


Crecimiento y actividad fotosintética de *Swietenia mahagoni* biofertilizadas con hongos micorrízicos arbusculares en vivero

Growth and photosynthetic activity of *Swietenia mahagoni* biofertilized with arbuscular mycorrhizal fungi in a nursery


Crescimento e atividade fotossintética de *Swietenia mahagoni* biofertilizada com fungos micorrízicos arbusculares em viveiro

Emir Falcón Oconor*

Doctor en Ciencias Forestales, Profesor Auxiliar de la Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba, teléf.: 21 326113, ext. 111,


 :efalconoconor@gmail.com;  :<https://orcid.org/0000-0001-8833-4942>


Yuris Rodríguez Matos

Doctor en Ciencias Forestales, Profesor Titular de la Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba,  :yurisrm@cug.co.cu;

 :<https://orcid.org/0000-0002-5032-6362>

Orfelina Rodríguez Leyva

Máster en Ciencias Forestales, Profesora Auxiliar de la Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal, Guantánamo, Cuba,  :orfelina@cug.co.cu;

 :<https://orcid.org/0000-0002-1575-1515>

Para citar este artículo/To reference this article/Para citar este artigo

Falcón Oconor, E., Rodríguez Matos, Y., & Rodríguez Leyva, O. (2024). Crecimiento y actividad fotosintética de *Swietenia mahagoni* biofertilizadas con hongos micorrízicos arbusculares en vivero. *Avances*, 26(4), 533-547. <https://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/850/2158>

Recibido: 15 de marzo de 2024

Aceptado: 19 de septiembre de 2024

RESUMEN

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares mejora el estatus fisiológico de

especies tropicales forestales; sin embargo, no se ha evaluado su efecto en algunos

cultivos nativos tropicales como *Swietenia mahagoni* L. Jacq. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres cepas de hongos micorrízicos arbusculares sobre el desarrollo fotosintético y crecimiento de *S. mahagoni* en vivero. Las semillas se sembraron en tubetes de 200 cm³ y se aplicaron tres cepas de hongos: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense*, *Rhizophagus intraradices* y un testigo. Las variables morfológicas (peso seco, área foliar, sistema radical, índice de esbeltez, relación parte aérea y parte radical, índice de calidad de Dickson e índice de vigor) y fisiológicas (tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración y asimilación de CO₂), colonización radical y dependencia micorrízica se registraron a los 120 días. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0,05$). Los hongos micorrízicos mejoraron las características de la planta en comparación con el testigo sin micorrizar. *Glomus cubense* y *Rhizophagus intraradices* causaron los valores más altos de crecimiento, fisiología de la planta, colonización radical y dependencia micorrízica. Los resultados muestran un efecto positivo de la micorriza en el crecimiento y estatus fisiológicos de *S. mahagoni*.

Palabras clave: calidad de planta; micorriza arbuscular; variables morfofisiológicas; vivero.

ABSTRACT

Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the physiological status of tropical forest species; however, its effect on some tropical native crops such as *Swietenia mahagoni* L. Jacq has not been evaluated. The objective of this work was to evaluate the effect of three strains of arbuscular mycorrhizal fungi on the photosynthetic development and growth of *S. mahagoni* in the nursery. The seeds were sown in 200 cm³ tubes and three fungi strains were applied: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense*, *Rhizophagus intraradices* and a control. The morphological variables (dry weight, leaf area, root system, slenderness index, aerial part and root part ratio, Dickson quality index and vigor index) and physiological variables (photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration and CO₂

assimilation), colonization radical and mycorrhizal dependence were recorded at 120 days. The data were subjected to analysis of variance and comparison of means (Tukey, $P \leq 0,05$). The mycorrhizal fungi improved the characteristics of the plant compared to the non-mycorrhizal control. *Glomus cubense* and *Rhizophagus intraradices* caused the highest values of growth, plant physiology, root colonization and mycorrhizal dependence. The results show a positive effect of mycorrhiza on the growth and physiological parameters of *S. mahagoni*.

Key words: plant quality; arbuscular mycorrhiza; morphophysiological variables; nursery.

RESUMO

A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares melhora o estado fisiológico de espécies florestais tropicais; no entanto, o seu efeito em algumas culturas nativas tropicais, como *Swietenia mahagoni* L. Jacq, não foi avaliado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de três linhagens de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento fotossintético e crescimento de *S. mahagoni* em viveiro. As sementes foram semeadas em tubetes de 200 cm³ e foram aplicadas três linhagens de fungos: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense*, *Rhizophagus intraradices* e uma testemunha. As variáveis morfológicas (peso seco, área foliar, sistema radicular, índice de esbeltez, relação parte aérea e raiz, índice de qualidade de Dickson e índice de vigor) e fisiológicas (taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e assimilação de CO₂), colonização radical e micorrízica dependência foram registradas aos 120 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias (Tukey, $P \leq 0,05$). O fungo micorrízicos melhorou as características da planta em comparação ao controle não micorrízico. *Glomus cubense* e *Rhizophagus intraradices* causaram os maiores valores de crescimento, fisiologia vegetal, colonização radicular e dependência micorrízica. Os resultados mostram um efeito positivo das micorrizas no crescimento e estado fisiológicos de *S. mahagoni*.

