

## **Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero**

### **Biofertilization with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in forest species in nursery**

### **Biofertilização com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em espécies florestais em berçário**

MARÍA MARGARITA RAMÍREZ GÓMEZ<sup>1</sup>, ANDREA MARÍA PEÑARANDA ROLON<sup>2</sup>,  
URLEY ADRIAN PÉREZ MONCADA<sup>3</sup>, DIANA PAOLA SERRALDE<sup>4</sup>

#### **RESUMEN**

*El uso de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) se ha convertido en una interesante alternativa para reducir pérdidas en procesos de multiplicación, aclimatación y adaptación de diferentes especies vegetales (semestrales y perennes) a diversas condiciones agroecológicas. El objetivo de este estudio fue evaluar en vivero el efecto de la biofertilización con HFMA en 4 especies forestales Pachira*

**Recibido para evaluación:** 16 de Enero de 2018.

**Aprobado para publicación:** 7 de Mayo de 2018.

- 1 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. Ph.D en Biotecnología. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 2 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Ciencias Ambientales. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 3 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Ciencias Biológicas. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 4 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Geofísica. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.

**Correspondencia:** [uperez@agrosavia.co](mailto:uperez@agrosavia.co)

quinata (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* Willd. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, 30 plantas como unidad experimental y 6 tratamientos: dos testigos (con 50 y 100% de fertilización) y 4 inóculos de HFMA con el 50% de fertilización química. Se evaluaron variables como altura, diámetro y concentración de nutrientes. Las plantas inoculadas con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. presentaron los mayores valores en alturas y diámetros, así como una mayor translocación de nutrientes hacia las especies *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* y *Eucalyptus* sp. La simbiosis HFMA-especies forestales, tiene efectos benéficos sobre el desarrollo de las plantas, permitiendo reducción de tiempo y costos de producción en vivero.

## ABSTRACT

The use Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) has become an interesting alternative to reduce losses in the multiplication, acclimatization and adaptation processes of different plant species (semester and perennial) to various agroecological condition. The aim of this research was to evaluate in greenhouse the effect of the biofertilization with AMF in four forest species, *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* Willd. A complete random blocks experiment were established with three repetitions, thirty plants as the experimental unit and six treatments: two controls (with 50 and 100% fertilization) and four AMF inocula + 50% chemical fertilization. Plant height, stem diameter and nutrient concentration were measured. The plants inoculated with *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. presented the higher values in heights and diameters as well as a greater translocation of nutrients to the species *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* and *Eucalyptus* sp. AMF and forest species symbiosis has beneficial effects on plant development, which is reflected in the reduction of cost production and reduce time in greenhouse.

## RESUMO

O uso de Fungos formadores de Micorrizas Arbusculares (FMA) tornou-se uma alternativa interessante para reduzir perdas em processos de multiplicação, aclimação e adaptação de diferentes espécies vegetais (semestrais e perenes) em diversas condições agroecológicas. O objetivo deste estudo foi avaliar em viveiro o efeito da biofertilização com HFMA em 4 espécies florestais *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. e *Acacia mangium* Willd. Foi utilizado um formato de blocos completos aleatórios com três repetições, 30 plantas como unidade experimental e 6 tratamentos: dois controles (com 50 e 100% de fertilização) e 4 inóculos de HFMA com 50% de fertilização química. Foram avaliadas variáveis como altura, diâmetro e concentração de nutrientes. As plantas inoculadas com *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. apresentaram os maiores valores em alturas e diâmetros, bem como uma maior translocação de nutrientes para as espécies *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* e *Eucalyptus* sp. A simbiose HFMA de espécies florestais, tem efeitos benéficos sobre o desenvolvimento de plantas, permitindo redução de tempo e custos de produção em viveiro.

## PALABRAS CLAVE:

Simbiosis, Nutrición vegetal, Glomeromycota, Micorriza

## KEYWORDS:

Symbiosis, Plant nutrition, Glomeromycota, Mycorrhiza

## PALAVRAS-CHAVE:

Simbiose, Nutrição vegetal, Glomeromycota, Micorrizas

## INTRODUCCIÓN

La deforestación, a nivel mundial es uno de los procesos de degradación ambiental de alto impacto negativo en la sostenibilidad y competitividad de los ecosistemas, que genera pérdidas de biodiversidad, degradación de suelos, aguas y cambios en los microclimas de las regiones afectadas y del clima a nivel global. A pesar de que en los últimos 25 años la deforestación ha venido disminuyendo en más del 50% aún se siguen deforestando los bosques a nivel mundial [1].

En Colombia la región Caribe ocupa el cuarto puesto en zonas de alta deforestación presentando un 13% de la superficie deforestada [2], asociado a fuertes problemas de degradación de suelos, aguas y pérdidas de biodiversidad, lo cual requiere programas de recuperación basados en establecimiento de plantaciones forestales y agroforestales. Frente a esta problemática la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) han priorizado la necesidad de establecer plantaciones forestales en los planes de desarrollo del sector, con líneas de investigación en evaluación de recursos genéticos, nutrición forestal mediante sistemas de fertilización orgánica y biológica y manejo de suelos, para optimizar la producción, lograr rendimientos competitivos y lograr una sostenibilidad ambiental, económica y social en este sector productivo [3,4].

