

HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR PRESENTES EN *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (BALSA) EN ECUADOR

*ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI PRESENT IN Ochroma
pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. (BALSA) IN ECUADOR*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3927039>

AUTORES: Carlos Belezaca Pinargote^{1*}
Diana Calle Gill²
Oscar Prieto Benavides³
Rolando López Tobar⁴
Edison Solano Apuntes⁵
Orlando Díaz Romero⁶
Paola Díaz Navarrete^{7g}
Marcelino Guachambala Cando⁸
Tito Bohórquez Barros⁹

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: cbelezaca@utq.edu.ec

Fecha de recepción: 18 / 01 / 2020

Fecha de aceptación: 04 / 04 / 2020

^{1*}Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Carrera de Ingeniería Forestal, Quevedo, Ecuador.

²Universidad Técnica de Babahoyo, Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Babahoyo, Ecuador.

³Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ingeniería, Escuela de Procesos Industriales, Laboratorio de Bioprocesos, Temuco, Chile.

⁴3A Composites, PLANTABAL S.A. Ecuador.

⁵ títulos de grado, postgrado, filiación, E-mail

⁶ títulos de grado, postgrado, filiación, E-mail

⁷ títulos de grado, postgrado, filiación, E-mail

⁸ títulos de grado, postgrado, filiación, E-mail

⁹ títulos de grado, postgrado, filiación, E-mail

RESUMEN

Se planteó conocer los géneros de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) asociados a plantaciones de *Ochroma pyramidale* (balsa) y su nivel de infección radicular. Se localizaron y analizaron plantaciones de 1; 2; 3; 4; 5,5; y 7 años (seis en total) distribuidas en el centro del Trópico Húmedo Ecuatoriano (THE). En cada plantación se delimitó tres parcelas de 500 m², donde a una profundidad de 0 – 15 cm se colectaron tres muestras de suelo (aproximadamente 1 kg), y raicillas para estimar el porcentaje de colonización radicular. El aislamiento e identificación de los HMA a nivel de género y la estimación de colonización micorrizica se realizó mediante la metodología de tamizado, decantación en húmedo con centrifugación, y despigmentación – tinción de raíces. Se detectaron cuatro géneros de HMA: *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora*, predominando el género *Glomus* en todas las plantaciones estudiadas, con poblaciones entre 27 y 169 esporas por 100 gramos de suelo seco (g⁻¹ ss), siendo las plantaciones de cuatro años donde se encontró las mayores poblaciones, mientras que los demás géneros mostraron baja representatividad en todas las edades. Se determinó baja colonización micorrizica radicular en las plantaciones estudiadas, con rangos de 0,28% a 0,65%, porcentajes de colonización menores a los reportados para otras especies leñosas en la región.

Palabras clave: Acaulospora, Gigaspora, Glomus, Scutellospora, suelo.

ABSTRACT

It was proposed to know the genera of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with plantations of *Ochroma pyramidale* (balsa) and their level of root infection. Plantations of 1; 2; 3; 4; 5.5; and 7 years (six in total) were located and analyzed, distributed in the center of the Ecuadorian Humid Tropic (EHT). In each plantation, three 500 m² plots were delimited, where at a depth of 0-15 cm three soil samples (approximately 1 kg) and rootlets were collected to estimate the percentage of root colonization. The isolation and identification of AMF at the genus level and the estimation of mycorrhizal colonization were carried out using the sieving methodology, wet decantation with centrifugation, and depigmentation - root staining. Four genera of AMF were detected: *Glomus*, *Acaulospora*,

Scutellospora, and *Gigaspora*, the *Glomus* genus prevailing in all the plantations studied, with populations between 27 and 169 spores per 100 grams of dry soil (g^{-1} ds), being the four-year-old plantations where the largest populations were found, while the other genera showed low representativeness at all ages. Low root mycorrhizal colonization was determined in the plantations studied, with ranges from 0.28% to 0.65%, colonization percentages lower than those reported for other woody species in the region

Keywords: Acaulospora, Gigaspora, Glomus, Scutellospora, soil.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es considerado un referente y exportador mundial de madera de *Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam. Urb. (balsa), (González *et al.*, 2010; Jiménez-Romero *et al.*, 2017), donde hasta el año 2015 representaba el 19% de las plantaciones establecidas en el país con 9 928,47 hectáreas, ubicándola como la tercera especie forestal más plantada (MAGAP, 2016).