Palavras-chave: Qualidade de planta; micorriza arbuscular; variáveis morfofisiológicas; viveiro.

INTRODUCCIÓN

Las áreas llanas del denominado valle de Guantánamo, Cuba, con una extensión de 1 277,10 km² (20,6 % del área de la provincia), se ven afectadas por la degradación de los suelos, contaminación, pérdida de la diversidad biológica, salinización, carencia y dificultades con el manejo y disponibilidad del agua y los impactos del cambio climático (Carbonell *et al.*, 2022), lo cual conlleva a considerarlo un territorio de alta fragilidad ante los fenómenos climatológicos que atentan contra la conservación y estabilidad de los suelos.

En estas áreas para tener éxito en el establecimiento de plantaciones, ya sea con motivos de reforestación o restauración, la probabilidad de supervivencia en campo aumenta al incorporar plantas de calidad (Escobar & Rodríguez, 2019). No obstante, una alternativa para obtener calidad y mayor crecimiento de las plántulas es el empleo de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), cuya inoculación es apropiada en condiciones de viveros (Falcón *et al.*, 2018), con el propósito de optimizar el progreso y nutrición de las plántulas (Piliarová *et al.*, 2019).

La inoculación con HMA en especies forestales tropicales favorece el crecimiento, la tolerancia frente a condiciones de estrés biótico y abiótico, y el vigor de las plantas (Oliveira Júnior *et al.*,

2019; Piliarová *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2016; Ortiz-Acevedo *et al.*, 2015). En Cuba, pocos trabajos se han orientado al estudio de la fisiología de plantas en simbiosis con HMA, ya que principalmente se han enfocado en validar la aplicación de estos endófitos por viveristas y silvicultores con el fin de generalizar su aplicación en la actividad forestal (Falcón *et al.*, 2023; Salgado *et al.*, 2019).

No obstante, la relación que se presenta en la fisiología de plantas micotróficas facultativas en simbiosis con hongos micorrizógenos se ha estudiado poco en especies autóctonas seleccionadas para el enriquecimiento de bosques secundarios como *Swietenia mahagoni* L. Jacq. (Álvarez, 2017), en comparación con estudios realizados en otras especies forestales tropicales como: *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Falcón *et al.*, 2015); *Tabebuia donnell-smithii* (Aguirre *et al.*, 2019), *Swietenia macrophylla* (Rajan *et al.*, 2020) y *Cedrela odorata* (Castillo-Aguilar *et al.*, 2021).

Tomando en consideración lo señalado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de tres cepas de HMA en el crecimiento y desarrollo fotosintético de *S. mahagoni*, información básica para el establecimiento y manejo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue conducido en el vivero forestal (20°12'21" LN y los 75°13'37" LO) de la Universidad de Guantánamo, Cuba. La región presenta una temperatura promedio de 26,27 °C, máxima absoluta de 32 °C y mínima media absoluta de 20 °C, mientras las precipitaciones promedio anual es de 851,1 mm, comportándose por encima de los 100 mm mensuales, solo en mayo, septiembre y octubre, mientras que el resto de los meses representan periodos secos, donde la evaporación potencial es mayor que las sumas de las precipitaciones (2 300 mm).

Para la realización de este experimento se utilizaron semillas de *S. mahagoni* con capacidad germinativa del 94 %, obtenidas de frutos maduros recolectados de la masa ubicada en el municipio Jamaica perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo (20°11'44" N y 75°08'38" O).

La siembra se realizó en contenedores plásticos con un volumen de 200 cm³. Se utilizó como sustrato la mezcla de cascarilla de cacao, fibra de coco y aserrín de *Pinus cubensis* en proporción 60:20:20, con un pH de 6,20, contenido de materia orgánica de 77,20 %, nitrógeno de 1,86 %, fósforo de 1,43 % y potasio de 1,79 % valores que se encuentran entre los intervalos óptimos sugeridos por (Falcón *et al.* 2021; Abad *et al.*, 2005).

El sustrato fue tamizados con una malla de 4 mm y esterilizados en autoclave

(tres ciclos de 15 min a 120 °C y 1 atm de presión) según Vieira *et al.* (2016), con el fin de eliminar la acción de microorganismos benéficos o perjudiciales, que pudieran alterar los resultados del experimento.

Las semillas se recubrieron según metodología propuesta por Fernández *et al.* (2001) con las cepas: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense* y *Rhizogloium intraradices*, con 30, 33 y 36 esporas g⁻¹ de inoculante respectivamente, procedentes del cepario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). El riego fue manual, inicialmente dos veces al día hasta los 50 días, posteriormente se disminuyó la frecuencia de riego a uno diario y finalmente cada dos días.