En especies arbóreas, se presentan limitantes en la producción tanto a nivel de vivero, trasplante y plantación establecida, relacionados con los procesos de multiplicación, aclimatación y adaptación de los cultivos a diversas condiciones agroecológicas. El uso de biofertilizantes con base en Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) se han convertido en una interesante alternativa para reducir pérdidas en estos procesos, ya que se han demostrado en un alto número de cultivos (semestrales y perennes) el efecto benéfico relacionado con mayor supervivencia de plantas a nivel de vivero debido al incremento en el crecimiento de raíces y mejor nutrición en estados tempranos de desarrollo; reducción de tiempos en vivero por las mayores tasas de crecimiento y acumulación de biomasa y mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional bajo condiciones de campo [5,6,7]. Estos efectos se ven reflejados en incrementos en supervivencia a nivel de vivero y trasplante, capacidad de producción de biomasa y en

la calidad del producto final, que para el productor forestal se convierten en mayor competitividad y sostenibilidad, con reducciones de costos de producción y mejora en los ingresos [8-10].

La simbiosis entre HFMA y el 80% de las especies vegetales, es una de las asociaciones más antiguas, con evidencias de su existencia desde hace más 400 millones de años, jugando un papel predominante en la adaptación de plantas a los ecosistemas terrestres, empleando mecanismos de co-evolución HFMA-plantas [11,12]. Uno de los beneficios de esta simbiosis más estudiados, a nivel mundial, está relacionado con la nutrición vegetal en ambientes con restricción de nutrientes, en donde, mediante mecanismos de intercambio bidireccional de nutrientes la planta suministra al hongo carbohidratos para su metabolismo y el hongo favorece la toma y transporte de nutrientes que la planta requiere [13]. La simbiosis favorece la tolerancia de la planta a estrés biótico o abiótico, mejora las características físicas del suelo y favorece la diversificación de especies vegetales en ecosistemas [14-18].

Estudios realizados sobre diversidad de HFMA asociados a diferentes especies de árboles maderables y no maderables han demostrado que existe una amplia gama de morfoespecies de HFMA asociados a la rizosfera de estos árboles [7,19-24] lo que sugiere que los HFMA pueden ser utilizados en especies arbóreas o arbustivas en forma de biofertilizantes, en plantas con cualquier tipo de reproducción por semilla, vegetativa o por producción *in vitro*, constituyéndose en una alternativa valiosa para solucionar problemas de propagación, aclimatación y nutrición de las especies, permitiendo establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que contribuyen con la sostenibilidad por que requieren una menor aplicación de insumos fertilizantes, riego y pesticidas, con sus respectivas reducciones en costos de insumos y mejoras en la eficiencia en el establecimiento y producción en sistemas forestales. Adicionalmente, esta tecnología puede ser fácilmente transferible a técnicos y agricultores [25].

El objetivo de este estudio fue evaluar 4 inóculos de HFMA que fueron aislados de plantaciones forestales del Caribe Colombiano, sobre el crecimiento y absorción de nutrientes de *Pachira quinata*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* bajo condiciones de vivero.

## MÉTODOS

### Ubicación del experimento y material vegetal

La investigación se realizó en la estación experimental Monterrey Forestal, ubicada en el Municipio de Zambrano, Departamento de Bolívar, Colombia, localizado a 9°44'41"N y 74°49'02"O a una altitud de 20 m.s.n.m con una temperatura media de 28°C, donde se establecieron ensayos a nivel de vivero para cada una de las cuatro especies forestales de mayor difusión en la zona: *P. quinata*, *G. arborea*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*. La obtención de las plántulas fue a partir de semilla sexual. La germinación de las semillas se realizó bajo invernadero utilizando como sustrato Cisco y empleándose 300 semillas por especie.

### Microorganismos

Estudios previos realizados por la alianza Corpoica-Pizano [25], permitieron seleccionar y consolidar cuatro inóculos con HFMA nativos aislados de suelos asociados a especies forestales. Estos inóculos estuvieron conformados por esporas nativas, de la siguiente forma: El Inóculo 1 con esporas de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp.; el inóculo 2 de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp.; el inóculo 3 de *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. y el inóculo 4 de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp. La multiplicación de todos los inóculos se realizó en los invernaderos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica en el centro de investigación Tibaitatá, utilizando como hospedero *Brachiaria decumbens* Stapf (1919), sembradas en materos de 500 g, usando como sustrato suelo y arena estéril en proporción 3:1 e inoculando aproximadamente 70 esporas por materia. Después de cinco meses los inóculos se recogieron y llevaron al laboratorio para su posterior lectura de esporas de HFMA mediante la metodología propuesta por Gendermann and Nicholson (1963) con algunas modificaciones [26].

### Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con 3 repeticiones, 30 plántulas como unidad experimental y seis tratamientos: 4 inóculos de HFMA y dos testigos con el 50% y 100% de fertilización química (Cuadro 1). Estos ensayos se establecieron utilizando como sustrato, suelo + arena en proporción 3:1 v/v. Las plántulas se sembraron en

Cuadro 1. Tratamientos para evaluación de HFMA a nivel de vivero en cuatro especies forestales.

Tratamientos	HFMA	Fertilización
T1	<i>Glomus</i> sp + <i>Acaulospora</i> sp.	50%
T2	<i>Glomus</i> sp. + <i>Acaulospora</i> sp. + <i>Scutellospora</i> sp.	50%
T3	<i>Glomus</i> sp. + <i>Gigaspora</i> sp.	50%
T4	<i>Glomus</i> sp. + <i>Acaulospora</i> sp. + <i>Entrophospora</i> sp.	50%
T5	Testigo 1	50%
T6	Testigo 2	100%

bandejas de 50 cubetes. En cada sitio de siembra, se inocularon aproximadamente 70 esporas de HFMA plántula<sup>-1</sup>. La fertilización de los tratamientos se realizó al inicio del experimento aplicando un fertilizante químico de lenta liberación (16-8-12 + (2 MgO) + micro elemento con una dosis de 1 g planta<sup>-1</sup> para el testigo 100% y la mitad de la dosis para el testigo 50% y los tratamientos con HFMA.

