland libre de P, que tenía las siguientes cantidades (mg L⁻¹): NH₄NO₃ (1 mL), KNO₃ (6 mL), Ca(NO₃)₂ (4 mL), MgSO₄ (1 mL), KH₂PO₄ (1 mL), micronutrientes

(1 mL). El sustrato se mantuvo entre el 50 y 60% de su máxima capacidad de retención de agua, con la adición de agua corriente o la solución nutritiva mencionada (Habte y Osorio, 2001).

Material vegetal

Las semillas de aguacate procedían de árboles nativos ubicados en el municipio de Sonsón. Todas las semillas se lavaron con agua destilada y se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1% durante media hora antes de ser transferidas al germinador.



Figura 1. Plántulas de aguacate germinadas y trasplantadas a bolsa.

Procedencia del inóculo

El sustrato de cada pote se inoculó y se mezcló uniformemente con una dosis de 500 propágulos/g por kg de sustrato. Para lo cual se utilizaron cinco inóculos así: dos inóculos crudos procedentes del CIAT (*Glomus manihotis* y *Glomus intraradices*), dos inóculos

comerciales considerados como multiespóricos (Comercial A y Comercial B), uno natural con efectividad simbiótica conocida (Sierra, 2006), y un control negativo no inoculado (NI) que recibió 7 kg de sustrato estéril, para un total de seis tratamientos, con base en la metodología de Porter (1979) (tabla 1).

Tabla 1. Densidad de propágulos infectivos en inóculos evaluados, basado en la metodología propuesta por Porter (1979).

Fuente de inóculo	Densidad (Propágulos infectivos/g/suelo)	Dosis Inóculos micorrizal (g kg ⁻¹)
Natural	500	12,19
Comercial A	500	8,3
Comercial B	500	16,12
<i>G. intraradices</i>	500	0,27
<i>G. manihotis</i>	500	0,68

Diseño experimental

Antes de realizar el análisis estadístico se comprobaron los supuestos. Para verificar que los residuales estandarizados se distribuyen normalmente con media cero y varianza uno, se graficaron los residuos estandarizados con la variable independiente. Para las variables fósforo foliar y masa seca aérea –MSA–, se pudo constatar que cumplen el supuesto de normalidad, es decir que en el H_0 los residuos del grupo i son normales, y dado que el valor $-p > 0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula y por lo tanto asumimos que se cumple el supuesto de normalidad.

El diseño experimental fue completamente al azar, con seis tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de varianza (prueba de F), y la separación de las medidas se hizo con la prueba de rangos múltiples de Duncan, para lo cual se empleó un nivel de significancia P_{α}

0,05. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics. Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad, y los tratamientos fueron comparados por la mínima diferencia significativa –LSD–.

Variables de respuesta

Contenido de P foliar. Se realizaron mediciones periódicas (cada 20 días) del contenido de P en las hojas jóvenes completamente maduras (Habte y Osorio, 2001). Para tal fin, una porción circular del tejido foliar se removió con un perforador (6 mm de diámetro) (figura 2). El contenido de P se expresó en términos de μg por disco de hoja. El P fue determinado por el método del azul de molibdato (Murphy y Riley, 1962) luego de reducir los discos de hoja a cenizas en mufla a 500 °C por 3 h. Este método de muestreo no destructivo fue originalmente propuesto por Aziz y Habte (1987).



Figura 2. Muestreo del disco de hoja en plantas de aguacate.

Masa seca aérea –MSA–. Para la cosecha se hizo el corte de cada plántula en el cuello de la planta, se llevó la parte aérea al horno, luego se secó el material vegetal en horno a 60 °C por 72-96 horas y finalmente se pesó cada unidad experimental.

Colonización micorrizal. Para conocer la colonización micorrizal, se sometieron raíces

finas de las plantas a KOH para la aclaración, durante 24 horas (Phillips y Hayman, 1970), luego se blanquearon con peróxido durante 30 minutos, se aplicó HCl al 10% para acidificarlas y se colorearon con azul de Tripano durante 24 horas (Kormanik et al., 1980). Posteriormente se determinó la colonización micorrizal siguiendo el método de intercepto de líneas propuesto por Giovannetti y Mosse (1980).