Los tratamientos quedaron conformados de las siguientes formas:

T1- Sustrato cascarilla de cacao/fibra de coco/aserrín (60:20:20)

T2- Sustrato cascarilla de cacao/fibra de coco/aserrín (60:20:20)+ *Glomus cubense*

T3- Sustrato cascarilla de cacao/fibra de coco/aserrín (60:20:20)+ *Rhizogloium intraradices*

T4- Sustrato cascarilla de cacao/fibra de coco/aserrín (60:20:20)+ *Funneliformis mosseae*

Por cada tratamiento se utilizaron cuatro repeticiones, con 30 plantas en cada una, para un total de 1 080 plantas en el experimento. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado para la distribución de los tratamientos.

A partir de los 30 días posteriores a la siembra y hasta los 120 días, se tomaron siete plantas al azar por tratamiento y cada 10 días se les realizaron las evaluaciones siguientes:

Superficie foliar total (cm²): se calculó a partir de la sumatoria del valor de superficie foliar correspondiente a todas las hojas de cada planta, mediante el medidor portátil de área foliar LI-3000A (Li-Cor®).

Masa seca total (g): se determinó la masa seca total a partir de la masa seca de los diferentes órganos (raíz, tallo y hojas). Las muestras se colocaron en estufa (BINDER) de circulación forzada de aire durante 72 horas, a una temperatura de 70 °C hasta masa constante. La determinación se realizó en una balanza Sartorius CPA324S con un margen de error de 0,1 mg.

En la última etapa de evaluación, correspondiente a los 120 días, a una muestra de 30 plantas por tratamientos, se evaluaron los atributos del sistema radical e índices morfológicos siguientes:

Longitud de la raíz principal (cm): la longitud de la raíz por planta se midió con una regla graduada en mm (Error \pm 1), desde el cuello hasta el ápice de la raíz.

Cantidad de raíces finas y gruesas (u): se realizó mediante conteo directo en las raíces.

Relación parte aérea y parte radical (PSA/PSR): se estimó el cociente entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz en gramos.

Índice de Esbeltez (H/Dcr): se calculó mediante el cociente de la altura en

centímetros entre el diámetro del tallo en el cuello de la raíz en milímetros.

Índice de calidad de Dickson (ICD): se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}} \quad [1]$$

Índice de vigor (IV): se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$IV = \text{Log} \sum \text{ todas las variables morfológicas} \quad [2]$$

Dependencia micorrízica: para su determinación se utilizó la masa seca total y se empleó la ecuación (3) propuesta por Plenchette *et al.* (1983), siendo:

$$DM = \frac{BSPM - BSPNM}{BSPM} * 100 \quad [3]$$

Dónde: DM: dependencia micorrízica;

BSPM: biomasa seca de plantas micorrizadas;

BSPNM: biomasa seca de plantas no micorrizadas.

Para la clasificación de la DM se consideró la clasificación propuesta por Moreira y Squeira (2006), la cual contempla: plantas excesivamente dependientes (DM > 75 %), altamente dependientes (50 – 75 %), moderadamente dependientes (25 – 50 %), marginalmente dependientes (< 25 %) e independientes (no responden a la micorrización).

Colonización micorrízica: se muestrearon las raíces de las plántulas micorrizadas, se lavaron con agua para eliminar todo el sustrato y se secaron al aire. Se tomaron las raicillas más finas y se separaron, aproximadamente 200 mg de estas fueron secadas a 70 °C, para ser

teñidas con tinta azul Parker Quink lavable en agua, según metodología propuesta por Rodríguez *et al.* (2015). La evaluación se realizó en microscopio estéreo (Carl Zeiss, Stemi 2000-C/50x). Las raíces fueron colocadas en portaobjetos para determinar el porcentaje de colonización micorrízica a través de la fórmula propuesta por McGonigle *et al.* (1990). Este análisis también fue realizado a los 12 meses de establecida la plantación.

Atributos fisiológicos: a los 60, 90 y 120 días después de la siembra se midió la fotosíntesis neta (A_n), transpiración (E), conductancia estomática (G_s) y concentración de CO_2 intercelular (C_i) cuando la tasa de asimilación de CO_2 fue estable (Fernández & Gyenge, 2010).

Se utilizó para ello, el medidor portátil de gases infrarrojo Q-Box CO650 CO_2

exchange measurement system (Qubit System Inc., Canadá).

Las mediciones se realizaron en cinco plántulas con similares características (buen estado fenotípico, incidencia de la luz, posición de las hojas). Las evaluaciones comenzaron a las 7:30 am y se mantuvieron constantes los parámetros de radiación fotosintéticamente activa ($1\ 200\ \mu\text{mol}\ \text{fotones}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$), temperatura ($29\ ^\circ\text{C}$) y concentración de CO_2 (400 ppm).

Análisis estadístico

Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación doble. Las medias se compararon mediante el Test de Tukey al 5 % de probabilidad de error mediante el procesador estadístico SPSS, versión 23 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la superficie foliar y la masa seca total

Al analizar el comportamiento de la superficie foliar y la masa seca total en condiciones de vivero (Figura 1A y B), se observó que las micorrizas favorecieron el crecimiento de las plantas de *S. mahagoni* desde los primeros momentos de medición. Los resultados indican una tendencia ascendente, mostrando hasta los 50 días un incremento no muy pronunciado, y a partir de esta fecha, el crecimiento fue de tendencia exponencial, para todos los tratamientos evaluados. Finalmente se observa una fase de estancamiento del

crecimiento, caracterizada por una velocidad decreciente del crecimiento (> 100 días).