### Sistema de muestreo y variables analizadas

Se realizaron con frecuencia quincenal muestreos no destructivos en las especies bajo estudio: *P. quinata*, *G. arborea*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*, se midieron variables de desarrollo de las plantas como: altura (cm) y diámetro de tallo (mm). Adicionalmente, se realizó análisis químico de tejido vegetal de los nutrientes esenciales: Nitrógeno (Kjeldahl EPA 351,3 modificado), Fósforo (Digestión abierta nítrico:perclórico (5:2)/Espectrofotometría), Potasio, Calcio y Magnesio (Digestión abierta nítrico:perclórico (5:2)/espectrometría de absorción atómica).

### Análisis estadístico

Para las variables de altura y diámetro del tallo se realizó un ANAVA previa confirmación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad con los estadísticos de Shapiro-Wilk y la prueba de comparación de medias de Tukey para los análisis paramétricos que resultaron significativos. Los análisis fueron realizados con el programa STATISTIX 9.0 software (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). Los resultados de absorción de nutrientes son tendencias, ya que corresponden al promedio de los tres bloques; sin embargo, como el tamaño de la muestra de planta es tan pequeño para los análisis químicos, no se realizó estadística.

## RESULTADOS

### Efecto de la inoculación con HFMA sobre el crecimiento en las especies forestales *G. arborea*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que para *G. arborea* en la variable de altura, solo se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey a la sexta semana de evaluación, en donde el tratamiento T2 (*Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp.) y T3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.) alcanzaron los mayores valores (27,6 y 25,8 cm, respectivamente) en comparación con el tratamiento fertilizado químicamente al 50% (T5) (19,4 cm) (Cuadro 2). Para el caso del diámetro del tallo solo se encontraron diferencias a la 12 semana después de la siembra (sds) en donde el T6 (fertilizado químicamente con el 100%) obtuvo el mayor valor (5,55 mm), sin embargo, en esta misma semana tanto el T6 como el T2 alcanzaron los valores óptimos en diámetro ( $\geq 5$  mm) al cuello de tallo para su trasplante (Cuadro 2); para la 14 sds todos los tratamientos excepto el testigo 1 (T5), alcanzaron los 5 mm de diámetro. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la altura y el diámetro en la mayoría de las semanas evaluadas, se puede observar que los tratamientos inoculados con HFMA obtuvieron valores similares o superiores al tratamiento fertilizado al 50%, siendo el T2 el que mayor valor obtuvo durante todo el tiempo de evaluación (Cuadro 2). Este resultado, refleja la ventaja del uso de HFMA, en estados iniciales de las plantas en vivero. De acuerdo a los resultados obtenidos para esta especie, la inoculación con HFMA favoreció el rápido crecimiento de las plantas permitiendo menor tiempo de permanencia en vivero lo cual es ideal para los productores.

En el caso de *Pachira quinata* no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) en la altura de las plantas de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey. Aunque no se presentaron diferencias entre tratamientos se puede observar que todos los tratamientos inoculados con HFMA presentaron mayores valores en altura en comparación a los dos testigos (fertilizados químicamente al 50 y 100%) (Cuadro 3). En cuanto al diámetro solo se encontraron diferencias a la semana 10 en donde el tratamiento T3 fue el que obtuvo el mayor valor (4,15 mm) en esta variable en comparación a los dos testigos (T5 y T6) presentando los menores valores (2,92

y 3,47 mm respectivamente). Las plantas de *P. quinata* alcanzaron el diámetro adecuado ( $\geq 5$  mm) para su trasplante a campo en la semana 14, en donde el T3 fue el único que alcanzó este valor (5,06 mm) (Cuadro 3). De los tratamientos inoculados se destaca el comportamiento de T3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.), que representan potencial para el productor, ya que con estos tratamientos se reduce la fertilización en vivero y se obtienen plantas óptimas en altura en un menor tiempo que con la fertilización completa (T6).

**Cuadro 2.** Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *G. arborea*.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)			
	Sds		Sds			
	6	8	6	8	10	12
T1	24,1 <sup>ab</sup>	39,1 <sup>a</sup>	3,1 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,3 <sup>a</sup>	4,8 <sup>ab</sup>
T2	27,6 <sup>a</sup>	42,2 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	5,1 <sup>ab</sup>
T3	25,8 <sup>a</sup>	41,8 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,7 <sup>ab</sup>
T4	24,7 <sup>ab</sup>	39,3 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	4,9 <sup>ab</sup>
T5	19,4 <sup>b</sup>	35,2 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	4,4 <sup>b</sup>
T6	24,1 <sup>ab</sup>	40,5 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	4,3 <sup>a</sup>	5,1 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>

**Nota:** Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

**Cuadro 3.** Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *P. quinata*.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)				
	Sds		Sds				
	6	8	6	8	10	12	14
T1	18,3 <sup>a</sup>	19,2 <sup>a</sup>	2,6 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	3,6 <sup>ab</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,2 <sup>a</sup>
T2	17,1 <sup>a</sup>	18,1 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	3,1 <sup>a</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	4,2 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>
T3	18,5 <sup>a</sup>	21,6 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,7 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>
T4	18,9 <sup>a</sup>	20,6 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	3,2 <sup>a</sup>	3,7 <sup>ab</sup>	4,3 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>
T5	14,1 <sup>a</sup>	15,7 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>	2,9 <sup>b</sup>	3,7 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>
T6	15,7 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	3,8 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>

**Nota:** Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

Los resultados obtenidos en la especie *Eucalyptus* sp. muestran diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey en la altura y diámetro de las plantas, la altura es una de las variables importantes a tener en cuenta para el trasplante a campo, en donde la óptima está entre 15 a 20 cm [27]. Lo anterior se confirma con los resultados obtenidos en este estudio, donde la altura ideal para el trasplante a campo se alcanzó a partir de la 4 sds con el tratamiento 3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.) (Cuadro 4), demostrando los beneficios del uso de HFMA en la reducción de hasta 8 semanas en vivero para plántulas de *Eucalyptus* sp.