Resultados y discusión

Contenido de P foliar

La inoculación micorrizal no tuvo efectos significativos en el contenido de P foliar cuando se compararon los diferentes tratamientos (figura 3). Este comportamiento puede obedecer al número de propágulos infectivos aplicados (500 kg suelo) en función de los tratamientos. Resultados similares en aguacate fueron obtenidos por Montoya (2007), con promedios del contenido de P foliar a $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ entre 2,6 y $3,2 \mu\text{g}$ por disco de hoja en los diferentes días de muestreo al final del experimento, sin dife-

rencias entre los tratamientos inoculado y no inoculado. Datos parecidos encontraron Sierra et al. (2009) en plántulas de laurel (*Ocotea* sp.) cuando se compararon los tratamientos inoculados y no inoculados, con valores en el contenido de P foliar entre 1,5 y $2,1 \mu\text{g}/\text{disco}$ de hoja al mismo nivel de P ($0,02 \text{ mg L}^{-1}$) evaluado en el presente experimento.

Es de anotar que en todos los tratamientos se presentó un incremento significativo del contenido de P foliar en disco de hoja, en el último día de muestreo, comparado con los demás días ($P = 0,000001026$) (figura 3).

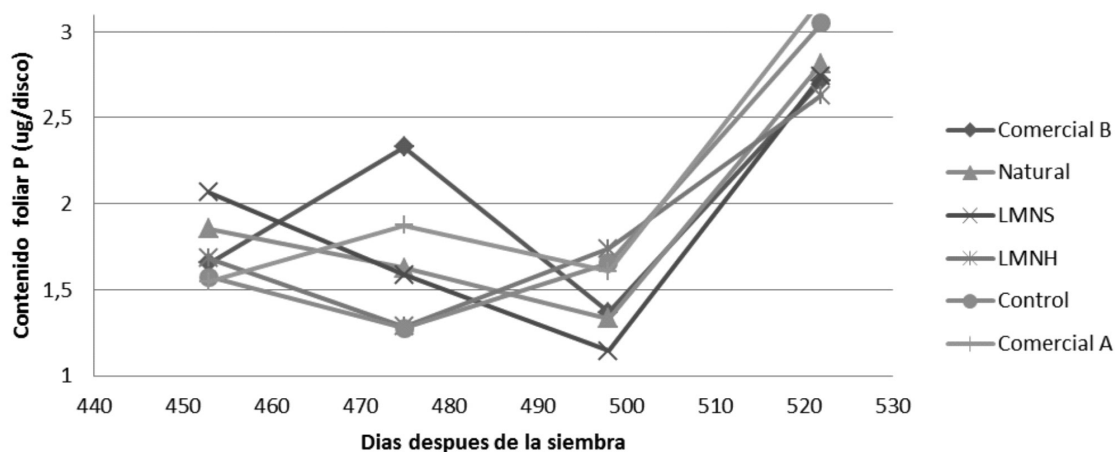


Figura 3. Promedio de P en los discos de hoja de aguacate en función de la concentración de P en la solución del suelo y la inoculación micorrizal. No se presentaron diferencias significativas (LSD, $P 0,05\%$) entre los promedios comparados.

Masa seca aérea -MSA-

La masa seca aérea de aguacate tuvo diferencias significativas entre algunos tratamientos, como es el caso del inóculo natural comparado con los tratamientos LMNS (*G. intraradices*) y LMNH (*G. manihotis*), los demás tratamientos (Comercial A, Comercial B y control) no presentaron diferencias en relación con la inoculación micorrizal del suelo (figura 4). Es de anotar que los tratamientos Comercial B y control

manifiestan un comportamiento similar, lo que podría indicar la contaminación del tratamiento control por un tipo de hongo similar al que compone el tratamiento de Comercial B. Este último comportamiento será explicado más adelante (tabla 2).

Datos de masa seca aérea de otros estudios en aguacate presentan resultados contrastantes. Montañez (2009) y Montoya (2007) encontraron diferencias significativas entre la MSA de los

tratamientos inoculados y no inoculados, aunque sólo Montoya (2007) trabajó con el mismo nivel de P ($0,02 \text{ mg/L}^{-1}$) utilizado aquí. Contrariamente, Melo (2011) no encontró diferencias significativas en la MSA de aguacate cuando se compararon los tratamientos inoculados y no inoculados. Esto prueba la variabilidad del aguacate a la inoculación. Se debe aclarar que lo que

diferencia el presente trabajo con los anteriores estudios, es que desde el comienzo se aplicaron cantidades diferenciales de los inóculos de los respectivos tratamientos en función de su número de propágulos infectivos, por lo que se tenía como hipótesis inicial no encontrar diferencias entre tratamientos, lo que se evidenció en parte en los resultados obtenidos.