Resultados similares obtuvieron Falcón *et al.* (2023) quienes encontraron el mismo patrón de crecimiento para la especie *S. mahagoni* con mayores incrementos a partir de los 50 días y para los 90 días comienzan a estabilizarse los incrementos, como consecuencia de la menor disponibilidad de nutrientes en el sustrato.

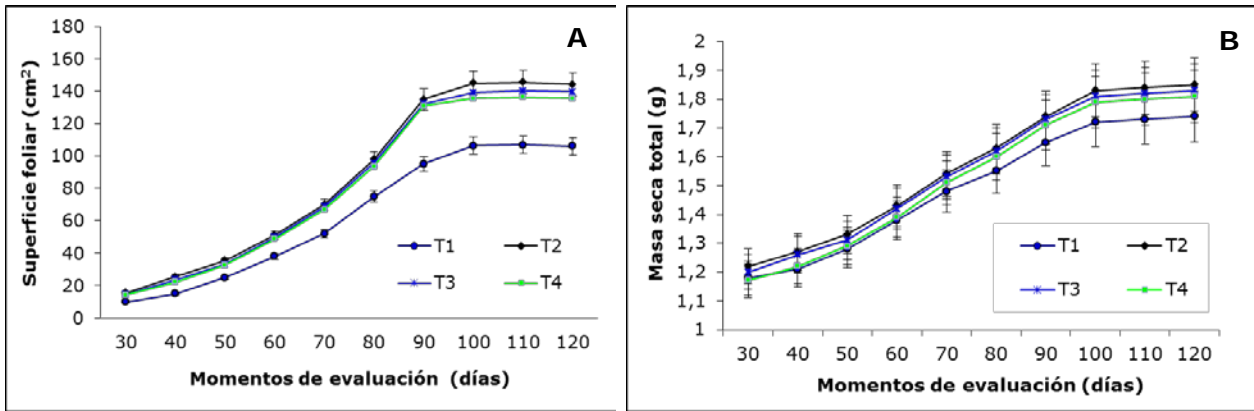


Figura 1. Dinámica de la superficie foliar (A) y la masa seca total (B) de *S. mahagoni* en diferentes tratamientos. Las barras en cada punto significan el intervalo de confianza para las medias ($\alpha=0,05$). Fuente: Elaboración propia.

Atributos relacionados con sistema radical

Los atributos del sistema radical evaluados a los 120 días en vivero se observan en la Tabla 1, donde las plantas inoculadas con las distintas cepas micorrízicas se ven más beneficiadas, lo que corrobora que la micorriza favorece la emisión de raíces, en correspondencia con valores altos de porosidad y buena aireación de este sustrato, que beneficia el crecimiento de raíces y, por ende, el desarrollo de la parte aérea de la planta.

Resultados similares alcanzaron Aguirre *et al.* (2019) quienes encontraron que el empleo de hongos endomicorrízicos propició mayor desarrollo radical en la especie *Tabebuia donnell-smithii* Rose, lo que favorece el transporte de fotosintatos a la parte aérea para la producción de biomasa, y con ello cambios en la fisiología de la planta hospedera.

Tabla 1. Valores promedios de los atributos del sistema radical y fúngicos. Fuente: Elaboración propia.

Tratamientos	Largo de la raíz principal (cm)	Cantidad de raíces		Colonización micorrízica (%)	Dependencia micorrízica (%)
		Primarias	Secundarias		
T1 (Testigo)	17,62 ^c	24,20 ^c	70,00 ^c	-	-
T2 (G. cubense)	19,29 ^a	30,80 ^{ab}	89,90 ^a	48,25	29,41
T3 (R. intraradices)	19,17 ^a	32,50 ^a	88,70 ^{ab}	46,31	27,22
T4 (F. mosseae)	18,07 ^b	29,20 ^b	87,90 ^b	40,75	26,79
Error estandar	0,017	0,348	1,174	0,526	0,018

Leyenda: Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

La mayor cantidad de raíces secundarias obtenida en los tratamientos micorrizados, pudiera estar dada por las características físicas del sustrato, en el cual se generó un número mayor de raíces secundarias, capaces de colonizar más rápido el cepellón. Al respecto, Cobas *et al.* (2020) afirman que la abundante emisión de raíces secundarias demuestra alta calidad y garantiza un rápido crecimiento de las plantas después de la plantación; además hacen referencia también, que el número de raíces secundarias de primer orden han mostrado correlación para mejorar el desempeño de las plantas en el campo.

El mayor crecimiento radical de plantas de *S. mahagoni* obtenidas con diferentes hongos micorrízicos ya ha sido reportado previamente (Falcón *et al.*, 2021 & Salgado *et al.*, 2019), estos autores expresan que el efecto en el crecimiento pudiera estar relacionado con la composición de los sustratos y a la especificidad cepa-cultivo.