El eucalipto tiene la capacidad de asociarse con dos tipos de micorrizas, con HFMA y ectomicorrizas, los HFMA juegan un papel importante sobre plantas jóvenes y las ectomicorrizas sobre plantas de mayor edad. Estudios realizados por Holste *et al* [28], en *Eucalyptus grandis* con HFMA y ectomicorrizas sobre el crecimiento y contenido de nutrientes con combinaciones bajas y altas de nitrógeno (N) y fósforo (P) con diferentes relaciones bajo condiciones de invernadero, encontraron que la co-inoculación de HFMA y ectomicorrizas en *E. grandis* afecto positivamente el peso seco radical, mientras que la inoculación en forma individual con HFMA aumento el contenido de nutrientes en el tejido vegetal de esta especie. Todos estos resultados demuestran la importancia del uso de HFMA durante etapas tempranas de crecimiento de esta especie vegetal

Para el caso de *A. mangium*, en promedio, las plantas llegaron a 13 cm de altura a las 12 sds. En el cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos en esta especie en donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas a lo largo de todo el período de monitoreo. En este tiempo se evidencia el efecto positivo del tratamiento de inoculación 3, el cual superó en altura al testigo con el 50% de la fertilización (T5 y T6). Para el diámetro se encontraron diferencias en la 2, 6, 8, 10 y 12 sds en donde el tratamiento T3 presentó valores promedios más altos que los testigos fertilizados al 50 y 100% en las semanas evaluadas (Cuadro 5).

Co-inoculaciones realizadas con los HFMA *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellospora calospopra* y la bacteria solubilizadora de fosfato *Paenibacillus polymyxa* demostraron que pueden mejorar el crecimiento, la absorción de nutrientes y la calidad en las plantas de *Acacia auriculiformis*, las plantas inoculadas tanto de forma simples como combinadas con estos microorganismos

fueron un 83% más altas que los controles, así mismo se presentaron mayores incrementos en la longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso seco de la parte aérea y de la raíz en todas las plantas inoculadas con HFMA y *P. polymyxa* de forma individual y combinada [29]

En los ecosistemas naturales los HFMA no se encuentran asociados a una sola especie vegetal, sino por el contrario existe una alta diversidad de estos hongos que pueden estar colonizando diferentes sistemas de raíces, sin embargo, la eficiencia de la simbiosis podría diferir según el genotipo tanto de la planta hospedera

**Cuadro 4.** Efecto de la inoculación con HFMA sobre la altura en *Eucalyptus* sp.

Tratamientos	Altura (cm)		
	Sds		
	4	6	8
T1	14,7 <sup>ab</sup>	23,3 <sup>ab</sup>	30,3 <sup>a</sup>
T2	13,1 <sup>ab</sup>	19,3 <sup>b</sup>	24,8 <sup>a</sup>
T3	16,5 <sup>a</sup>	27,3 <sup>a</sup>	33,2 <sup>a</sup>
T4	9,4 <sup>b</sup>	18,1 <sup>b</sup>	22,8 <sup>a</sup>
T5	11,8 <sup>ab</sup>	20,0 <sup>ab</sup>	27,0 <sup>a</sup>
T6	14,1 <sup>ab</sup>	21,2 <sup>ab</sup>	27,4 <sup>a</sup>

**Nota:** Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

**Cuadro 5.** Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *A. mangium*.

Tratamientos	Altura (cm)			Diámetro (mm)		
	Sds			Sds		
	8	10	12	8	10	12
T1	9,9 <sup>ab</sup>	10,8 <sup>ab</sup>	12,3 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>bc</sup>	1,8 <sup>bc</sup>	1,9 <sup>abc</sup>
T2	11,0 <sup>ab</sup>	11,9 <sup>ab</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	2,0 <sup>abc</sup>
T3	12,7 <sup>a</sup>	13,7 <sup>a</sup>	15,1 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>	2,0 <sup>ab</sup>	2,2 <sup>ab</sup>
T4	10,0 <sup>ab</sup>	10,7 <sup>ab</sup>	12,1 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>bc</sup>	1,7 <sup>c</sup>	1,9 <sup>bc</sup>
T5	8,6 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>	10,8 <sup>b</sup>	1,6 <sup>c</sup>	1,7 <sup>c</sup>	1,8 <sup>c</sup>
T6	11,7 <sup>ab</sup>	12,9 <sup>ab</sup>	14,2 <sup>ab</sup>	1,9 <sup>abc</sup>	2,0 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>

**Nota:** Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

como la del HFMA [30-33]. En ese sentido los resultados obtenidos en este estudio demuestran el efecto benéfico que tiene la biofertilización de HFMA en especies forestales en las cuales, dependiendo del género y la especie presentes en cada inóculo, difieren los beneficios observados, aunque, en términos generales, todos los inóculos de HFMA evaluados presentaron efectos positivos sobre el crecimiento de estas especies, alcanzando valores similares e incluso superior, en algunos casos a los tratamientos en donde se aplicó fertilización de síntesis química al 50 y 100%.