De acuerdo a la distribución natural en Ecuador, la balsa predomina en zonas tropicales de la región oriental, occidental y estribaciones de la cordillera de Los Andes (Jiménez-Romero *et al.*, 2017), y considerando que las interacciones biológicas son muy dinámicas en las regiones tropicales (Wright, 2001), es probable que la balsa igual a muchas especies vegetales haya coevolucionado junto a otros organismos (Jacoby *et al.*, 2017). En este sentido, los hongos micorrízicos, especialmente los formadores de micorriza arbuscular (HMA) establecen estrechas relaciones simbióticas con alrededor del 70% de las plantas vasculares del planeta (Lekberg *et al.*, 2015) y *O. pyramidale* no sería la excepción.

Se conocen reportes de HMA asociados a plantaciones de varias especies leñosas en el trópico húmedo ecuatoriano (THE), como *Tectona grandis* L. f. (Contreras, 2016), *Gmelina arborea* Roxb. (Meza *et al.*, 2017) y sistemas agroforestales tradicionales basados en *Theobroma cacao* L. (Prieto *et al.*, 2011 y 2012), sin embargo, aún no existen estudios de este grupo de hongos en plantaciones comerciales de balsa en la región, pese que la asociación HMA-vegetales genera beneficios mutuos a través de un sistema de transferencia bidireccional, basado en el flujo de nutrientes inorgánicos, especialmente de aquellos con escasa movilidad (P, Zn, Cu, K, etc.), desde suelo a la planta y compuestos

orgánicos como carbohidratos de la planta hacia el hongo (Peterson *et al.*, 2004; Van Der Heijden *et al.*, 2015), además, generan resistencia frente al ataque de patógenos radiculares (Huang *et al.*, 2003); tolerancia ante la presencia de metales pesados en el suelo (Miransari, 2017), estrés hídrico (Wu & Zou, 2017), condiciones extremas de pH del suelo (Seguel *et al.*, 2016).

En este sentido, la calidad sanitaria y rendimiento de las plantaciones de balsa en el THE, hace sospechar que esta especie forestal formaría asociaciones simbióticas con uno o más géneros y/o especies de HMA nativos, sin embargo, lo poco que se sabe al respecto son solo especulaciones basadas en experiencias con otras especies forestales. La presente investigación planteó conocer los géneros de HMA se encuentran asociados a árboles de *O. pyramidale* en plantaciones y su grado de infección radicular.

METODOLOGÍA

Áreas de estudio y establecimiento de parcelas experimentales. Se seleccionaron 6 plantaciones de *O. pyramidale* con edades de 1; 2; 3; 4; 5,5; y 7 años, y tres ciclos de rotación, ubicadas en la zona central del THE (recintos: El Vergel, Delia María, Guapara, y Santa Rosa), (Figura 1, Tabla 1). En cada plantación se delimitaron tres parcelas de 500 m², dentro de las cuales se determinaron las variables dasométricas altura total y DAP (diámetro a la altura del pecho a 1.30 m sobre el nivel del suelo) en los árboles de balsa en pie.



Figura 1. Ubicación de las seis plantaciones estudiadas de *O. pyramidale* en la zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano, representadas en un mapa digital del Ecuador continental.

Tabla 1. Codificación y coordenadas geográficas de los sitios donde se ubicaron las plantaciones de *O. pyramidale* estudiadas en la zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano.

No.	Provincia	Cantón	Sector	Plantaciones		Coordenadas			
				Nombre	Edad	Latitud S	Longitud		
1	Los Ríos	Valencia	El Vergel	PB 22	1	0°	46'	79°	17'
2	Los Ríos	Valencia	El Vergel	CEB 04	2	0°	45'	79°	18'
3	Los Ríos	Valencia	Delia	FC 02	3	0°	50'	79°	15'
4	Cotopaxi	Pangua	Guapara	PB 49	4	1°	01'	79°	16'
5	Los Ríos	Valencia	El Vergel	PB 22	5.5	0°	45'	79°	17'
6	Los Ríos	Valencia	El Vergel	FC 06	7	0°	45'	79°	17'

Recolección de material biológico. Durante los meses de julio y agosto del año 2016, en cada plantación se recolectaron 3 muestras de suelo de aproximadamente 1 kg, y raicillas (para determinar el porcentaje de colonización micorrízica presente), a una profundidad comprendida entre 0 – 15 cm. Tanto el suelo y las raicillas se depositaron dentro de fundas plásticas rotuladas, e inmediatamente se introdujeron en cajas refrigeradas (hieleras) con el propósito de evitar modificaciones significativas en la biología del suelo por aumentos bruscos de temperatura.