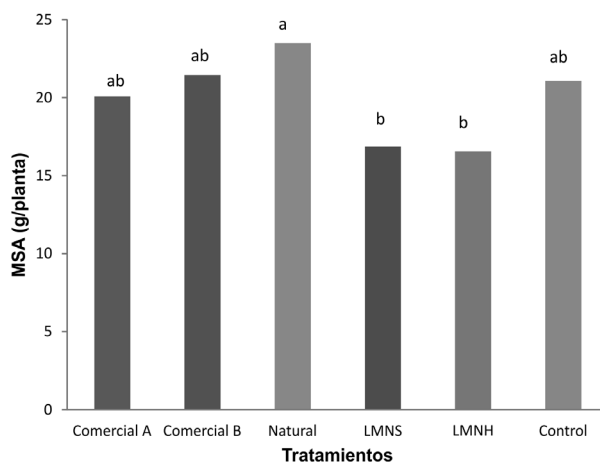


Figura 4. Masa seca aérea (MSA) del aguacate en función de la concentración de P ($0,02 \text{ mg L}^{-1}$) en la solución del suelo y la inoculación micorrizal. Las letras denotan la mínima diferencia significativa (LSD, $P \leq 0.05$).

El tratamiento control fue estadísticamente similar a los demás tratamientos (figura 4), lo cual es explicable porque se encontró contaminación de esporas viables en el tratamiento (tabla 2). Esta contaminación se generó posiblemente

por la cercanía de las camas de producción de inóculo comercial A, que estaban a pocos metros del ensayo, y se ratifica cuando se comparan el tratamiento Comercial A y el control, en donde se aprecian resultados similares (figura 4).

Tabla 2. Conteo de esporas a la unidad experimental de control negativo.

Tratamiento	Número de esporas/gramo
Control R1	15
Control R2	11
Control R3	7
Control R4	13
Control R5	7

Los resultados de MSA en aguacate muestran alguna afinidad de esta planta por diferentes mezclas de inóculos (figura 4). Trabajos de Cuenca et al. (2007) van en este sentido, ya que dichos autores realizaron estudios en lechuga y yuca con diferentes inóculos micorrizales y encontraron que a la lechuga en invernadero y en campo le fue mejor cuando se aplicó como inóculos *Glomus manihotis* y *Scutellospora fulgida*, por el contrario, en yuca el mejor inóculo fue *Glomus manihotis*. Los resultados del presente estudio sugieren una mayor diversidad funcional de aguacate, ya que la mejor respuesta se manifestó en los tratamientos que tenían diversidad de HMA (figura 4).

La masa seca aérea de aguacate está en función del tiempo, el momento de inoculación y el clima; otros estudios en aguacate presentan datos contrastantes en cuanto a masa aérea. Por ejemplo, Melo (2011) obtuvo valores entre 4 y 6 g de MSA a 150 días después de la siembra, cuando aplicó 20 g kg de inóculo micorrizal, valores muy inferiores a los aquí presentados; de otro lado, Montoya y Osorio (2009) presentaron resultados con valores de MSA de 49 g en promedio en el control inoculado con *Glomus fasciculatum* en plantas de aguacate al mismo nivel de P utilizado y 150 días después de la siembra. Este último dato evidencia mayor respuesta de aguacate a la inoculación, en comparación con los presentes resultados (figura 4), lo cual pudo deberse a la inoculación tardía de las plántulas utilizadas en los diferentes tratamientos, que fueron aplicados seis meses después de la germinación de las semillas. En este sentido, Gianinazzi y Vosatka (2004) reportan que para obtener mayor efectividad se deben inocular las plantas lo más rápido posible, para que una vez que las semillas hayan germinado se incremente la infección. En las familias de plantas como la Lauraceae, de semillas grandes, se debe evaluar muy bien el periodo de inoculación, ya que se debe esperar

a que la plántula consuma los nutrientes de los cotiledones para que exista buena colonización. Janos (1980) reportó en varias especies arbóreas tropicales, que existe gran diferencia entre las semillas grandes y las pequeñas desde el punto de vista de la simbiosis micorrizal. Para este autor, las especies con semillas grandes tienen una asociación con HMA obligada, mientras que las de semillas pequeñas con diámetros inferiores a 1 cm de diámetro tienen una asociación facultativa.