Con respecto a la colonización micorrízica (Tabla 1), los mayores porcentajes se obtuvieron con las cepas *G. cubense* y *R. intraradices*; esto permite afirmar que hay cierto grado de dependencia entre la planta y el hongo micorrízico, elemento de gran importancia, al coincidir con Castillo-Aguilar *et al.* (2021), quienes señalan que en la simbiosis micorrízica, el hongo permite el incremento en la adquisición de nutrientes, principalmente de aquellos de escasa

movilidad en el suelo, como el fósforo, al mismo tiempo que la planta proporciona compuestos carbonados para el crecimiento del hongo.

En estudios reportados en Falcón *et al.* (2015), se observó que las plantas de *S. mahagoni* fueron colonizadas por *Glomus hoi like*, además, dejaron claro que tanto la cepas *G. cubense* como *R. intraradices*, colonizaron las raíces de *S. mahagoni*, destacándose la cepa *G. cubense*.

En relación a la dependencia micorrízica (Tabla 1), los tratamientos T2 y T3 presentaron la mayor tasa de dependencia micorrízica con 29,41 y 27,22 %, respectivamente. Estos resultados indican que las plántulas de *S. mahagoni* inoculadas con la cepa *G. cubense* presentaron mayor grado de dependencia micorrízica y a su vez, mayor efecto de la inoculación con HMA, similar a lo que alcanzó Hentz de Mello *et al.* (2017), quienes señalan que la dependencia micorrízica ejerce efecto positivo en la simbiosis hongo-planta, además que cuanto mayor es el grado de dependencia de ella, mayor es su efecto.

A partir de estos resultados y conforme a lo citado en Moreira y Siqueira (2006), las plántulas de *S. mahagoni* se clasifican como moderadamente dependientes, pues la capacidad micotrófica observada se encuentra en el intervalo de 25 a 50 %. Resultados similares fueron citados en Herrera *et al.* (1998), quienes reportaron dependencia micorrízica para esta especie, entre 40 y 60 %.

Relaciones e índices morfológicos

Al analizar los valores obtenidos en las relaciones e índices morfológicos (Tabla 2), se puede observar que es en los

tratamientos micorrizados, donde las plantas manifiestan los mejores resultados, con diferencias significativas con respecto al tratamiento no micorrizado (T1).

Tabla 2. Valores promedios de las relaciones e índices morfológicos. **Fuente:** Elaboración propia.

Tratamientos	Esbeltez	Relación PSA/PSR	Índice de Dickson	Índice de vigor
T1 (Testigo)	4,88 ^a	1,50 ^a	0,15 ^d	2,20 ^c
T2 (<i>G. cubense</i>)	4,21 ^b	1,44 ^b	0,19 ^a	2,25 ^{ab}
T3 (<i>R. intraradices</i>)	3,86 ^d	1,31 ^d	0,18 ^b	2,27 ^a
T4 (<i>F. mosseae</i>)	3,90 ^c	1,35 ^c	0,17 ^c	2,23 ^b
Error estandar	0,025	0,012	0,002	0,003

Leyenda: Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

En relación con la esbeltez (A/Dcr), se observó que las plantas que mejores se comportaron fueron las cultivadas en los tratamientos micorrizados T2, T3 y T4, debido a que tuvieron un menor valor, el cual permite una mayor resistencia a las condiciones adversas. Estos resultados coinciden con Cobas *et al.* (2020), quienes señalan que se logra una mejora en la calidad de la planta a través de una disminución de la misma, también manifiestan que se ha demostrado que las plantas con menor medida en la relación altura/diámetro del tallo pueden mantener un mejor estado hídrico con un consumo más moderado de agua en situaciones de deficiencia hídrica.

El crecimiento fue también favorecido, en biomasa aérea y radical, lo que se refleja en la relación peso seco aéreo/peso seco radical (PSA/PSR), con los mejores valores, o sea, las menores medias en los tratamientos micorrizados, lo que le permite

a estas plántulas una mayor resistencia a las condiciones edafoclimáticas en función del establecimiento de las plantas en campo.

Según Escobar y Rodríguez (2019), a menor valor de PSA/PSR, se ve favorecida la capacidad de absorción de agua, lo cual es una condición favorable para la plantación en sitios marginales, además aseveran que existirá más vigor en la planta y que en sitios con escasa precipitación, el cociente no debe superar el valor de 2,0. Falcón *et al.* (2021) coincide con el criterio anterior y además plantean que a menor valor de esta relación mayor será la productividad de las especies en áreas con bajas precipitaciones.