Aislamiento, identificación y conteo de HMA. Se empleó la metodología propuesta por Gerderman & Nicholson (1963) con modificaciones, que consistió en aislar esporas de HMA mediante el tamizado del suelo y decantación en húmedo. Para la estimación del número de esporas por gramo de suelo seco (g^{-1} ss), se pesó 100 g de suelo húmedo y se secó en una estufa a 65 °C durante 72 horas. Posteriormente se registró el peso del suelo seco y mediante una regla de tres simple se calculó el número de esporas por g^{-1} ss. La identificación de los HMA se realizó a nivel de morfoespecies con la ayuda un microscopio y el apoyo de claves taxonómicas (Sieverding, 1991; Brundrett *et al.*, 1996; INVAM, 2018).

Porcentaje de colonización micorrízica. Para su estimación se aplicó la metodología propuesta por Philips & Hayman (1970) y Giovannetti & Mosse (1980) con modificaciones, la cual se basa en la decoloración de raicillas con KOH al 10% y H₂O₂ al 3%, acidificación con HCl 1N, y tinción de las raicillas con Azul de Tripiano al 0,05% en lactoglicerol. Por cada muestra se realizaron montajes de 30 segmentos de raíces en láminas portaobjetos adicionando gotas de glicerol (50%). Las observaciones se hicieron por triplicado (3 repeticiones) en un microscopio a 40x. La frecuencia (%) de colonización radicular (micelio, arbuscúlos y vesículas) se determinó considerando los segmentos colonizados y no colonizados, mediante la relación del total de segmentos colonizados con respecto a los segmentos totales evaluados.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se analizaron empleando herramientas de estadística descriptiva e inferencial. Para establecer si existían o no diferencias estadísticas en la densidad de hongos micorrízicos, y colonización radicular entre las diferentes edades de las plantaciones de balsa, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 95% ($P < 0,05$), previa comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas. Posteriormente se aplicó la prueba LSD (mínima diferencia significativa), con un nivel de significancia del 95% ($P < 0,05$). Para el efecto se empleó el paquete estadístico SYSTAT 11 versión para Windows.

RESULTADOS

Variabes dasométricas en plantaciones estudiadas. En la plantación de 1 año de edad se encontró una densidad de 780 árboles ha⁻¹, sin embargo, en aquellas con edades de 2; 3; 4; 5,5; y 7 años, a pesar de observarse una disminución de la densidad (780, 453, 326, 613, 380 y 400 árboles ha⁻¹, respectivamente), ésta no fue gradual, detectándose densidad alta en la plantación de 4 años, frente a las de 2 y 3 años. En cuanto a las variables altura y DAP, los incrementos promedio fueron progresivos en función a la edad, con 10,2 m de altura y 17,0 cm de DAP para la plantación de 1 año, llegando a alcanzar los 24,3 m de altura y 30,0 cm de DAP en los árboles de la plantación de 7 años. No obstante, se detectó una excepción en los árboles de balsa de la plantación de 4 años (613 ha⁻¹) quienes alcanzaron una altura promedio de 22,6 m, frente a la alcanzada por los árboles de 3 años con 24,0 m, lo cual representó una disminución de 1,4 m (Tabla 2).

Tabla 2. Variables dasométricas evaluadas en seis plantaciones de *O. pyramidale* (balsa) de diferentes edades en la zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano.

No.	Plantaciones		No. Árboles ha ⁻¹	Alturas (m)			DAP (cm)		
	Nombre	Edad (años)		Total Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
1	PB	1	780	10,2 ±	11,0	9,0	17,0 ±	21,3	11,0
2	CEB	2	453	17,4 ±	19,5	14,0	19,3 ±	27,1	12,4
3	FC	3	326	24,0 ±	28,5	19,0	23,5 ±	31,8	17,2
4	PB	4	613	22,6 ±	26,0	17,5	28,8 ±	42,2	18,5
5	PB	5,5	380	27,8 ±	33,0	22,0	31,5 ±	45,2	22,9
6	FC	7	400	34,3 ±	41,0	24,0	39,0 ±	56,5	26,1

* Valores corresponden a promedios de 3 parcelas con su respectiva desviación estándar.

