

GUARRACUCO

REVISTA CIENTÍFICA SOSTENIBLE

EDICIÓN 1 - DICIEMBRE DE 2022 - VILLAVICENCIO, META - ISSN: 2981-3220 (En línea)



Revista Guarracuco Sostenible
Publicación de Investigaciones
Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA



Presidenta Sala General
Nancy Espinel Riveros

Rectora
Leonor Mojica Sánchez

Vicerrector Académico, Investigaciones y Proyección Social / Vicerrectora de Postgrados, Educación continuada y Proyección social
Luz Elena Malagón Castro

Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA
Carrera 32 No. 34B-26, Campus San Fernando
Villavicencio, Meta (- Colombia)
Teléfono: (57-8) 662 1825 Ext. 130
Fax: 662 1827

Jefe de Biblioteca “Juan Nepomuceno Mojica Angarita”
María Alejandra Peñaloza Sarmiento

Editor
Juan Manuel Bernate Martínez

Diseño y diagramación
Juan Manuel Bernate Martínez
Fabián Andrés Daza Castro

Revista Guarracuco Sostenible
ISSN: 2981-3220 (En línea)
Número 1
Diciembre de 2022
Villavicencio, Meta, Colombia

www.unimeta.edu.co

Editorial:

Comité Editorial

Linda Carolina Henao Rodríguez
Fundación Universitaria Konrad Lorenz

Luz Elena Malagón Castro
Corporación Universitaria del Meta

Doris Aguilera Hernández
Ejército Nacional

Jenny Katherine Cubillos Díaz
Corporación Universitaria del Meta

Comité Científico

Jenny Paola Lis Gutiérrez
Fundación Universitaria Konrad Lorenz

Andreina Moros Ochoa
Fundación Universitaria Konrad Lorenz

Jesús Hernán Camacho Tamayo
Universidad Nacional de Colombia

Carlos Bouza
Universidad de la Habana, Cuba

Melissa Lis Gutiérrez
Corporación Universitaria del Meta



Fotografía: Juan Manuel Bernate M.

Asignación y distribución de biomasa en plantas de vivero de aguacate (*Persea americana* L.) micorrizadas

Por: Imelda Montañez-Orozco ¹, Melissa Lis-Gutiérrez ², Marco Cabezas-Gutiérrez ³
Profesores e Investigadores - UNIMETA

Assignment and distribution of biomass in nursery plants of mycorrhized avocado (*Persea americana* L.)

Resumen

Los suelos de la zona cálida tropical en su mayoría presentan problemas por deficiencia de fósforo, debido al bajo contenido natural del elemento y a la alta retención del mismo ocasionada por las condiciones químicas de los materiales edáficos. La región oriental de Colombia en la actualidad despunta con el mayor potencial para el crecimiento de la frontera agrícola, tanto en cultivos transitorios como perennes. El aguacate (*Persea americana* L), especie promisoría para esta región, presenta heterogeneidad en la producción, aspecto que le resta competitividad al cultivo. Una de las razones de esta problemática es el inadecuado manejo de la nutrición de las plantas en fase de vivero. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación con micorrizas de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* sobre la ganancia de biomasa en plantas de aguacate de las variedades

des Lorena, Santana y Común en fase de vivero, para lo cual se emplearon suelos procedentes de tres paisajes representativos de la Orinoquía colombiana, determinando la biomasa en hojas, tallo y raíz. Se encontró que la micorrización afecta positivamente la ganancia de materia seca. *Glomus* presentó diferencias significativas con respecto a *Acaulospora*, mientras que entre materiales de aguacate no se presentaron diferencias. Con base en los resultados obtenidos se recomienda el uso de hongos formadores de micorriza arbuscular como parte del manejo de la nutrición en plantas de vivero de *P. americana* L.

Palabras clave: crecimiento y desarrollo, Hongos micorrízicos arbusculares, *Acaulospora sp*, *Glomus sp*.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática actual, ha intensificado la necesidad de incrementar la productividad de los cultivos de manera sostenible, con uso eficiente de insumos y con los mejores estándares de calidad, más aun cuando la globalización cultural, el libre mercado y los acuerdos internacionales de comercio abierto son las bases de cualquier programa de producción agrícola (ECLAC, FAO, & IICA,

1 Investigador y asesor externo, bimemoro04@gmail.com; 2 Docente Investigador. Corporación Universitaria del Meta, melissa.lis@unimeta.edu.co; 3 Investigador y asesor externo, mcgutier@hotmail.com.

2017). La identificación de materiales vegetales de alta aceptación por el consumidor, amplia adaptabilidad ecológica, competitivos en el mercado y con posibilidades futuras de desarrollo, es una de las mejores estrategias para la reconversión de la agricultura en los países tropicales. En el caso colombiano, con la implementación de tratados de libre comercio, es preciso pensar en la sustitución de productos tradicionales como los cereales y leguminosas de grano, otrora bases de la economía agraria y del desarrollo rural para dar opciones a la producción de especies de mayor competitividad como los frutales de origen tropical.