Las especies forestales bajo estudio sugieren que el inóculo de HFMA más eficiente para efectos de evaluación del desarrollo de las plantas y estado óptimo para trasplante a campo es el inóculo 3, que es un inóculo mixto de HFMA con predominio de los géneros *Glomus* sp. y *Gigaspora* sp. Este inóculo, de acuerdo con los resultados obtenidos permite alcanzar en un menor tiempo la robustez necesaria para pasar de vivero a campo, lo cual se ve reflejado en una disminución de costos de producción por la reducción de fertilizantes de síntesis química y en labores de campo asociadas a la etapa de vivero. Resultados encontrados por Ramírez *et al* [25], concuerdan con los obtenidos en este estudio en donde plantas de *G. arborea* inoculadas con HFMA alcanzaron mayor crecimiento y grosor del tallo aproximadamente 3 meses después de la siembra a nivel de vivero que los testigos con fertilización química. En consecuencia, es posible determinar que una de las ventajas que ofrece la inoculación con HFMA, es la optimización en la absorción de nutrientes, por lo que se obtienen plantas mejor nutridas con una menor dosis de fertilización y el desarrollo agronómico de las plantas se ve favorecido por la inoculación con estos microorganismos.

En un estudio realizado en plantas de *Tectona grandis* inoculadas con HFMA nativos bajo condiciones *in vitro* y *ex vitro*, encontraron que las plantas de *T. grandis* responden a la inoculación con HFMA en donde para los ensayos *ex vitro* las plantas inoculadas con *Claroideoglomus etunicatum* PBT03 fue el que presentó la mayor altura y diámetro del tallo comparado con los demás tratamientos inoculados con HFMA y el control no inoculado, mientras que para los ensayos *in vitro* las plantas que estaban inoculadas con *Funneliformis mosseae* RYA08 fue el que presentó los mayores valores en altura y peso seco de la planta en comparación a los demás tratamiento [7].

Retama-Ortiz *et al* [34], evaluaron el efecto que tienen 10 consorcios de HFMA nativos aislados de la rizosfera de *Liquidambar styraciflua* e inoculados en 4 especies de árboles (*L. styraciflua*, *Terminalia amazonia*, *Cordia alliodora* y *Cojoba arborea*) encontrando que las especies *L. styraciflua*, *Terminalia amazonia*, *Cojoba arborea* tuvieron una mayor respuesta a la inoculación con los HFMA evaluados, mostrando una mayor altura, número de hojas y peso seco total en comparación al control.

Aunque en la literatura se encuentran muy pocos estudios realizados con HFMA en las especies forestales evaluadas en esta investigación, el efecto benéfico que tienen los HFMA sobre especies forestales en vivero y campo ha sido muy bien reportado en donde se han encontrado resultados similares a los obtenidos en este trabajo, como una mayor altura y diámetro de las plantas, mayor acumulación de materia seca en hojas y raíz y un mayor porcentaje de supervivencia en el trasplante a campo cuando estas están inoculadas con HFMA, bien sea en forma simple o co-inoculadas con otros HFMA y bacterias promotoras de crecimiento vegetal [29,35-39].

### **Efecto de la inoculación con HFMA sobre la absorción de nutrientes en las especies forestales *G. arborea*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium***

Para la especie *G. arborea*, se puede observar que el tratamiento T1 inoculado con *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. fue superior al testigo 50% (T5) en la absorción de nutrientes como el nitrógeno (N) y magnesio (Mg). Mientras que, este mismo tratamiento (T1) obtuvo valores similares al testigo 100% (T6) en la absorción de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (Cuadro 6).

En *P. quinata* las mayores absorciones de N, P, K, Ca y Mg se presentaron en los tratamientos inoculados con HFMA (T3 y T4) en comparación con el tratamiento fertilizado químicamente al 50% (Cuadro 5). En la absorción de nitrógeno se encontró que el T6 obtuvo los mayores valores (0.172 g de N planta<sup>-1</sup>), sin embargo, en los tratamientos T3 y T4 (0,145 y 0,146 g de N planta<sup>-1</sup> respectivamente) se encontraron valores superiores al tratamiento fertilizado al 50% (0,104 g de N planta<sup>-1</sup>), en este mismo sentido.

ocurrió con la absorción de K y Mg en donde el T6 fue el que obtuvo los mayores valores pero los tratamientos T3 y T4 presentaron valores superiores al T5. La absorción de P por parte de la planta fue mayor en el tratamiento inoculado con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. (T3) en donde éste al estar fertilizado con el 50% presentó mayor absorción de este elemento en comparación a los testigos fertilizados con el 50 y 100% (T5 y T6), esta misma tendencia se presentó con la absorción de Ca en donde los tratamientos T3 y T4 fertilizados químicamente con el 50% superaron a los testigos (T5 y T6) (Cuadro 6).