Identificación y densidad de HMA. En los suelos de las plantaciones de balsa estudiadas se aislaron e identificaron cuatro géneros de HMA: *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora*. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en el número promedio de esporas de cada género de HMA por 100 g⁻¹ ss en cada una de las edades de las plantaciones. *Glomus* spp., fue el género que mostró mayor presencia en las plantaciones de todas las edades, la mayor densidad de esporas se encontró en la plantación de 4 años, y la menor en la de 3 años, con 169 y 27 esporas, respectivamente. *Acaulospora* sp., registró la mayor densidad en la plantación de 2 años con un total de 23 esporas, y la menor densidad poblacional en la plantación de 1 año, con tan solo 1 espора por 100 g⁻¹ ss. *Scutellospora* sp., presentó la mayor densidad poblacional en la plantación de 4 años, con un total de 2 esporas, mientras que en las plantaciones de 1; 2; y 5,5 años no se registraron esporas. Para el caso de *Gigaspora* sp., se evidenció la mayor densidad en la plantación de 3 años con un total de 6 esporas, mientras que en las plantaciones de 1 y 7 años no se detectó ninguna (Tabla 3).

Tabla 3. Número de esporas (densidad) de HMA en 100 g⁻¹ ss bajo el suelo de plantaciones de balsa de seis edades, ubicadas en la zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano. Valores corresponden a promedios de tres repeticiones con su respectivo error estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

Géneros de HMA	Edades (años)					
	1	2	3	4	5.5	7
<i>Glomus</i>	89 ± a	39 ± 6,5 a	27 ± a	169 ± a	30 ± a	66 ± a
<i>Acaulospora</i>	1 ± 0,4 b	23 ± 0,4 b	3 ± 0,2 b	4 ± 2,3 b	4 ± 0,8 b	3 ± 0,8 b
<i>Scutellospora</i>	0 ± 0,0 b	0 ± 0,0 b	1 ± 0,4 c	2 ± 0,3 b	0 ± 0,0 b	1 ± 0,1 b
<i>Gigaspora</i>	0 ± 0,0 b	5 ± 1,1 b	6 ± 2,8 c	2 ± 1,0 b	1 ± 0,1 b	0 ± 0,0 b

Población total de HMA (esporas). Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre la densidad total de esporas de HMA (*Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Scutellospora* sp., y *Gigaspora* sp.) por cada 100 g⁻¹ ss en las plantaciones de balsa de diferentes edades. Se determinó que en la plantación de cuatro años de edad existió una mayor densidad de HMA por unidad de peso (177 esporas por 100 g⁻¹ ss), comportándose estadísticamente superior a las densidades encontradas en las plantaciones de las demás edades (Figura 2).