El uso adecuado del suelo en los trópicos, debe estar fundamentado en la siembra y aprovechamiento de plantas perennes y cultivos de larga duración como los frutales y plantas forestales, que se adapten de manera óptima a las condiciones específicas de cada zona (ECLAC et al., 2017). Para la zona geográfica de los Llanos Orientales colombianos existen algunas especies con grandes posibilidades de consolidar la producción agrícola de la región; dentro de ellas, el cultivo del aguacate (*Persea americana* L.) parece ser una de las mejores opciones. No obstante, las limitantes especialmente bióticas, no manejadas adecuadamente, restringen el cultivo de la especie, entre las cuales sobresalen la presencia de hongos patógenos del suelo, la incompatibilidad de materiales para la fecundación y especialmente problemas nutricionales ocasionados por el desconocimiento de las necesidades reales en los suelos de la altillanura, lo que conlleva a dificultades en la toma de los mismos y limitantes propios del suelo (Rios Castaño & Tafur Reyes, 2003). Con el ánimo de superar estas limitaciones, particularmente el déficit nutricional de fósforo, se ha planteado el uso de hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) que promueven el crecimiento

vegetal mediante una mayor absorción de elementos poco móviles en el suelo y otros nutrientes junto con el agua (Ararat Orozco, 2013; Carreon-Abud, Vega-Fraga, & Gavito, 2015; Guerra Sierra, 2008; Kaur, Singh, & Kang, 2014).

El cultivo de aguacate se distribuye en 73 países a nivel mundial, dentro de los que se destaca México como primer productor con 1.889.354 ha equivalentes al 33.9% de la producción mundial), seguido por República Dominicana con 601.349 ha (10.8%), Perú con 455.394 ha (8.2%), Colombia con 309.431 ha (5.6%) e Indonesia con 304.938 ha (5.5%) (FAO, 2018). Entre 2013 y 2015, la producción mundial de aguacates osciló entre 4.8 y 5,6 millones de toneladas, siendo los principales países productores México, República Dominicana, Colombia, Perú e Indonesia, los cuales en conjunto representan el 56% de la producción mundial (PRONAGRO, 2016). Durante el 2016 México alcanzó las 180.536 ha cosechadas equivalentes al 32% del total mundial, mientras que República Dominicana, Perú, Colombia e Indonesia oscilaron entre las 37.871 y 23.957 ha equivalentes al 6.7 y 4.2% (FAO, 2018).

Bernal et al., (2008), afirman que en Colombia este cultivo puede crecer desde el nivel del mar hasta 2.500 m.s.n.m. condición que favorece su dispersión geográfica en el país, estando presente en 22 departamentos en el año 2016, alcanzando las 4.0983 ha, una producción de 335.882 t y un rendimiento promedio de 8,24 t ha⁻¹, lo que ha permitido que pase de ser en el año 2000 el décimo país productor a el cuarto en el 2016. Sin embargo, existen diferencias notables entre el rendimiento y producción por hectárea en el país, con rendimientos que oscilan entre 1,5 y 15,63 t ha⁻¹, mientras que el mayor rendimiento lo obtuvo Arauca con 15,63 t

ha-1 (AGRONET, 2018). La producción por hectárea, demuestra la amplia brecha tecnológica entre regiones y más aún, con respecto a los sistemas productivos de México quienes producen 6 veces más que Colombia (FAO, 2018). Esa diferencia en producción y rendimiento, puede ser acertada con un manejo tecnológico apropiado, el cual parte del adecuado balance de elementos nutricionales en el cultivo, para lo cual se requiere la aplicación de enmiendas, fertilizantes de síntesis química y orgánica, así como el uso de opciones biológicas, que contribuyan a reducir los impactos negativos en el ambiente, disminuyan los costos de producción y conlleven a la sostenibilidad de los ecosistemas (Carreón Abud et al., 2014; Guerra Sierra, 2008; Singh, Srivastava, Sharma, & Sharma, 2014).

En Colombia la fase de vivero es fundamental para el cultivo de *P. americana* L., ya que es el punto inicial de la cadena productiva, y soporta las necesidades de material de propagación para siembras nuevas, resiembras, renovaciones normales e injertación que se presentan cada año (Rios Castaño & Tafur Reyes, 2003), por lo tanto en esta fase se debe garantizar la inocuidad del material, partiendo desde la calidad del sustrato de enraizamiento (libre de patógenos) hasta la aplicación de hormonas para fortalecer el crecimiento y nutrición de las plantas (Ararat Orozco, 2013; Kaur et al., 2014).

