

Revista Cubana de Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 10, número 1; 2022

Supervivencia de *Swietenia mahagoni* en el corredor xerofítico del valle de Guantánamo

Survival of *Swietenia mahagoni* in the xerophytic corridor of the Guantánamo valley

Sobrevivência de *Swietenia mahagoni* no corredor xerofítico do vale de Guantánamo

Emir Falcón Oconor^{1*}  <https://orcid.org/0000-0001-8833-4942>

Milagros Cobas López²  <https://orcid.org/0000-0002-3785-5235>

Marta Bonilla Vichot²  <https://orcid.org/0000-0002-6605-5296>

Orfelina Rodríguez Leyva¹  <https://orcid.org/0000-0002-1575-1515>

¹Universidad de Guantánamo. Guantánamo, Cuba.

²Universidad de Pinar del Río "Hermandos Saíz Montes de Oca". Pinar del Río, Cuba.

*Autor para la correspondencia: emir@cug.co.cu

Recibido: 18/2/2022.

Aprobado: 01/04/2022.

RESUMEN

Se evaluó la supervivencia de *Swietenia mahagoni* obtenidas en vivero con la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y diferentes sustratos orgánicos. Se utilizaron plantas producidas en dos niveles de sustratos: cascarilla de cacao, fibra de coco y aserrín de pino compostado en proporciones 6:2:2 y 2:6:2, y cuatro niveles de



cepas micorrízicas: *Glomus cubense*, *Rhizoglosum irregulare*, *Funneliformis mosseae* y sin micorrizar, para un total de ocho tratamientos. Las plantas en el campo se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento; el marco de plantación utilizado fue de 2 x 2 m. La plantación se realizó a los 30 días y la sobrevivencia se evaluó mensualmente hasta los 12 meses. Durante este tiempo se registraron las variables morfológicas: altura y diámetro, y se calculó la relación altura/diámetro y la tasa de crecimiento relativo. El análisis de la supervivencia se realizó por el estimador de Kaplan-Meier y se realizó una regresión de riesgos proporcionales para determinar el riesgo de mortalidad en función de las variables morfológicas. A 12 meses de plantadas, se obtuvo una supervivencia promedio de 86,30 %, con mayores porcentajes para las plantas inoculadas con las cepas *Glomus cubense* y *Rhizoglosum irregulare* en el sustrato compuesto por 20 % de cascarilla de cacao + 60 % de fibra de coco + 20 % de aserrín. El diámetro fue la variable morfológica que más se relacionó con el riesgo de mortalidad en los sitios de plantación.

Palabras clave: Plantación forestal; Reforestación; Sustrato; *Micorriza arbuscular*.

ABSTRACT

The survival of *Swietenia mahagoni* obtained in nursery with the application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and different organic substrates was evaluated. Plants produced on two levels of substrates: cocoa husk, coconut fiber and composted pine sawdust in 6:2:2 and 2:6:2 ratios, and four levels of mycorrhizal strains: *Glomus cubense*, *Rhizoglosum irregulare*, *Funneliformis mosseae* and non-mycorrhizal, were used for a total of eight treatments. Plants in the field were distributed under a randomized block experimental design, with four replications per treatment; the planting frame used was 2 x 2 m. The plantation was done after 30 days and the survival was assessed monthly until 12 months. During this time, the morphological variables: height and diameter were registered, and the height to diameter ratio and the relative growth rate were calculated. Survival analysis was performed using the Kaplan-Meier estimator and proportional hazards regression was performed to determine the risk of mortality as a function of morphological variables. At 12 months after planting, an average survival rate of 86.30 % was obtained, with higher percentage for plants inoculated with *Glomus cubense* and *Rhizoglosum irregulare* strains in the substrate composed of 20 % cocoa husk + 60 % coconut fiber + 20 % sawdust. Diameter was the morphological variable most related to the risk of mortality in the planting sites.

Keywords: Forest plantation; Reforestation; Substrate; *Arbuscular mycorrhiza*.

RESUMO

Evaluo-se a sobrevivência de *Swietenia mahagoni* obtidas em viveiro com a aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e diferentes substratos orgânicos. Utilizaram-se mudas produzidas em dois níveis dos substratos: casca de cacau, fibra de coco e casca de pinus em proporção 6:2:2 e 2:6:2, e quatro níveis de inóculo micorrízicos: *Glomus cubense*, *Rhizoglosum irregulare*, *Funneliformis mosseae* y sim micorrizar, para um total de oito tratamentos. A planta no campo foi distribuída ao acaso debaixo de um designio experimental de blocos, com quatro repetições por tratamento; o quadro de plantio utilizado foi de 2 x 2 m. Depois de 30 dias da implantação do experimento no campo,