La respuesta a la inoculación con HFMA en la concentración de nutrientes en *Eucalyptus* sp. se observa en cuadro 5. De acuerdo a los resultados obtenidos en la concentración de nitrógeno y K, el tratamiento T1 fue el que presentó los mayores valores (0,091 g de N y 0,064 g de K planta<sup>-1</sup>) de absorción de estos elementos, seguido de los tratamientos T4 (0,074 g de N y 0,057 g de K planta<sup>-1</sup>) y T3 (0,069 g de N y 0,055 g de K planta<sup>-1</sup>) en comparación con los tratamientos fertilizados químicamente al 50% (0,060 g de N y 0,031 g de K planta<sup>-1</sup>) y al 100% (0,063 g de N y 0,047 g de K planta<sup>-1</sup>) (Cuadro 6). Se observó que en la absorción de P los mayores valores promedios (0,026 g de P planta<sup>-1</sup>) se obtuvieron en el tratamiento inoculado con *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp. (T4) comparado con los testigos T5 (0,011 g de P planta<sup>-1</sup>) y T6 (0,013 g de N planta<sup>-1</sup>) (Cuadro 6). La tendencia en la absorción de Ca y Mg fue similar en donde el tratamiento T6 fue el que obtuvo los mayores valores (0,034 g de Ca y 0,015 g de Mg planta<sup>-1</sup>), sin embargo, los tratamientos T3 (0,027 g de Ca y 0,012 g de Mg planta<sup>-1</sup>) y T4 (0,026 g de Ca y 0,012 g de Mg planta<sup>-1</sup>) obtuvieron valores superiores al T5 (0,012 g de Ca y 0,07 g de Mg planta<sup>-1</sup>) que se encontraba fertilizado con el 50% sin inoculación.

Con relación a la respuesta a la inoculación con HFMA en la concentración de nutrientes para la especie *A. mangium* se encontró que el tratamiento T5 fue el que obtuvo los mayores promedios en absorción de N, sin embargo, los tratamientos T1, T3 y T4 fueron superiores al testigo 100% (T6) en la absorción de este mismo elemento (Cuadro 5). La absorción de K, Ca y Mg en la planta por parte del T4 (*Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp.) presentó los mayores valores de estos elementos en comparación a los testigos fertilizados con el 50 y 100% sin inocular (Cuadro 6). La absorción de P en plantas de *A.*

*mangium* fue mayor en el tratamiento T1 (0,017 g de P planta<sup>-1</sup>) en comparación a los testigos con el 50% (0,015 g de P planta<sup>-1</sup>) y 100% (0,015 g de P planta<sup>-1</sup>).

La asociación simbiótica mutualista micorriza – planta está basada en el intercambio bidireccional de nutrientes particularmente el P [5,13,40]. Las plantas pueden tomar los nutrientes a partir de dos vías: la primera es a través de las células epidérmicas cerca del ápice de la raíz y de los pelos radicales y la otra a través del

**Cuadro 6.** Tendencias sobre la absorción de nutrientes en tres especies forestales (*G.melina*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A.mangium*)

Tratamientos	Concentración de nutrientes (g-planta <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg
<b><i>Gmelina arborea</i></b>					
T1	0,411	0,018	0,376	0,103	0,081
T2	0,263	0,014	0,198	0,101	0,036
T3	0,290	0,021	0,283	0,083	0,051
T4	0,233	0,013	0,146	0,082	0,028
T5	0,331	0,019	0,375	0,148	0,049
T6	0,466	0,026	0,374	0,095	0,082
<b><i>Pachira quinata</i></b>					
T1	0,088	0,009	0,058	0,059	0,020
T2	0,087	0,013	0,054	0,055	0,017
T3	0,145	0,020	0,070	0,076	0,026
T4	0,146	0,015	0,065	0,085	0,029
T5	0,104	0,013	0,061	0,056	0,021
T6	0,172	0,013	0,082	0,069	0,031
<b><i>Eucalyptus</i> sp</b>					
T1	0,091	0,011	0,064	0,024	0,012
T2	0,050	0,012	0,036	0,010	0,008
T3	0,069	0,017	0,055	0,027	0,012
T4	0,074	0,026	0,057	0,026	0,012
T5	0,060	0,011	0,031	0,012	0,007
T6	0,063	0,013	0,047	0,034	0,015
<b><i>Acacia mangium</i></b>					
T1	0,056	0,017	0,037	0,026	0,009
T2	0,041	0,015	0,029	0,027	0,010
T3	0,000	0,009	0,039	0,017	0,010
T4	0,057	0,014	0,052	0,045	0,015
T5	0,064	0,015	0,036	0,038	0,013
T6	0,045	0,015	0,030	0,030	0,011

**Nota:** T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

micelio extrarradical de los HFMA. La captación de P a través de la raíz es rápida y como resultado hay un agotamiento progresivo de este nutriente y es ahí en donde juega un papel muy importante el micelio extrarradical de los HFMA en donde éste tiene una alta afinidad por transportadores de fósforo inorgánico (Pi) para ser trasferido a la corteza de la raíz [5, 41]. En ese contexto los resultados obtenidos en la absorción de Pi en este estudio demuestran que los HFMA jugaron un papel muy importante en la translocación de este nutriente a las diferentes especies forestales evaluadas, ya que la absorción de este elemento por parte de los HFMA dependiendo del tipo de inóculo y de la especie forestal, se incrementó en comparación al testigo fertilizado con el 50% y en algunas ocasiones se obtuvieron valores iguales o mayor al testigo fertilizado al 100% sin inocular (Figuras 1, 2, 3 y 4). En estudios realizados por Sharma and Adholeya [42] en donde evaluaron la absorción de P en 3 especies arbóreas forestales (*Acacia nilotica* var. *cupressiformis*, *Albizia lebbek* y *Eucalyptus tereticornis*), encontraron que de diez especies de HFMA evaluadas, *Glomus intraradices* (HFMA 1004) y una mezcla de HFMA (HFMA-1209) obtuvieron la mayor absorción de fósforo (P) en los brotes de estas especies, adicionalmente, la inoculación con estos dos tipo de HFMA dio el mayor peso seco y esto se correlaciono altamente con la absorción de P.

Adicional a los resultados encontrados en la absorción de P por parte de los HFMA inoculados en las diferentes especies forestales evaluadas en este estudio, se presentaron resultados similares con los obtenidos en la absorción de los demás nutrientes (N, K, Ca y Mg), en donde en general las plantas que estaban inoculadas con HFMA presentaron valores superiores o iguales a los testigos (T5 y T6).