En las últimas décadas se ha desarrollado diferentes estudios donde se emplean microorganismos benéficos con el fin de mejorar la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas. En el caso específico de las micorrizas, varias investigaciones han demostrado la eficiencia de los hongos micorrízicos como promotores en el desarrollo gracias al efecto positivo en la toma de nutrientes para plántulas de aliso, plátano papaya, guanábana, chirimoya, café,

mango, limón, ají y aguacate entre otros (Becerra & Cabello, 2007; Cardona, Peña-Vengas, & Arcos, 2008; Silva & Siqueira, 1991; Usuga Osorio, Castañeda Sánchez, Franco Molano, Gómez Velásquez, & Lopera Agudelo, 2008; Viera et al., 2017).

En Colombia son escasos los trabajos enfocados al uso biotecnológico de micorrizas en el cultivo de aguacate, tema de gran interés ya que a pesar de que este producto es considerado como rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado, aún hace falta conocimiento acerca de su manejo agronómico.

Teniendo en cuenta que los HFMA han sido estudiados en especies de angiospermas leñosas y se han encontrado beneficios de esta asociación simbiótica, especialmente en suelos deficientes de fósforo y con bajos niveles de materia orgánica, como es el caso de algunos de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia (Gómez Zambrano, 2000), este trabajo tiene como principal objetivo evaluar el efecto de la inoculación con HFMA de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* en la distribución de biomasa de plántulas de aguacate de las variedades Lorena, Santana y Común en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en condiciones de invernadero, en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Bogotá, Colombia), con temperatura promedio de 22°C., con variaciones entre 14 y 30°C, humedad relativa promedio de 74% (hidrotermómetro GARMIN G2009) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1320 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

(LICOR L250A Quantic sensor).

Se emplearon como sustrato suelos de tres localidades de la altillanura Colombiana, los cuales fueron solarizados con el fin de reducir la carga microbiana, incluyendo propágulos de hongos nativos formadores de micorriza, siguiendo la metodología empleada por Gómez et al. (2000). La primera muestra (S1) proviene del Centro Experimental Taluma de Agrosavia, ubicada en el municipio de Puerto López (Meta) a una altura de 156 m.s.n.m., la segunda (S2) extraída del municipio Puerto Colombia, en una zona de planicie aluvial, con altura menor de 400 m.s.n.m. y un clima cálido húmedo y la tercera (S3) Centro de Investigación La Libertad de Agrosavia en el municipio de Villavicencio (Meta) a 336 m.s.n.m.

Se determinó la concentración de fósforo de las muestras y su pH en el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, con el objeto de ajustar hasta 5.9 el pH y homogenizar las condiciones nutricionales para garantizar el crecimiento de las plantas. En el caso de los suelos S1 y S3 fue necesario aplicar 20 g/planta en para nivelar su concentración de fósforo.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 x 3, compuesto por 27 tratamientos de ocho repeticiones cada uno, para un total de 216 unidades experimentales. Los factores considerados fueron: Suelos (S1, S2 y S3); variedades de aguacate (Lorena, Santana y Común) e inoculación (*Glomus* sp, *Acaulospora* sp y un testigo sin inocular). El análisis estadístico se realizó utilizando el programa SAS, versión 9.1, empleando las prueba Tukey para determinar el efecto de una única variable (suelo, variedad o micorriza) y Duncan para comparación múltiple, ambas con una

confianza del 95%.

La selección de los géneros de HFMA se realizó mediante la caracterización morfológica de esporas e identificación probable de las mismas a partir de muestras de suelo tomadas en huertos de aguacate en los suelos S1, S2 y S3 empelando las claves del (INVAM, 2009). Se emplearon semillas sexuales de *P. americana* L., provenientes del mismo árbol en cada una de las variedades, las cuales fueron seleccionaron por peso (entre 65 y 75 gramos) para reducir la heterogeneidad en el material propagado. La siembra se efectuó en bolsas plásticas con 5 kg de suelo, donde se colocó una semilla y se adicionaron seis esporas por planta de inóculo puro de cada una de los hongos de micorriza arbuscular.

Siete meses después de la siembra, se midió biomasa de hojas, tallo y raíces, tomando cuatro plantas de cada tratamiento, separando el tallo, las hojas y la raíz en bolsas de papel y se sometieron a secado en estufa a 72 ° C hasta peso constante (IGAC, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa un efecto positivo en la ganancia de biomasa total de los tratamientos que incluyen la inoculación micorrízica con respecto a los tratamientos testigo en los diferentes órganos de las plantas *P. americana* L (Figuras 1 a, b y c), corroborando que la asociación simbiótica de los HFMA favorece el incremento de las tasas de crecimiento y biomasa producida (Viera et al., 2017), relacionado de manera indirecta a diversos cambios y/o modificaciones a nivel fisiológico que permiten incrementar la absorción de nutrimentos, la actividad fotosintética y la capacidad de fijación de CO₂, tal como lo exponen Alarcón & Ferrera-Cerrato (1999). Com-

portamiento similar ha sido expuesto por (Viera et al., 2017) quienes evaluar la eficiencia del uso de micorrizas nativas en el crecimiento de plántulas de aguacate para producir plantas de *P. americana* Miller en Ecuador, estos investigadores concluyen que el uso de cepas micorrízicas nativas son efectivas en el desarrollo de las plántulas de aguacate de alta calidad, reflejado en mayor porcentaje de biomasa seca y fijación de fósforo.