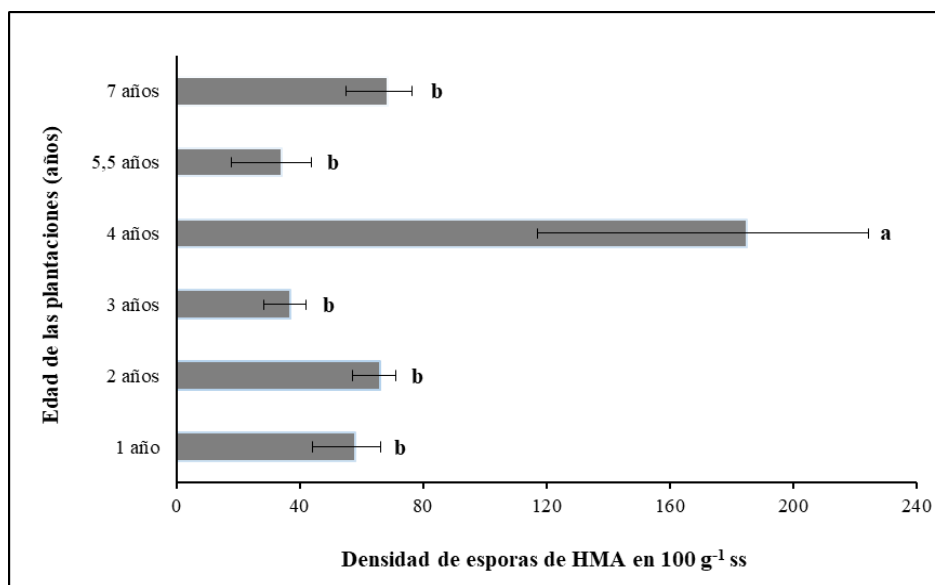


Figura 2. Número promedio total de esporas de HMA obtenidos en 100 g⁻¹ ss en seis plantaciones de *O. pyramidale* de diferentes edades. Valores corresponden a promedios de tres plantaciones por edades, con su respectivo error estándar y desviación estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

Porcentaje de colonización micorrizica. En la figura 3 se muestra el porcentaje de colonización micorrizica (densidad visual) obtenido en raicillas de *O. pyramidale*, donde se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las edades de las plantaciones, siendo las raicillas de las plantaciones de 3 y 7 años las que mostraron un porcentaje mayor de colonización micorrizica en comparación a las de 1; 2; 4; y 5,5 años.

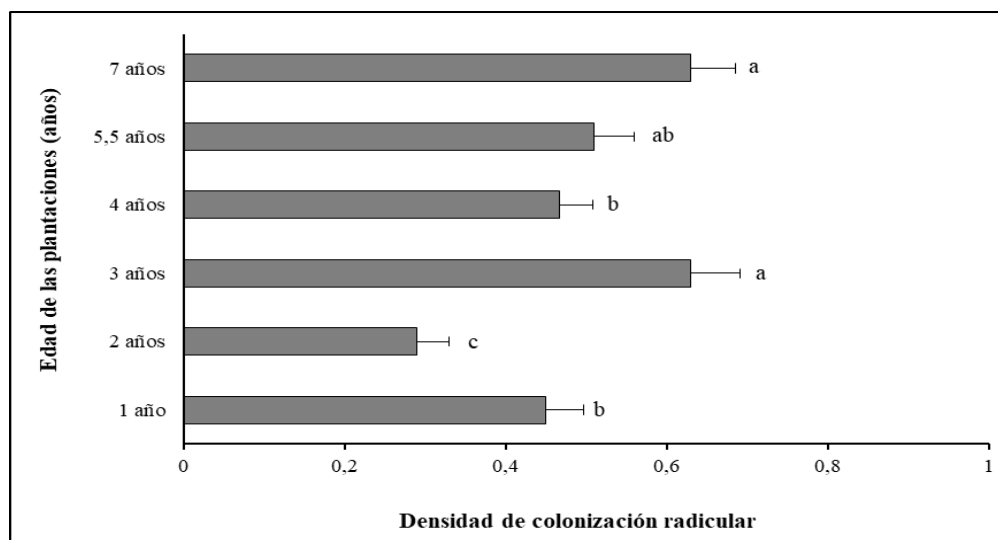


Figura 3. Porcentaje de colonización micorrízica (densidad visual) en raicillas de *O. pyramidale* en plantaciones de diferentes edades. Valores corresponden a promedios de tres repeticiones (90 raicillas) por plantación con su respectivo error estándar y desviación estándar. Letras iguales indican medias estadísticamente similares ($P < 0,05$).

DISCUSIÓN

La densidad encontrada en plantaciones de balsa de 1 año ($780 \text{ árboles ha}^{-1}$) está dentro de los rangos empleados en bosques plantados de esta especie en el Trópico Húmedo Ecuatoriano, no obstante, para aquellas plantaciones de 2; 3; 4; 5,5; y 7 años de edad, si bien la densidad fue menor a la inicial, su disminución no estuvo acorde a la edad y turno final de aprovechamiento, tal es el caso de aquella que a los 4 años presentó una densidad de $613 \text{ árboles ha}^{-1}$, efecto que se reflejó en árboles con alturas promedio de 22,6 m, frente a aquellos árboles de 3 años, que pese a tener un año de edad menos, presentaron 1,4 m más (24 m) que la plantación de 4 años. Estos resultados muestran que un manejo silvicultural adecuado de la balsa resulta en mejores respuestas de las variables dasométricas, independiente de los niveles de micorrización en el suelo (Salazar-Zeledon, 2016).