Otros estudios realizados en *A. auriculiformis*, *Schizolobium parahyba* y *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* [29,43,44] han demostrado que la absorción de nutrientes por parte de los HFMA evaluados fue mayor a los controles. Cely *et al* [43], evaluaron los HFMA (*Claroideoglomus etunicatum* y *Acaulospora* sp.) y las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (dos cepas de *Rhizobium* sp. y *Burkholderia* sp.) nativos de la rizósfera de *Schizolobium parahyba* en diferentes combinaciones, encontraron que los tratamientos con *C. etunicatum* + *Rhizobium* sp. (Rh1) y *Acaulospora* sp., ambos tratamientos fertilizados

con 150 g de N-P-K incrementaron el rendimiento en madera y las combinaciones de *Acaulospora* sp. + *Rhizobium* sp. (Rh2) y *Acaulospora* sp. + *Rhizobium* sp. (Rh1) ambos fertilizados con 75 g de N-P-K aumentaron el crecimiento de las plantas en vivero.

Tanto los resultados de los experimentos del presente trabajo como los reportados en la literatura, permiten afirmar que los biofertilizantes de tipo HFMA representan un buen potencial para disminuir los limitantes que se presentan en la producción de especies forestales a nivel de vivero, reflejado en mayor desarrollo radical, mayor tasa de crecimiento, mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional en campo [10,45]. Por otra parte, el uso de biofertilizantes con base en HFMA podría reducir los tiempos de vivero, y para el productor forestal se convierten en mayor competitividad y sostenibilidad, con reducciones de costos de producción y mejora en los ingresos.

## CONCLUSIONES

El uso de HFMA nativos como inoculante para las diferentes especies forestales evaluadas en esta investigación fue muy eficaz cuando estos son combinados con el 50% de fertilización de síntesis química en donde las asociaciones *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. - *Gmelina arborea*, *P. quinata*, *Eucalytus* sp. y *A. mangium* a nivel de vivero representan un potencial para el productor forestal. El uso de esta tecnología para las especies forestales permitió obtener las condiciones óptimas de altura y diámetro de cuello de la raíz para su trasplante a campo, así como una mayor absorción de nutrientes por parte de las plantas cuando estas se encontraban asociadas a los HFMA mencionados anteriormente.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias por la financiación (RC-0098-2012). A Pizano y a la estación Monterrey Forestal por la cofinanciación del proyecto.

A los Doctores Miguel Rodríguez, Diana Pérez y Joaquín Celeita de Pizano SA., por su apoyo y aportes a esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). La deforestación se ralentiza a nivel mundial, con más bosques mejor gestionados [online]. 2015. Disponible: <http://www.fao.org/news/story/es/item/327382/icode/> [citado 01 de noviembre de 2017].
- [2] COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Lanzamiento cifras de deforestación anual. Bogotá (Colombia): 2014, 43 p.
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agrociencias Colombia. En: La cadena forestal y maderera en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá (Colombia): Documento de trabajo No 64, 2005, 65 p.
- [4] COLOMBIA. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO FORESTAL [online]. 2000. Disponible: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=426:planti-lla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas-21> [citado 03 de noviembre de 2017].
- [5] SMITH, S.E. and SMITH, F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. Annual Review of Plant Biology, 62, 2011, p. 227–250.
- [6] KAPOOR, R., SHARMA, D. and BHATNAGAR, A. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulturae, 116, 2008, p. 227-239.
- [7] CHAIYASEN, A. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tectona grandis* Linn.f. plantations and their effects on growth of micropropagated plantlets. New Forests, 48, 2017, p. 547–562.
- [8] AJEESH, R. et al. Screening of selected native arbuscular mycorrhizal fungi at different levels for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis* seedlings. Journal of Tropical Forest Science, 29(4), 2017, p. 395–403.
- [9] CAMARA, R. et al. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. Floresta, 47(4), 2017, p. 449-458.
- [10] RAMÍREZ, M. et al. Informe final proyecto “Reducción de pérdidas de producción en plántulas en vivero y trasplante por medio del uso de micorrizas arbusculares en dos especies forestales (*Gmelina arborea* y *Pachira quinata*) de alto potencial en el Caribe Colombiano”. Bogotá (Colombia): MADR-II-CA, Documento CORPOICA, 2010.
- [11] REDECKER, D., MORTON, J.B. and BRUNS, T.D. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). Molecular Phylogenetics and Evolution, 14, 2000, p. 276-284.
- [12] HONRUBIA, M. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. Anales del Jardín Botánico de Madrid, 66(1), 2009, p. 133-144.
- [13] SMITH, S.E. and SMITH, A.F. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. Annual Review of Plant Biology, 62, 2011, p. 227-250.
- [14] SMITH, S.D. and READ, D.J. Mycorrhizal Symbiosis. 3 ed. New York (USA) London (UK): Academic, 2008, 787 p.
- [15] READ, D.J. En: Mycorrhizal Ecology. Berlin Heidelberg (Germany): Springer- Verlag, 2003, p. 3-29.
- [16] AVERILL, C., TURNER, B.L. and FINZI, A.C. Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage. Nature, 505, 2014, p.543–545.
- [17] MIDGLEY, M.G. and PHILLIPS, R.P. Mycorrhizal associations of dominant trees influence nitrate leaching responses to N deposition. Biogeochemistry, 117, 2014, p. 241–253.
- [18] READ, D.J. En: Mycorrhiza: Structure, function molecular biology and Biotechnology. Berlin Heidelberg (Germany): Springer- Verlag, 2013, p 3-34.
- [19] RODRÍGUEZ-MORELOS, V.H. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of seedlings and mature trees of *Swietenia macrophylla* (Magnoliophyta: Meliaceae), in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico, Revista Chilena de Historia Natural, 87, 2014, p. 1-10.
- [20] MELO, C.D. et al. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi under *Picconia azorica* in native forests of Azores. Symbiosis, 74(1), 2018, p. 43-54.
- [21] SOARES DA SILVA, M. de C. et al. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in *Eucalyptus globulus* plantations. European Journal of Agriculture and Forestry Research, 2(3), 2014, p. 25-42.
- [22] FRANSSON, P. et al. Mycorrhizal associations and soil properties of native *Allanblackia stuhlmannii* stands in the Eastern Usambara Mountains, Tanzania. Annals of Applied Biology, 169, 2016, p. 369–383.
- [23] HOLSTE, E.K. et al. Reduced aboveground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. Ecology and Evolution, 6, 2016, p. 7253–7262.
- [24] GEOFFROY, A. et al. Molecular characterization of arbuscular mycorrhizal fungi in an agroforest-