Se observan diferencias significativas entre los tres tratamientos inoculados con HFMA en cuanto a la variable biomasa total (tabla 1). Los tratamientos que incluyen *Glomus* tienen el mayor promedio de biomasa total, comportamiento directamente relacionado con los resultados obtenidos para biomasa de raíz, tallo y hojas en estos tratamientos. Estos resultados coinciden con lo registrado por Menge, Larue, Labanauskas, & Johnson (1980) quienes evaluaron la inoculación de *Glomus fasciculatum* Gerd., en plantas de aguacate micropropagadas, y encontraron un crecimiento 49 a 254% superior en comparación con plantas no micorrizadas. Vidal, Azcón-Aguilar, & Barea (1992), observaron aumento en la biomasa de raíces y de la parte aérea y en la relación parte aérea y radical, en comparación con plantas sin inocular.

En los suelos evaluados, la biomasa total de plantas de aguacate no presenta diferencias significativas entre los suelos, sin embargo, los valores promedio obtenidos de las plantas cultivadas en suelos de Taluma (23.79 g) y Puerto Colombia (23,93 g) son más altos en comparación con el suelo de la Libertad (21.62 g), esto se debe a la mayor biomasa de raíces y hojas obtenida en estos dos suelos en comparación con los valores obtenidos para el suelo de La Libertad.

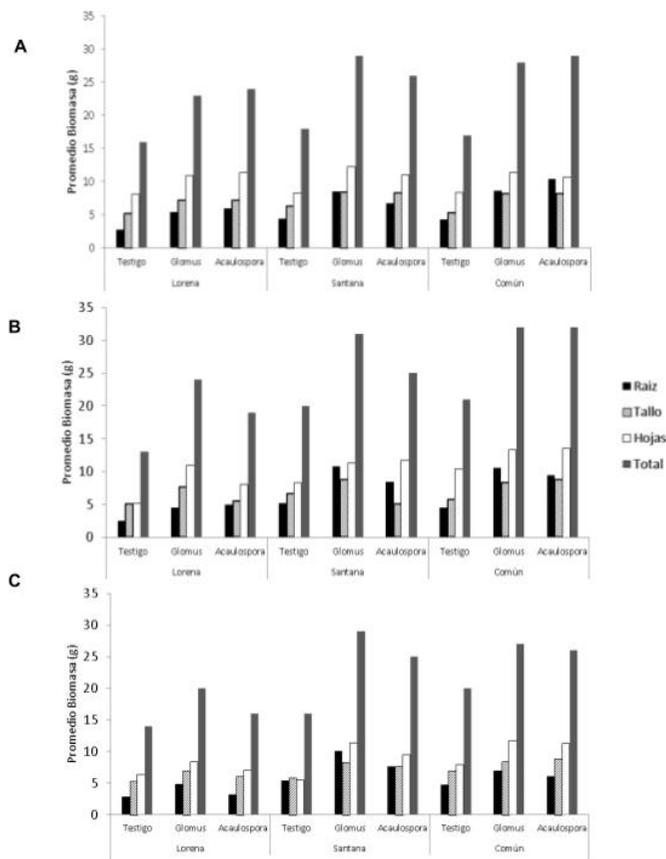


Figura 1. Biomasa de diferentes órganos de la planta, en tres variedades de aguacate inoculados con hongos de micorriza arbuscular y propagados en los diferentes suelos A: suelo de Taluma, B: suelo de Puerto Colombia y C: Suelo de La Libertad.

Suelo	Variedad	Micorriza	Biomasa raíces (g)	Biomasa tallo (g)	Biomasa hojas	Biomasa Total (g)
Taluma	Lorena	<i>Glomus</i>	5,47 IGHEF	7,26 EDC	10,96 DC	23,69 GF
		<i>Acaulospora</i>	5,97 GHEF	7,25 EDC	11,35 DC	24,57 EGF
		Tratamiento control	2,72 K	5,18 I	8,15 EFG	16,05 KJ
	Santana	<i>Glomus</i>	8,58 BC	8,46 BA	12,30 BAC	29,34 BAC
		<i>Acaulospora</i>	6,74 DEF	8,36 BA	10,99 DC	26,09 EGDF
		Tratamiento control	4,45 IHJ	6,30 EGHF	8,21 EFG	18,96 IJ
	Común	<i>Glomus</i>	8,61 BC	8,16 BAC	11,36 DC	28,13 BDC
		<i>Acaulospora</i>	10,39 A	8,21 BAC	10,68 DC	29,27 BAC
		Tratamiento control	4,35 IJ	5,36 IH	8,34 EF	18,05 IJ
Taluma	<i>Glomus</i>	4,55 IGHJ	7,68 BDC	10,94 DC	23,18 GH	