Los géneros de HMA *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora* encontrados en suelos asociados a plantaciones de *O. pyramidale* de diferentes edades, han sido aislados e identificados desde plantaciones de otras especies forestales como *Tectona grandis* L. f. (Contreras, 2016), *Gmelina arborea* Roxb. (Meza *et al.*, 2017) y sistemas agroforestales tradicionales basados en *Theobroma cacao* L. (Prieto *et al.*, 2011 y 2012) en el Trópico

Húmedo Ecuatoriano, destacando que los representantes de estos HMA se encuentran formando parte de la biodiversidad de los ecosistemas forestales de la región (Calle, 2016). La mayor densidad poblacional de HMA asociada a suelos de plantaciones de balsa, se encontró en las plantaciones de 4 años de edad (177 esporas por 100 g^{-1} ss) siendo *Glomus* spp. el dominante con 169 esporas, muy por encima de la densidad encontrada en los suelos de aquellas plantaciones de 1; 2; 3; 5,5; y 7 años. Este incremento poblacional podría indicar que a los 4 años la especie forestal es mayormente dependiente de la simbiosis con HMA y especialmente con especies del género *Glomus* lo cual coincide con la edad en que los árboles incrementan significativamente su biomasa antes de su aprovechamiento al quinto año.

Si bien la densidad poblacional de los géneros *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora* encontrada en los suelos de plantaciones de balsa fue muy baja e incluso en algunos casos nula, no significa que su función como simbioses de *O. pyramidale* tendría una importancia menor, sino que su actividad en ecosistemas productivos de balsa aún no está claro, ya que la literatura científica da cuenta de ellos como importantes agentes ecosistemáticos en ambientes naturales (Cuenca *et al.*, 1998; Álvarez-Sánchez *et al.*, 2016).

La mayor densidad de colonización visual detectada en raíces de balsa fue en plantaciones de 3 años (0,65%) y 7 años (0,65%), sin embargo, estas densidades son inferiores a las reportadas por otros investigadores en diferentes especies vegetales leñosas de Trópico Húmedo Ecuatoriano: *T. cacao* (Prieto *et al.*, 2012), *T. grandis* (Contreras 2016), *G. arborea* (Meza *et al.*, 2017) en las que se detectó porcentajes de colonización visual de 0,9% – 3,5%; 1,3% - 1,5% y 1,7% – 1,9%, respectivamente. Es claro que esta variabilidad en la colonización micorrízica estaría asociada al tipo de especie vegetal y edad fisiológica de las mismas (Calle, 2016).

CONCLUSIONES

En suelos de plantaciones de *O. pyramidale* (balsa) habitan los géneros de HMA *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora* formando simbiosis con los sistemas radiculares de la especie forestal, donde *Glomus* spp. presentó la mayor densidad de esporas por cada 100 gss^{-1} en plantaciones de 1 a 7 años. La densidad de colonización radicular, pese a ser

baja, fue superior en plantaciones de 3; 5,5; y 7 años de edad. La mayor densidad poblacional de HMA se encontró en plantaciones de 4 años de edad. Pese que *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora* mostraron muy baja densidad de esporas en el suelo, no se descarta su papel ecofisiológico en los bosques de balsa del Trópico Húmedo Ecuatoriano.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación FOCICYT–UTEQ–PFOC–3–1–2016, y a la gerencia de Investigación y Desarrollo de la empresa 3A COMPOSITES PLANTABAL S.A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez-Sánchez, J., Sánchez-Gallen, I., Hernández-Cuevas, L., Hernández, L., & Cruz, C. (2016).

What Can the Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Tell Us About Plant Biodiversity Loss?. In: Pagano M. (eds) Recent Advances on Mycorrhizal Fungi. Fungal Biology. Springer, Cham. 23-33 p. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24355-9_3#citeas

Brundrett, M., Bougher, B., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Camberra, Australia. 374 p. https://www.researchgate.net/profile/B_Dell/publication/227365112_Working_with_Mycorrhizas_in_Forestry_and_Agriculture/links/53eb31430cf28f342f451ac4/Working-with-Mycorrhizas-in-Forestry-and-Agriculture.pdf

Calle, D. (2016). Biorremediación de suelos erosionados de la zona agrícola del cantón Quevedo, mediante el uso de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA). Tesis de Ingeniería en Gestión Ambiental. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 92 p.