Colonización micorrizal

Los métodos empleados para medir el porcentaje de colonización micorrizal (Phillips y Hayman, 1970; Kormanik et al. 1980) no fueron satisfactorios, ya que no permitieron detectar la presencia de estructuras ni propágulos infectivos en las raíces, a causa de las raíces gruesas de aguacate, por lo que no se obtuvieron resultados sobre la colonización micorrizal. Se intentaron métodos más agresivos con el fin de evidenciar las estructuras del hongo, como sumergir las raíces al baño María a 90 °C por una hora y aplicar peróxido de hidrógeno alcalino durante 30 minutos, para luego colorearlas con azul de triplano durante 24 horas, pero tampoco fueron satisfactorios. Después del proceso de tinción, solo se evidenciaron puntos de entrada de los HMA, como apresorios en la pared de la raíz. Lo que en parte evidencia la entrada del hongo.

P foliar final al momento de la cosecha

Aunque la absorción de fósforo foliar al momento de la cosecha en los diferentes tratamientos no tuvo diferencias significativas (figura 5), el fósforo foliar absorbido presentó valores altos entre 2,6 y 3,2 µg/disco. Resultados similares, cuando se inoculó HMA, fueron obtenidos por Sierra et al. (2009) y Montoya (2007) en disco de hoja de laurel y aguacate, respectivamente.

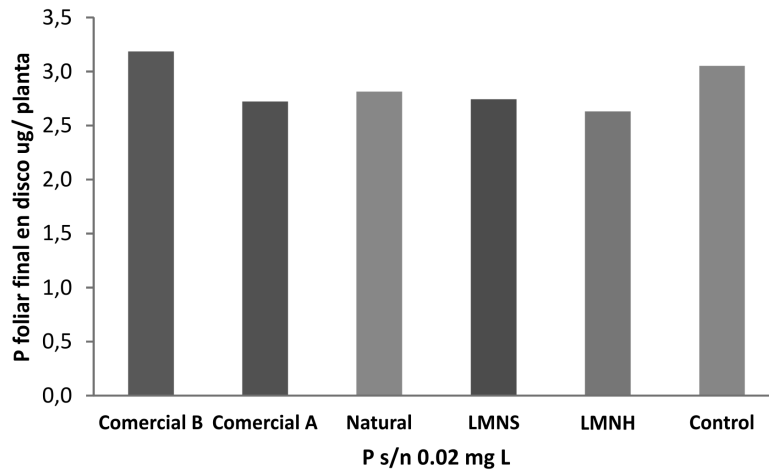


Figura 5. Fósforo foliar final al momento de la cosecha de los seis tratamientos en relación con la concentración de P en la solución del suelo y la inoculación micorrizal, en los cuales no se presentaron diferencias significativas (LSD, $P \leq 0.05$) en los promedios comparados.

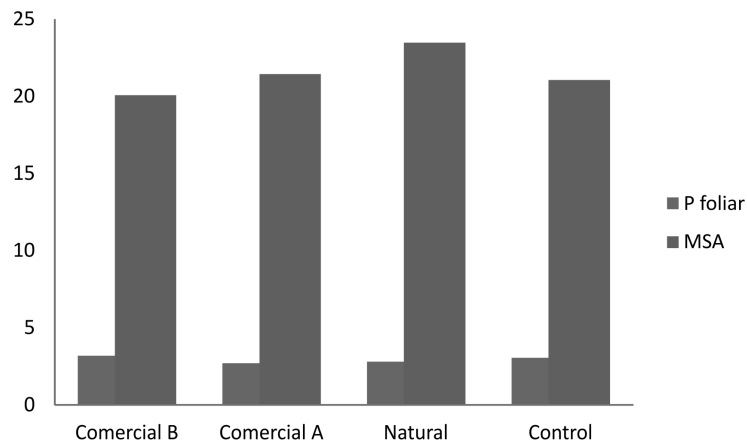


Figura 6. Comparativo de la masa seca aérea –MSA– y el P foliar final al momento de la cosecha, en donde no se presentan diferencias significativas entre tratamientos.