Variedad	Suelo	Tratamiento	Biomasa (g)			
			Raíces	Tallos	Hojas	Total
Puerto Colombia	Lorena	Acaulospora	4,94 IGH	5,53 IH	8,09 EFG	18,56 IJ
		Tratamiento control	2,52 K	5,08 I	5,15 I	12,74 L
		Glomus	10,83 A	8,78 A	11,33 DC	30,94 BA
	Santana	Acaulospora	8,47 BC	5,10 I	11,74 BAC	25,31 EGDF
		Tratamiento control	5,15 IGH	6,67 EGDF	8,29 EFG	20,10 I
		Glomus	10,56 A	8,30 BAC	13,31 BA	32,17 A
	Común	Acaulospora	9,41 AB	8,76 A	13,58 A	31,75 A
		Tratamiento control	4,54 IGHJ	5,72 IGH	10,36 DC	20,62 IH
		Glomus	4,91 IGH	6,93 EDF	8,32 EFG	20,17 I
La Libertad	Lorena	Acaulospora	3,24 KJ	6,04 IGHF	6,99 HFG	16,27 KJ
		Tratamiento control	2,89 K	5,18 I	6,35 HIG	14,42 KL
		Glomus	10,12 A	8,21 BAC	11,34 DC	29,68 BAC
	Santana	Acaulospora	7,64 DC	7,62 BDC	9,42 ED	24,68 EGF
		Tratamiento control	5,38 IGHF	5,82 IGH	5,44 HI	16,63 KJ
		Glomus	6,94 DE	8,38 BA	11,68 BC	27,00 EDC
	Común	Acaulospora	6,06 GEF	8,81 A	11,30 DC	26,18 EDF
		Tratamiento control	4,75 IGH	6,86 EDF	7,92 EFG	19,52 I

Tabla 1. Promedios de la biomasa en raíces, tallos, hojas y total en plantas de aguacate por tratamiento. Promedios seguidos de la misma letra no presentan evidencia de diferencias estadísticamente significativas por la prueba de Duncan con una confianza del 95%.

Se presentaron diferencias significativas entre las tres variedades de aguacate (tabla 1). La variedad Lorena presentó menor ganancia de biomasa total en todos los tratamientos. Para S1 la diferencia con respecto a las otras variedades fue de 13% para las plántulas inoculadas con Acaulospora, 19% para Glomus y del 8 % para el testigo. En los suelos del grupo S2, la mayor diferencia se evidencia entre los tratamientos testigo, 46% entre las variedades evaluadas, seguido por las plántulas inoculadas con Acaulospora (34%) y por Glomus (27%). En S3 esta variedad presentó entre 22 y 37% menos ganancia de biomasa total en los suelos de la Libertad, la diferencia más amplia se evidenció entre las plántulas inoculadas con en el tratamiento testigo un 22% menos que las demás variedades,

en la inoculación con Acaulospora (37%), seguida por Glomus (29%) y por último en el tratamiento testigo (22%).

La variedad Común también mostró los valores más altos en ganancia de biomasa total para los tres tipos de suelos, alcanzando un entre 24 y 40% más de ganancia de biomasa con respecto al testigo en los tratamientos con inoculación de micorrizas. El análisis estadístico muestra que la interacción suelo de Puerto Colombia-variedad Común-inoculación con Glomus tuvo el mayor promedio con 32.17 g (56% mayor que el tratamiento control). Sin embargo, no se presentan diferencias significativas entre ésta y las interacciones Puerto Colombia-Común-Acaulospora con 31.75 g (54% mayor que el tratamiento control) y Puerto Colombia-Santana-Glomus con 30.94 g (54% mayor que el tratamiento control). Con respecto a la diferencia entre los tipos de suelos empleados, esta variedad muestra un mejor desarrollo en los suelos del grupo S2 (Puerto Colombia), los cuales no necesitaron aplicación adicional de fósforo, esto permite afirmar que estos serían los suelos más adecuados para el desarrollo de plántulas inoculadas con micorrizas de ambos géneros.

Las variedades Lorena y Santana mostraron un mejor desarrollo radical en presencia de Glomus sp, con un 30% y un 52% más con respecto al tratamiento testigo. En el caso de la variedad Lorena inoculada con Glomus hubo 52% más de ganancia de biomasa total en suelos del grupo S2, mientras que la variedad Santana + Glomus se desarrolló mejor en los suelos del grupo S3 (La libertad) alcanzando casi un 45% más que las plantas testigo.

En el caso de la parte aérea, se evidencia un incremento en la biomasa de los tratamientos inoculados con Glomus sp y Acaulospora sp con respecto al

testigo, lo cual generó diferencias significativas entre estos y el testigo. El mayor promedio se obtuvo en las plantas inoculadas con *Glomus* (11.28 g) en comparación con el testigo (7.58 g), comportamiento similar al expuesto por Da Silveira, De Souza, João Bender, & Koller (2002) quienes concluyen que algunas especies de HFMA inducen un mayor peso de materia seca en la parte aérea en plantas de *P. americana*, comportamiento directamente ligado al incremento en el área foliar (Souza, Abad, Almeida & Agusti, 1998) lo que favorece el aumento del área fotosintéticamente activa.