En cuanto al Índice de calidad de Dickson (ICD), se observó diferencias significativas en todos los tratamientos, con mayor media en los tratamientos T2 y T3; ello indicó alta calidad, lo que permite que las plántulas de estos tratamientos se

adaptan mejor a las condiciones edafoclimáticas del área de estudio. Un aumento en el valor del índice de Dickson se asocia con una calidad de planta superior, al coincidir con Falcón *et al.* (2023), que obtuvieron en plántulas de *S. mahagoni* un mejor equilibrio entre las biomásas aérea y radical en condiciones de vivero, donde aplicaron diferentes sustratos orgánicos y micorriza arbuscular. También se corresponden estos resultados con Oliveira Junior *et al.*, (2019), que obtuvieron en plántulas de *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. un mejor equilibrio entre las biomásas aérea y radical en condiciones de vivero, donde aplicaron diferentes sustratos orgánicos y micorriza arbuscular.

Con relación al índice de vigor (IV), las mayores medias se mostraron en los tratamientos micorrizados, difiriendo estadísticamente con el tratamiento no micorrizado, lo cual se debe a que hubo un mejor comportamiento de todos los atributos morfológicos con la utilización de las cepas micorrízicas. Estos resultados están acordes con Salgado *et al.* (2019), quienes señalan que valores altos de este índice favorece el desarrollo de las plantas y predice el potencial de supervivencia de las plántulas en el campo.

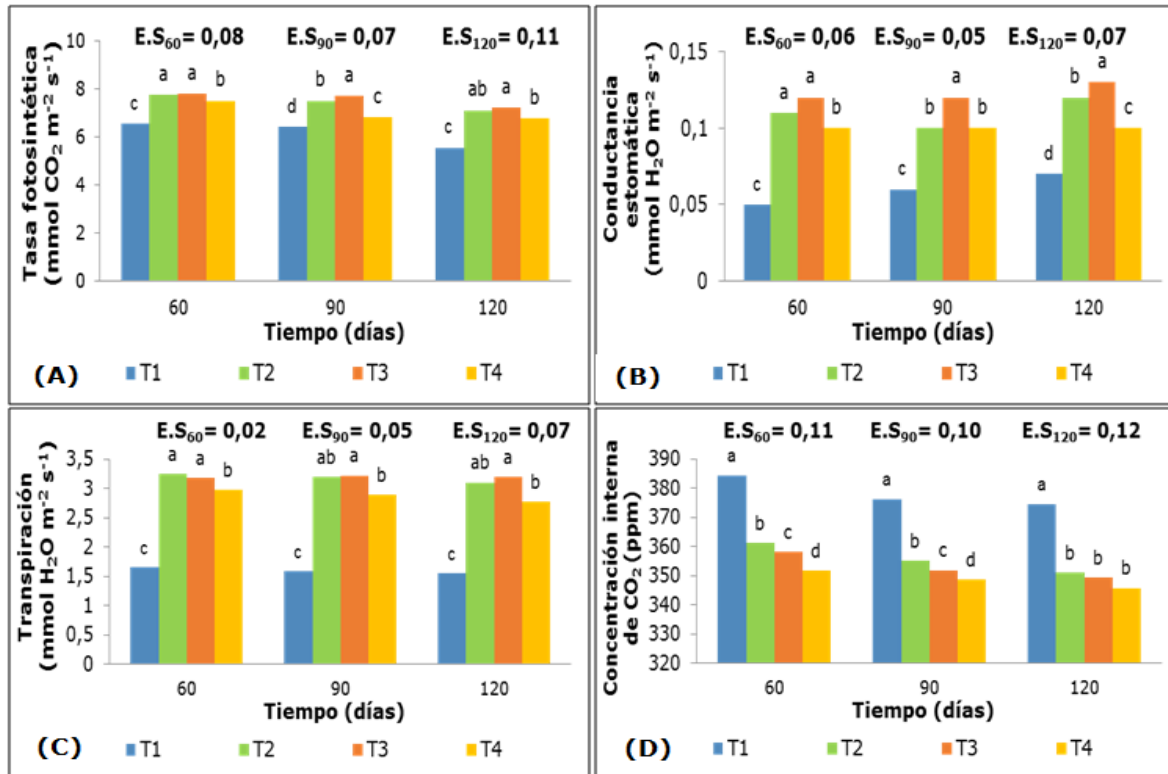
Los resultados obtenidos coinciden con Oliveira Junior *et al.* (2019), quienes destacan que la biofertilización con hongos micorrízicos, constituye una alternativa

para promover mayor crecimiento y desarrollo en especies forestales, además la combinación de HMA y sustratos orgánicos influyen en la calidad de diferentes plántulas forestales como *Tabebuia donnell-smithii* (Aguirre *et al.*, 2019) y *Cedrela odorata* (Castillo-Aguilar *et al.*, 2021).

Atributos fisiológicos

En relación a la fotosíntesis, la conductancia estomática y transpiración, estas fueron significativamente mayores en los tratamientos micorrizados (Figura 2A, B y C). Por el contrario, en la concentración interna de CO₂ las plantas no micorrizadas superaron a los tratamientos inoculados (Figura 2D). En las plantas inoculadas la concentración fue menor debido a que presentaron mayor actividad fotosintética, lo que supone un mayor consumo de CO₂, criterio que coincide con Falcón *et al.* (2023), quienes plantean que una tasa de asimilación elevada junto con una baja concentración del carbono intercelular indica que las plantas inoculadas mantienen un mecanismo fotosintético saludable y más eficiente que las plantas no micorrizadas.