Contreras, J. (2016). Hongos micorrízicos de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) y su potencial como biofertilizantes en plántulas a nivel de vivero. Tesis de Magister en Manejo y Aprovechamiento Forestal. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 45 p. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1727>

Cuenca, G., De Andrade, Z., & Escalante, C. (1998). Diversity of glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(6): 711-719. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071797001910>

- Gerderman, J., & Nicholson, T. (1963). Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, (46), 235-244. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007153663800790>
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- González, B., Cervantes, X., Torres, E., Sánchez, C., & Simba, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos – Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 3: 7-11. http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C1_2n22010.pdf
- Huang, J., Luo, S., & Zeng, R. (2003). Mechanisms of plant disease resistance induced by arbuscular mycorrhizal fungi. *The Journal of Applied Ecology*, 14(5):819-822. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12924148>
- INVAM (International Culture Collection of Arbuscular Micorrhizal Fungi). (2016). Arbuscular Micorrhizal Fungi. Key to Fungi in Glomales. (en línea). Consultado 15 de noviembre 2018. <https://invam.wvu.edu/>
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition-Current Knowledge and Future Directions. *Front Plant Sci.* 8:1617. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5610682/>
- Jiménez-Romero, E., Garcías-Franco, L., Carranza-Patiño, M., Carranza-Patiño, H., Morante-Cariel, J., Martínez-Chevez, M., & Cuasquer-Fuel, E. (2017). Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 8(3): 243-250. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/1559>
- Lekberg, Y., Rosendahl, S., & Olsson, P. (2015). The fungal perspective of arbuscular mycorrhizal colonization in “nonmycorrhizal” plants. *New Phytologist*, 205: 1399-1403. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13118>

- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). (2016). Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales. Guayaquil, Ecuador. 71 p. <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>
- Meza, F., Díaz, E., Escobar, H., Belezaca, C., Cachipundo, J., Meza, G., López, F., Meza, C., Meza, J., Cachipundo, J., & Cabrera, R. (2017). Identificación de Hongos Micorrízicos en Plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 28(4): 969-975. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/13883/12434>
- Miransari, M. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Heavy Metal Tolerance in Plants. In: Wu, Q.S. (eds). *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*. Springer, Singapore. 147 – 161 pp. Online ISBN 978-981-10-4115-0. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4115-0_7
- Peterson, R., Massicotte, H., & Melvilla, L. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC Research Press. Ottawa, Canadá. 173 p. https://books.google.com.ec/books?id=IZ3En5HpHFkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Phillips, J., & Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* (55), 158-161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007153670801103>
- Prieto-Benavides, O., Belezaca-Pinargote, C., Mora-Silva, W., Vallejo-Zambrano, E., Gutierrez-Lara, V., & Pinargote-Mendoza, E. (2011). Inoculación de *Brachiaria decumbens* con hongos formadores de micorriza arbuscular nativos del Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 4(2): 9-18. http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_Inoculaci%C3%B3n%20Brachiaria.pdf

- Prieto-Benavides, O., Belezaca-Pinargote, C., Mora-Silva, W., Garcés-Fiallos, F., Sabando-Ávila, F., & Cedeño-Loja, P. (2012). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2):233-239. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v23n02_0233.pdf
- Salazar-Zeledon, E. (2016). Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30): 51-56. <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2460/2255>
- Seguel, A., Castillo, C., Morales, A., Campos, P., Cornejo, P., & Borie, F. (2016). Arbuscular Mycorrhizal symbiosis in four Al-tolerant wheat genotypes grown in an acidic Andisol. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (1) 164-173. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162016000100013
- Sieverding, E., Friedrichsen, J., & Suden, W. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza in tropical agrosystems. *ZB MED Nutrition Environmental Agriculture*. 371 p.
- Van Der Heijden, M., Martin, F., Selosse, M., & Sanders, I. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future (Review). *New Phytologist*, 205: 1406-1423. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13288>
- Wright, S.J. (2001). Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130: 1–14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420100809>
- Wu, Q.S., & Zou, YN. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. In: Wu, Q.S. (eds). *Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants*. Springer, Singapore. 25 – 41 pp. Online ISBN 978-981-10-4115-0. https://www.researchgate.net/publication/315850063_Arbuscular_Mycorrhizal_Fungi_and_Tolerance_of_Drought_Stress_in_Plants