Con respecto a la biomasa de las hojas entre los tres tipos de suelo, no se presentaron diferencias significativas entre los suelos de Taluma y Puerto Colombia, pero sí, en estos dos con el de La Libertad. Esto puede asociarse con el efecto de la simbiosis micorrízica, ya que se observa un mayor efecto en la biomasa de las hojas para los tratamientos inoculados con HFMA en estos dos suelos a diferencia de lo que ocurre en el suelo de La Libertad. Es importante resaltar el incremento de 37%, 45% y 48% en la biomasa de hojas en los tratamientos inoculados con HFMA para los suelos de Taluma, Puerto Colombia y La Libertad, respectivamente con relación al testigo. Así mismo, se destaca la mayor acumulación de biomasa foliar con respecto al tratamiento testigo, en los tratamientos inoculados con *Glomus* en los suelos de Taluma (40%), Puerto Colombia (50%) y la Libertad (57%), frente a los inoculados con *Acaulospora* en los suelos de Taluma (34%), Puerto Colombia (40%) y la Libertad (39%).

La interacción suelo de Puerto Colombia-variedad Común-inoculación con *Acaulospora* muestra que el mayor promedio 13.58 g de biomasa en las hojas, valor que constituye 31% más alto que el tratamiento control. Sin embargo, no se presentan diferencias

significativas entre ésta y la interacción Puerto Colombia-Común-*Glomus* con 13.31 g (28% mayor que el tratamiento control). Con respecto a los promedios más bajos, se destaca que hay una correspondencia con los tratamientos sin inoculación con HFMA, siendo la interacción Puerto Colombia-Lorena-Testigo el tratamiento con promedio más bajo (5.15 g), seguido de La Libertad-Santana-Testigo (5.44 g). Se resalta que los promedios más altos se asocian con los tratamientos inoculados con HFMA, en la variedad Común y el suelo de Puerto Colombia.

Por otra parte, se observan diferencias significativas entre las tres variedades de aguacate y la biomasa de la parte aérea. Las diferencias relacionadas a los valores promedio de ganancia de biomasa en la parte aérea, la variedad Común presentó el mayor promedio (10.95 g) mientras que el menor promedio se dio en la variedad Lorena (8.48 g), posiblemente obedecen a las características de la variedad y a un efecto positivo de la asociación variedad-micorriza. Para las variedades Santana y Común los promedios de biomasa de hojas en los tratamientos inoculados con HFMA son superiores en comparación con la variedad Lorena para estos mismos tratamientos. Además, la variedad Lorena presenta un crecimiento menor al de la Común al ser un material seleccionado por mejoramiento vegetal. Esta última es más vigorosa y de mayor plasticidad fenotípica.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Salamanca & Cano (2005), quienes reportan un mayor incremento (176%) en peso seco de la parte aérea de plantas de mandarina Cleopatra, inoculadas con cepas nativas de HFMA.

Con respecto a la biomasa de raíces, se presentaron

diferencias significativas entre todos los tratamientos de inoculación con HFMA con respecto al testigo. *Glomus* obtuvo el promedio más alto (7.84 g) seguido por *Acaulospora* (6.98 g) y el testigo (4.08 g). Estos resultados coinciden con los encontrados por Silveira et al. (2002), quienes evaluaron el efecto de la inoculación de diferentes especies de HFMA sobre el desarrollo vegetativo de plantas de aguacate y encontraron que los portainjertos inoculados con diferentes especies de HFMA presentaron pesos fresco y seco de raíces significativamente superiores a los del testigo, así como la especie *A. scrobiculata*, que indujo peso fresco de raíces superior a los de las plantas no micorrizadas. Lo anterior también puede sustentarse con el establecimiento de diversos procesos fisiológicos y bioquímicos entre ambos componentes de la simbiosis, de modo que la planta hospedante puede presentar cambios en la morfología de la raíz (Hetrick, Wilson, & Leslie, 1991).

Por otro lado, la biomasa de raíces no presentó diferencias significativas entre los suelos de Taluma (6.36 g) y Puerto Colombia (6.78 g), pero sí de estos dos con el suelo de La Libertad (5.77 g). Este comportamiento puede estar relacionado con la baja disponibilidad de oxígeno en suelos arcillosos, tal como es el caso del suelo de La Libertad, a diferencia de las texturas de los otros dos suelos que corresponde a Arenosa Franca. Otro factor que puede influir en estos resultados, es el contenido de fósforo disponible en el suelo que para el caso de los suelos de Taluma y La Libertad era tan bajo que se requirió de una aplicación externa. Aunque la micorrización se ve favorecida cuando hay bajo contenido del elemento en el suelo, la ausencia total del mismo limita el desarrollo de las raíces. Según los resultados del análisis fisicoquímico, en el suelo de La Libertad el contenido de fósforo no fue detec-

tado, condición que influye de manera directa sobre el crecimiento de la raíz y de los HFMA.