En la figura 6 se observa claramente que cuando se aplican inóculos multiespóricos a las plántulas de aguacate, la respuesta tanto en MSA como en P foliar final es muy similar, lo que permite inferir que el uso de inóculos multiespóricos es más adecuado para estimular un mejor crecimiento en plántulas de aguacate.

Conclusiones

- La masa seca aérea (MSA) de aguacate tuvo diferencias significativas entre algunos tratamientos, como es el caso del inóculo natural comparado con los tratamientos LMNS (*Glomus intraradices*) y LMNH (*Glomus manihotis*), los demás tratamientos (Comercial A, Comercial B y control) no presentaron diferencias en relación con la inoculación micorrizal del suelo. Este comportamiento está relacionado con la composición de los tratamientos en términos de inóculos multiespóricos.
- No se pudo evidenciar una correlación entre la colonización micorrizal y la masa aérea, debido a que el proceso de tinción de raíces no fue exitoso; la tinción estaba dirigida a la visualización de estructuras internas de la raíz, como vesículas, arbusculos e hifas intrarradicales. Aunque sí se evidenció la presencia de puntos de infección.
- No se encontraron diferencias en el contenido de P foliar y MSA cuando se compararon los tratamientos multiespóricos (Comercial B, natural y Comercial A), lo que evidencia que el uso de inóculos multiespóricos es más adecuado para estimular el crecimiento de plántulas de aguacate.

Recomendaciones

- Se deben continuar haciendo los estudios en aguacate con el fin de determinar el momento más apropiado de inoculación.

- Realizar experimentos de este tipo en ambientes controlados, evitando contaminaciones externas.
- Seguir utilizando la técnica del número más probable para la homogenización de los inóculos utilizados en los diferentes tratamientos.

Agradecimientos

A mi familia por su infinita paciencia y apoyo.

A la Dirección de Investigación y Desarrollo de la UCO, entidad que financió esta investigación.

A la empresa Abonamos S.A., que en todo momento colaboró en la realización de este experimento.

Al profesor Jorge Alberto Sierra Escobar, por su capacidad de enseñar y direccionar el conocimiento.

Al grupo de estudios florísticos UCO.

A la Unidad de Sanidad Vegetal, encabezada por el Dr. Rafael Navarro.

Referencias bibliográficas

Allen, M. (1996). The ecology of arbuscular mycorrhizas: A look back into the 20th century and a peek into the 21st. *Mycological Research*, 100(7), 769-782.

Aziz, T. & Habte, M. (1987). Determining vesicular-arbuscular micorrizal effectiveness by monitoring P status of leaf discs. *Can. J. Microbial*, 33, 1097-1101.

Bernal J. y Díaz, C. (2005). Tecnología para el cultivo de aguacate. Manual técnico 5. Corpoica. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia.

Castro, R. D. y Díaz, G. J. (2001). Alternativas para el manejo integrado del cultivo de la Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth). Rionegro: Editorial Universidad Católica de Oriente. 74 p.

Corporación Antioqueña del Aguacate –Corpoaguacate– (2011). Colombia- El aguacate hass invade el mercado europeo. Recuperado de http://corpoaguacate.com/noticias/2011/noticia_04.html

Crowley, D.E. (1992). Soil fertility and the mineral nutrition of avocado. Calif. Avocado Soc. Inc. Circular N.º CAS-92/1, p. 26.

Cuenca, G.; Cáceres, A.; Oirdobro, G.; Hasmy, Z. & Urdaneta, C. (2007, enero). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(01), 23-29.

Domínguez, A. (1984). *Tratado de fertilización*. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.

Espinal, S. (1977). *Zonas de vida: formaciones vegetales del departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Fox, R. & Kamprath, E. (1970). Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci Soc Am Proc.*, 34, 902-907.

García, V.; Díaz, A.; Altares, J.; Bravo, J. & Fernández, M. (1983). Niveles foliares de las plantaciones de aguacate de las Islas Canarias occidentales. *Anales de edafología y agrobiología*, XLII (5-6), 741-751.

Gianinazzi, S. & Vosatka, M. (2004). Mycorrhizal inocula for agricultural systems: Achievements and perspectives. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1264-1271.

Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84(3), 489-500.

Godínez, R.; Ferrera-Cerrato, R.; Cortés J.I. & Domínguez, J.J. (1986, August 24-29). Response of avocado (*Persea americana* Mill)

to inoculation with endomycorrhizae. In Abstracts. Fourth International Symposium on Microbial Ecology. Ljubljana, Yugoslavia.