Estos resultados se corresponden con los reportados por Rajan *et al.* (2020) quienes determinaron que la inoculación de las raíces con HMA le permite a las plantas aumentar la superficie del sistema radical y de esta manera mantener la tasa de absorción de nutrientes, por consiguiente, se incrementa la actividad fotosintética.



Figuras 2. Parámetros fisiológicos evaluados en *S. mahagoni* en diferentes tiempos. A) Tasa fotosintética; B) Conductancia estomática; C) Transpiración y D) Concentración interna de CO₂. **Leyenda:** Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$). E.S.: Error estándar.

El incremento obtenido en la tasa fotosintética de las plántulas inoculadas, se debe fundamentalmente a la micorrización la cual estimula el crecimiento vegetal, aumentando considerablemente la producción de biomasa radical y aérea, por ende aumenta la capacidad fotosintética de la planta (Ricárdez *et al.*, 2020), garantizándose por tanto condiciones favorables para el desarrollo de las plantas, aspectos que han sido señalados por otros autores a partir de investigaciones realizadas en *Ochroma pyramidale* (Belezaca *et al.*, 2020).

De igual manera, Ortiz-Acevedo *et al.* (2015) demostraron que los HMA son capaces de modificar el intercambio gaseoso e inducir mayor tasa fotosintética en sus hospederos, haciendo más eficiente el uso de agua y la actividad de la enzima rubisco para captar CO₂. Otros autores como, Piliarová *et al.* (2019) explican que los HMA permiten a la planta sintetizar compuestos de carbono altamente energéticos que influyen no sólo en el crecimiento de las plantas, sino también en satisfacer los requerimientos de los hongos.

En cuanto a la conductancia estomática, Rajan *et al.* (2020) mencionan que por lo general en las plantas de orden superior asociados con HMA, debido a un flujo inferior de Ácido Abscísico (ABA) en la savia del xilema provoca una reducción del flujo de ABA a las hojas de las plantas.

También mencionaron que la reestructuración de la raíz en el suelo por el micelio radical extra del HMA, permite que las plantas tengan mayor acceso a agua disponible. Se ha informado también de que las diferentes especies de HMA modulan diferencialmente la respuesta fisiológica de las plantas hospedantes especialmente bajo condiciones de estrés.

Belezaca *et al.* (2020) por su parte, observó que bajo el estrés de las plantas asociadas a especies con HMA tienen o mantienen una mayor capacidad de intercambio de gases (tasa de fotosíntesis,

conductancia estomática y la tasa de transpiración) en comparación con las plantas sin HMA. Este aumento en el intercambio de gases también puede ser debido a una mayor apertura y la disminución de los estomas, así como el aumento del flujo de transpiración (Ortiz-Acevedo *et al.*, 2015).

Por otra parte, Rajan *et al.* (2020) refieren que el beneficio de los HMA en la fotosíntesis se relaciona con el aumento del contenido de clorofila en hojas y la actividad de rubisco, obtenida en plantas de *Swietenia macrophylla* en vivero, ya que presenta mayor demanda de fotoasimilados, además exponen que los hongos micorrízicos no solo incrementaron la tasa fotosintética, sino que también originaron una mayor transpiración y conductancia estomática.

CONCLUSIONES

La inoculación con las cepas micorrízicas *G. cubense* y *R. intraradices*, promovieron el crecimiento y la calidad fisiológica de plántulas de *Swietenia mahagoni*.

Los HMA demuestran ser una alternativa viable de implementar en la producción de plantas forestales como *S. mahagoni*, una de las especies autóctonas utilizadas en los programas de reforestación en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, M., Fornes, F., Garrión, C. & Noguera, V. (2005). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *Horticultural Science*, 40(7), 2138-2144.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.7.2138>

Aguirre, J.F., Yeekón, L. & Espinosa, S. (2019). Influencia de hongos

endomicorrízicos en el crecimiento de (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 11-21. <https://dx.doi.org/10.19136/era.a6n16.1538>

Álvarez, P. A. (2017). *Métodos Silvícolas*. Editorial Universitaria Félix Varela, La Habana, Cuba. 269 p.