La biomasa de la raíz no presentó diferencias significativas entre las variedades Santana (7.48 g) y Común (7.29 g), pero sí de estas dos respecto a la variedad Lorena (4.14 g). Probablemente este comportamiento en las variedades está relacionado con la inoculación de HFMA, puesto que al analizar los resultados de biomasa de raíz por tratamiento de inoculación y variedad de aguacate, el mayor promedio de biomasa de raíz lo muestran la variedad Santana inoculado con *Glomus* (9.85 g) y la variedad Común inoculada con *Glomus* (8.70 g) y con *Acaulospora* (8.62 g). Los menores promedios se observan en la variedad Lorena inoculada con *Glomus* (4.98 g) y con *Acaulospora* (4.72 g). Lo anterior puede explicarse porque la respuesta diferencial del aguacatero a la inoculación con HFMA depende de las características genotípicas de la especie vegetal y/o de la afinidad colonizador-hospedero como lo reportan Silveira et al. (2002), entre otros factores.

En la biomasa de tallo, los resultados concuerdan con el comportamiento de los resultados de la biomasa de raíces, hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos de inoculación con HFMA. El mayor promedio corresponde a la inoculación con *Glomus* (8.02 g) seguido por *Acaulospora* (7.30 g) y el testigo con (5.79 g). Es evidente que la tendencia en la acumulación de biomasa para los diferentes órganos de la planta de aguacate es la misma con la inoculación de los dos géneros de HFMA evaluados lo que sugiere que la respuesta depende de otros factores como repartición del carbono, nutrición nitrogenada y distintos episodios de estrés, los cuales no fueron evaluados en la presente investigación.

En la biomasa del tallo no se presentaron diferencias significativas entre las variedades Santana (7.62 g) y Común (7.26 g), pero sí de estas dos versus la variedad Lorena (6.24 g). Este comportamiento es igual al presentado por la biomasa de raíces para cada variedad, lo que se atribuye a una influencia de la micorriza sobre esta variable. Vidal et al. (1992) observaron en plantas micropropagadas e inoculadas con *G. fasciculatum*, que además de incrementar la biomasa aérea, también produjo beneficios en el sistema radical, el cual fue más vigoroso en comparación con plantas no-inoculadas, debido a esto la micorriza se considera como factor clave en el desarrollo vegetativo temprano del aguacate y otros frutales.

Con relación a la biomasa de la raíz, el análisis estadístico (Tabla 1), muestra que el mayor promedio se obtuvo con la interacción suelo de Puerto Colombia-variedad Santana-Glomus con 10.83 g (siendo este 110% mayor que el testigo). Sin embargo, no se presentan diferencias significativas entre esta interacción y las interacciones Puerto Colombia-Común-Glomus con 10.56 g (132% mayor que el testigo), Taluma-Común-Acaulospora con 10.39 g (139% mayor que el testigo) y La Libertad-Santana-Glomus con 10.12 g (88% mayor que el testigo). Con respecto al efecto de los tratamientos sobre la biomasa radical, los valores más bajos se presentaron en los tratamientos sin inoculación con HFMA, siendo la interacción Puerto Colombia-Lorena-Testigo el tratamiento con promedio más bajo (2.52 g), seguido de Taluma-Lorena-Testigo (2.72 g) y La Libertad-Lorena-Testigo (2.89 g). Se resalta que los promedios más altos se asocian con los tratamientos inoculados con HFMA, caso contrario se presenta en los no inoculados. El análisis estadístico muestra que el mayor promedio se

obtuvo con la interacción suelo de La Libertad-variedad Común-inoculación con Acaulospora con 8.81 g (siendo este 28% mayor que el testigo). Sin embargo, no se presentan diferencias significativas entre ésta y las interacciones Puerto Colombia-Santana-Glomus con 8.78 g (32% mayor que el testigo) y Puerto Colombia -Común-Acaulospora con 8.76 g (53% más que el testigo). Con respecto a los promedios más bajos se tiene que la interacción Puerto Colombia-Lorena-Tratamiento control es el tratamiento con promedio menor (5.08 g), seguido de Puerto Colombia-Santana-Acaulospora (5.10 g) y Taluma-Lorena-Tratamiento control (5.18 g). Se resalta que los promedios más altos se asocian con los tratamientos inoculados con HFMA.