- try system reveals the predominance of *Funneliformis* spp. associated with *Colocasia esculenta* and *Pterocarpus officinalis* adult trees and seedlings. *Frontiers in Microbiology*, 8(28), 2017, doi: 10.3389/fmicb.2017.01426.
- [25] RAMÍREZ, M. *et al.* Manual de uso y aplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en especies forestales. Bogotá (Colombia): Corpoica, 2011, 52 p.
- [26] GENDERMANN, J.W. and NICHOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 1963, p. 235-244.
- [27] HERNÁNDEZ, R.J. *et al.* Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana El eucalipto. Chinchiná (Colombia): Serie cartillas divulgativas, Federación Nacional de Cafeteros, Cenicafe, Bankengruppe y Smurfit Kappa, 2006, 52 p.
- [28] HOLSTE, E., KOBE, R.K. and GEHRING, C.A. Plant species differ in early seedling growth and tissue nutrient responses to arbuscular and ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 27, 2017, p. 211-223.
- [29] MUTHUKUMAR, T. and UDAIYAN, K. Coinoculation of bioinoculants improve *Acacia auriculiformis* seedling growth and quality in a tropical Alfisol soil. *Journal of Forest Research*, 29(417), 2017, p. 663-673, DOI 10.1007/s11676-017-0497-1.
- [30] DAVISON, J. *et al.* Communities of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Detected in Forest Soil Are Spatially Heterogeneous but Do Not Vary throughout the Growing Season. *PLoS ONE*, 7(8), 2012, p. 1-8, doi:10.1371/journal.pone.0041938.
- [31] WANG, X., ZHAO, S. and BÜCKING, H. Arbuscular mycorrhizal growth responses are fungal specific but do not differ between soybean genotypes with different phosphate efficiency. *Annals of Botany*, 118(1), 2016, p. 11-21.
- [32] MENSAH, J.A. *et al.* High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi is associated with differences in phosphate and nitrogen uptake and fungal phosphate metabolism. *Mycorrhiza*, 25, 2015, p. 533-546.
- [33] AGUILERA, P. *et al.* Selection of aluminum tolerant cereal genotypes strongly influences the arbuscular mycorrhizal fungal communities in an acidic Andosol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 246, p. 86-93.
- [34] RETAMA-ORTIZ, Y. *et al.* Effectiveness of native arbuscular mycorrhiza on the growth of four tree forest species from the Santa Marta Mountain, Veracruz (Mexico). *Forest Systems*, 26 (1), 2017, p. 1-9, doi.org/10.5424/fs/2017261-09636.
- [35] HASHEM, A. *et al.* The Interaction between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Endophytic Bacteria Enhances Plant Growth of *Acacia gerrardii* under Salt Stress. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2016, p. 1-15.
- [36] MARRO, N. *et al.* Neotropical tree production: insights into germination, growth and outplanting for *Maytenus boaria*. *CERNE*, 23(3), 2017, p. 377-385.
- [37] ZAMBRANO, J.A. y Díaz, L.A. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus* sp. en *Gmelina arborea* durante su germinación y manejo en vivero. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 2008, p.162-170.
- [38] BINI, D. *et al.* Intercropping *Acacia mangium* stimulates AMF colonization and soil phosphatase activity in *Eucalyptus grandis*. *Scientia Agricola*, 75(2), 2018, p. 102-110.
- [39] MEDINA, J.F. *et al.* Crecimiento de *Cedrela odorata* L. biofertilizada con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2014, p.177-186.
- [40] JONES, M.D. and SMITH, S.E. Exploring functional definitions of mycorrhizas: Are mycorrhizas always mutualisms?. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 2004, p.1089-1109.
- [41] JAVOT, H., PUMPLIN, N. and HARRISON, M.J. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant Cell Environmental*, 30, 2007, p. 310-22.
- [42] SHARMA, M.P. and ADHOLEYA, A. Parameters for Selecting Efficient Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Plants Under Microcosm Conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1), 2015, p. 77-83.
- [43] CELY, M.V. *et al.* Inoculation of *Schizolobium parahyba* with Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Increases Wood Yield under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2016, p. 1-13.
- [44] BRITO, V.N. *et al.* arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate fertilization on the seedling production of paricá. *Ciência Florestal*, 27(2), 2017, p. 485-497.
- [45] SOKA, G., and RITCHIE, M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: prospects for future research tropical soils. *Open Journal of Ecology*, 4, 2014, p.11-22.