- Carbonell, T., Blanco, A., Herrera, J., Chaterlán, Y., Herrera, L.M., Cintra, M., Ricardo, M.P. & Márquez, J.A. (2022). Influencia del riego en cultivos sobre el manto freático de un suelo aluvial de Guantánamo. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(1), 14-21.
<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1515>
- Castillo-Aguilar, C.C., Ferrera-Cerrato, R., Chiquini-Medina, R.A., Chable-Chan, C.O. & Dzib-Castillo, B.B. (2021). Vermicompost and Mycorrhizae Use on *Cedrela odorata* L. Growth in Nursery Conditions. *Revista Agroproductividad*, 14(3), 43-48.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v14i3.1820>
- Cobas, M., Sotolongo, R. & Almora, Y. (2020). Comportamiento de los parámetros morfológicos de calidad de la planta de *Lysiloma sabicú* Benth. en vivero sobre sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 550-561.
- Escobar, S. & Rodríguez, D.A. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55), 4-38.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.5588>
- Falcón E., Rodríguez, O. & Rodríguez, Y. (2015). Aplicación combinada de micorriza y Fitomas-E en plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Majagua). *Revista Cultivos Tropicales*, 36(4), 35-42.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000400005&script=sci_arttext&tlng=pt
- Falcón, E., Cobas, M., Bonilla, M., Rodríguez, O., Romero, C., & Rodríguez, E. (2021). Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular. *Revista de Ciencias Ambientales* 55(2), 311-225.
<https://doi.org/10.15359/rca.55-2.15>
- Falcón, E., Cobas, M., Bonilla, M., & Rodríguez, O. (2023). Crecimiento y desarrollo fotosintético de *Swietenia mahagoni* en sustratos inoculados con micorrizas arbusculares. *Revista BOSQUE* 44(2), 329-338.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000200329>
- Fernández, F., Gómez, R., Vanegas, L., Noval, B.M. & Martínez, M.A. (2001). *Producto inoculante micorrizógeno*. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente, 22641.
- Fernández, M.E., & Gyenge, J.E. (2010). *Técnicas en medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos*. Buenos Aires: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).. 140 p.
- Hentz de Mello, A., Ferreira do Nascimento, S., & Ferreira de Oliveira, G. (2017). Avaliação do desenvolvimento e

- dependência micorrízica do jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Enciclopédia Biosfera*, 14(25), 244-257.
<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2017a/agrar.htm>
- Herrera, R.A, Valdés, A.R., Torres, Y., Furrázola, E., & Ferrer, R.L. (1998). Estudio de la dinámica de dependencia de micorrizas Vesícula Arbuscular para el reconocimiento de estrategias parasitas y mutualistas de plántulas de árboles neotropicales. En: Fundación Internacional para la Ciencia (IFS) Recent Advances in Biotechnology for Tree Conservation and Management, Actas del Taller IFS, Florianópolis, Brasil, pp. 7-21.
- Moreira, F.M., & Squeira, J.O. (2006). *Micobiologia e bioquímica do solo*. Editora UFLA. Brasil.
- Oliveira Júnior, J.Q., Rodrigues Da Silva, A.C., Moreira Da Silveira, P.V., Conceição E.J., & Pereira, M.G. (2019). Effect of mycorrhizal inoculation and substrate composition on seedling growth of two Atlantic Forest Tree Species. *Floresta*, 49(4), 623-632.
<https://doi.org/10.5380/rf.v49i4.54525>
- Ortiz-Acevedo, A., Osorio-Vega, N.W., Echeverri-Gómez, J., González-Murillo, O.A. & Medina-Sierra, M. (2015). Fisiología de los hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Livestock Research for Rural Development*, 27(9), 27-50.
<http://www.lrrd.org/lrrd27/9/orti27188.html>
- Piliarová, M., Ondreièková, K., Hudcovicová, M., Mihálik, D. & Kraic, J. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi their life and function in ecosystem. *Agriculture (Polnohospodárstvo), Research Institute of Plant Production, Slovakia*, 65(1), 315.
<https://doi.org/10.2478/agri-2019-0001>
- Rajan, L.J., Santhoshkumar, A.V., Surendra, K. & Kunhamu, T.K. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation as a Climate Adaptation Strategy for Establishment of *Swietenia macrophylla* King. seedlings. *Forests*, 11(488), 2-15.
<https://doi.org/10.3390/f110504888>
- Ricárdez, J.D., Gómez, R., Álvarez J.D., Pat, J.M., Jarquín, A. & Ramos, R. (2020). Vermicomposta y micorriza arbuscular, su efecto en la nutrición del cacao en fase de invernadero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3), 1-12.
<https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2282>
- Rodríguez, Y.Y., Arias, P.L., Medina, C.A., Mujica, P.Y., Medina, G.L.R., Fernández, S.K. & Mena, E.A. (2015). Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrícica. *Revista Cultivos Tropicales*, 36(2), 18-21.

Salgado, E.J., Rodríguez, Y. & Falcón, E. (2019). Efecto de tres cepas de micorrizas en los parámetros morfológicos de *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq en vivero permanente, Guantánamo, Cuba. *Foresta Veracruzana* 21(2), 11-16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49762539007>

Vieira, K.G., Freire, V.F., Mascena de Almeida, A.M. & Mendes Filho, P.F. (2016). Micorrizas arbusculares no crescimento de mudas de sabiá em um substrato proveniente da mineração de manganês. *Revista Verde*, 11(2), 15-20. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i2.4088>

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Falcón Oconor, E.: conceptualización de la investigación, metodología, revisión bibliográfica, trabajo de campo, análisis estadístico, redacción de manuscrito, ajustes.

Rodríguez Matos, Y.: participó en la conceptualización de la investigación, metodología, trabajo de campo, análisis estadístico.

Rodríguez Leyva, O.: metodología, revisión bibliográfica, tablas y figuras, revisión general.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this article.

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license