CONCLUSIONES

Como aspecto a resaltar, se puede concluir que la aplicación de cepas de HFMA a plantas de vivero de aguacate se convierte en una opción factible, ambientalmente sostenible y posiblemente muy económica, para mejorar la eficiencia en el uso del fósforo por plantas de aguacate en los llanos orientales de Colombia. El incremento en la biomasa de las plantas al asociarse con las micorrizas, permitirá tener materiales de propagación más vigorosos, de mayor desarrollo inicial y con mejor adaptación a los suelos ácidos de las regiones tropicales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A por la financiación del proyecto, así como también a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Este manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto

de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRONET. (2018). Estadísticas. Retrieved June 18, 2018, from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra*, 17(3), 179–191.
- Ararat Orozco, M. C. (2013). Influencia de la nutrición mineral y la actividad biológica rizosférica en la disminución del daño ocasionado por *Phytophthora cinnamomi* Rands en plátulas de Aguacate (*Persea americana* Mill). Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/24008/>
- Becerra, A., & Cabello, M. (2007). Micorrizas arbusculares en plantines de *Alnus acuminata* (Betulaceae) inoculados con *Glomus intraradices* (Glomaceae). *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 42(1997), 155–158. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722007000200001&nrm=iso
- Bernal, J., Díaz, C., Tamayo-Velez, A., Córdoba, O., Londoño, M., Tamayo, P., & Londoño, M. (2008). Tecnología para el Cultivo del Aguacate. (J. Bernal & C. Díaz, Eds.), Manual Técnico 5. Rionegro, Antioquia, Colombia: CORPOICA. Retrieved from <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/tecnologocultivoaguacate.pdf>
- Cardona, G., Peña-Vengas, C. P., & Arcos, A. (2008). Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 459–470.
- Carreon-Abud, Y., Vega-Fraga, M., & Gavito, M. E. (2015). Interaction of arbuscular mycorrhizal inoculants and chicken manure in avocado rootstock production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(4), 867–881. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000060>
- Carreón Abud, Y., Paleo, S. A., Gavito, M. E., Javier, D., Solís, M., & Chávez, R. J. (2014). Inoculación micorrízica arbuscular en portainjertos de plantas de aguacate cv ‘ Hass ’ en viveros de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 847–857. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131167010%0ACómo>
- Da Silveira, S. V., De Souza, P. V. D., João Bender, R., & Koller, O. C. (2002). Effect of arbuscular mycorrhizae on CV. Carmem avocado plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(7–8), 1323–1333. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003890>
- ECLAC, FAO, & IICA. (2017). The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean 2017-2018. San Jose, Costa Rica.
- FAO. (2018). FAOSTAT – Statistics Database. Retrieved June 19, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Gómez Zambrano, J. (2000). La materia orgánica en los agroecosistemas. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

- Guerra Sierra, B. E. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología En Marcha*, 21(1), pág. 191-201. Retrieved from http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec_marcha/article/view/1352
- Hetrick, B. a. D., Wilson, G. W. T., & Leslie, J. F. (1991). Root architecture of warm- and cool-season grasses: relationship to mycorrhizal dependence. *Canadian Journal of Botany*, 69(1), 112–118. <https://doi.org/10.1139/b91-016>
- IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá D.C.: IGAC.
- INVAM-International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. (2009). Species Descriptions from Reference Cultures. Retrieved from <http://fungi.invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions.html>
- Kaur, R., Singh, A., & Kang, J. S. (2014). Influence of Different Types Mycorrhizal Fungi on Crop Productivity. *Current Agriculture Research Journal*, 2(1), 51–54. <https://doi.org/10.12944/CARJ.2.1.07>
- Menge, J. A., Larue, J., Labanauskas, C. K., & Johnson, E. L. V. (1980). The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer. *Journal American Society Horticulture Science*, 105(3), 400–404.
- PRONAGRO (Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario). (2016). El mercado del Aguacate. Tegucigalpa: USDA.
- Rios Castaño, D., & Tafur Reyes, R. (2003). Variedades De Aguacate Para El Trópico: Caso Colombia. In V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) (pp. 143–147).
- Silva, L. F. C., & Siqueira, J. O. (1991). Growth and nutrient contents of avocado, mango and papaya seedlings under the influence of different vesicular-arbuscular mycorrhiza fungal species. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo (Brazil)*.
- Singh, S., Srivastava, K., Sharma, S., & Sharma, A. K. (2014). Mycorrhizal Inoculum Production. In Z. M. Solaiman, L. K. Abbott, & A. Varma (Eds.), *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration* (Vol. 41, pp. 67–80). Springer Heidelberg New York Dordrecht London. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45370-4>
- Usuga Osorio, C. E., Castañeda Sánchez, D. A., Franco Molano, A. E., Gómez Velásquez, F. A., & Lopera Agudelo, C. A. (2008). Efecto de la micorrización y la fertilización en la acumulación de biomasa en plantas de banano (*Musa AAA cv. Gran Enano*)(Musaceae). *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín.*, 61(1), 4269–4278.
- Vidal, M. T., Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1992). Mycorrhizal Inoculation Enhances Growth and Development of Micropropagated Plants of Avocado. *HortScience*, 27(7), 785–787.
- Viera, W., Campaña, D., Gallardo, D., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017). Native Mycorrhizae for Improving Seedling Growth in Avocado Nursery (*Persea americana* Mill.). *Indian Journal of Science and Technology*, 10(25), 1–13. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i25/110415>