Habte, M. & Manjunath, A. (1991). Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. *Mycorrhiza*, 1, 3-12.

Habte, M. & Osorio, N.W. (2001). Arbuscular Mycorrhizas: Producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum. Honolulu: University of Hawaii at Manoa.

Hernández, C. (2001). Efecto del hongo micorriza (*Glomus intraradices* Schenk y Sminth) en el crecimiento del portainjerto Mexicola (*Persea americana* Mill) cultivado bajo 5 tratamientos de fertilización. Chile: Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía.

Instituto Colombiano Agropecuario –ICA– (2010). El aguacate colombiano gana terreno entre los consumidores de la UE. Recuperado de <http://www.ica.gov.co/Noticias/Agricultura/2010/El-aguacate-colombiano-gana-terreno-entre-los-cons.aspx>

Janos, D.P. (1980). Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12(2), 333-340.

Kormanik, P.P.; McGraw, A.C. & Schultz, R.C. (1980). Procedure and equipment for attaining a large number of plant samples for endomycorrhizal assay. *Can. J. Microbiol.*, 26, 536-538.

Marín, J. (2010). Cultivo de aguacate (*Persea americana*). Historia, características botánicas, aplicación nutricional y medicinal. Universidad Internacional de las Américas. Recuperado de <http://www.slideshare.net/jumarnav/algo-de-botanica-del-aguacate>

Melo, Y.P. (2011). Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass en diferentes sustratos. Tesis. Maestría en Ciencias

Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Menge, J.A.; Davis, R.M.; Johnson, E.L.V. & Zentmyre, G.A. (1978). VA mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. *Cal. Agric.*, 32, 6-7.

Menge, J.A.; Larue, J.; Labanauskas, C. & Johnson, E. (1980). The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedling with six fertilizer treatments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 105(3), 400-404.

Montañez, B.I. (2009). Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* Mill) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales. Tesis. Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Montoya, B. (2007). Determinación de la dependencia micorrizal del aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis (Magíster en Geomorfología y suelos). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellín.

Montoya, B. & Osorio, W. (2009). Mycorrhizal dependency of avocado at different levels of soil solution phosphorus. *Suelos Ecuatoriales*, 39(2), 143-147.

Murphy, J. & Riley J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-35.

Peterson, R.L.; Massicotte, H.B. & Melville L.H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. Ottawa: CABI Publishing.

Phillips, J.M. & Hayman D.S. (1970). Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.

Porter, W. (1979). The "Most probable number" method for enumerating infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 17, 515-519.

Prada, P. (2009). Hongos formadores de micorriza arbuscular y relación con características edáficas en agrosistemas de aguacate. Memorias Tercer congreso latinoamericano de aguacate.

Reyes, J.; Alarcón, A. & Ferrera R. (1977). Aspectos relacionados sobre el uso de la endomicorriza arbuscular en aguacate (*Persea americana* Mill). Recuperado de http://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1997/ecol_2_97.pdf

Sierra, E. (2006). Dependencia micorrizal de algunas especies arbóreas y efectividad simbiótica micorrizal en suelos de bosque montaño bajo del Oriente antioqueño. Tesis (Magíster en bosques y conservación ambiental). Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Sierra, J.; Castro, D. & Osorio, W. (2009). Dependencia micorrizal del laurel (*Ocotea* sp). *Colombia Forestal*, 12, 28-30.

Smith, C.E. Jr. (1966). Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*, 20, 169-175.

Vandenkoornhuysen, P.; Husband, R.; Daniell, I.J.; Watson, J.M.; Duck, M.; Fitter, A.H. & Young, J.P.W. (2002). Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Mol. Ecol.*, 11, 1555-1564.

Van der Heijden, M.G.A.; Klironomos, J.M.; Ursic, M.; Moutoglou, P.; Streitwolf-Engel, R.; Boller, T.; Wiemken, A. & Sanders, I.R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396, 69-72.



Vidal, M.; Azcon-Aguilar, C. & Barea, J.M. (1992). Micorrizal inoculation enhances growth and development of micropropagated plants of avocado. *Hortscience*, 27(7), 785-787.

Williams, L.O. (1977). The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. *Economic Botany*, 31, 315-320.

i