cada mes evaluó-se a sobrevivência hasta os 12 meses. Ao mesmo tempo, se registraram a variável altura das plantas e diâmetro do colo, com as quais calculo-se o cociente entre a altura e diâmetro e a Tasa Relativa do Crecimento. O análiees da brevivência foi por o método Kaplan-Meier e realizo-se uma regreção do risco proporcionais para determinar o riesco da mortalidade. A 12 meses de plantadas, obtuvo-se uma sobrevivência promedio de 86,30 %, com mior representatividade para as plantas inoculadas com os inóculos *Glomus cubense* e *Rhizogloinus irregulare* no substrato contituído por 20 % de casac de cacau + 60 % de fibra de coco + 20 % casca de pinus. O diâmetro foi a variável morfológica que mais se relaciono com o risco da mortalidade nos sitios de plantação.

Palavras-chave: Plantação florestal; Reforestação; Substrato; *Micorriza arbuscular*.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el uso de sustratos orgánicos y HMA constituyen alternativas factibles para la nutrición de las plantas (Valkinir *et al.*, 2017; Brundrett y Tedersoo, 2018; Valenzuela, 2019), fundamentalmente en ambientes áridos y semiáridos, ya que ayudan a los organismos a superar las condiciones de estrés ambiental (Martínez-García, 2011).

Estas alternativas pueden ser aplicadas en zonas donde los trabajos de reforestación deben ser más intencionados debido a la características edafoclimáticas de la misma, como es el caso de las Fincas Forestales Integrales de la localidad de Paraguay, localizada en la zona semiárida del Valle de Guantánamo con condiciones de sequías prolongadas, altas temperaturas, alta salinidad y baja fertilidad, factores que pueden llegar a ser limitantes en el crecimiento y supervivencia de las plantaciones forestales existentes (Villamet, 2018; O'Farrill *et al.*, 2018).

Los programas de reforestación llevados a cabo en estas fincas han permitido recuperar la capa vegetal y mejorar los suelos, así como el establecimiento de 40,6 hectáreas de nuevas plantaciones (Villamet, 2018). No obstante, existen espacios vacíos o ventanas de luz dentro de las plantaciones que pueden ser corregidos mediante la técnica de enriquecimiento en función de aumentar la biodiversidad (Álvarez, 2017).

Swietenia mahagoni L. Jacq. es una de las especies seleccionadas para el enriquecimiento irregular, teniendo en cuenta que ostenta características tales como: autóctona, heliófila facultativa, estabilizadora, colonizadora de diferentes etapas sucesionales, tolerante a la competencia y a pH relativamente alto, así como reconocida dependencia micorrízica (Abd El-Kader *et al.*, 2016 y Ricardo *et al.*, 2016).

Tomando en consideración lo señalado anteriormente el presente estudio tuvo el objetivo de evaluar la supervivencia y crecimiento de *Swietenia mahagoni* obtenidas in vitro con la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y diferentes sustratos orgánicos, en el corredor xerofítico del sur de la provincia de Guantánamo.



MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

El trabajo se realizó en áreas de la Finca Forestal Integral "La Acacia", perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo, localizada en las coordenadas geográficas 20°06'05,86'' de latitud Norte y los 75°08'52,20'' de longitud Oeste a 23 msnm. El sitio se localiza en medio de un bosque de transición de zonas semiáridas a bosque de clima templado. La vegetación predominante está compuesta por *Casuarina equisetifolia* Forst. y *Caesalpineia violaceae* Mill. (Standl.), y en mayor cantidad *Lysiloma latisiliqua* (L.) Benth y *Leucaena leucocephalla* L. El área específica se caracteriza por ser un espacio abierto, libre de vegetación y con uso previo de pastoreo de ganado bovino. El terreno tiene exposición cenital.

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 (INSMET, 2021).

De forma general, se caracteriza por un clima muy seco, predominando altas temperaturas y bajas precipitaciones. El suelo es Aluvial (Fluvisol- agrogénico-carbonatado) de acuerdo a la metodología de Hernández et al., (2015), con 7,3 de pH promedio, bajo contenido de materia orgánica (2,2 %) y contenido de fósforo asimilable (2,0 mg 100 g⁻¹).

Producción de planta

El material vegetal se produjo en un vivero ubicado en el Centro de Estudio de Tecnologías Agropecuarias y Forestales (CETAF), localizado a 6 km de la ciudad de Guantánamo (20°12'21'' LN y los 75°13'37'' LO), a 87 m de altitud (INSMET, 2021).

Las semillas de *Swietenia mahagoni* fueron obtenidas de frutos maduros de una masa semillera perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo. Las plántulas fueron producidas en tubetes de plástico de 200 cm³ con sustratos compuestos por cascarilla de cacao, fibra de coco y aserrín de *Pinus cubensis* descompuestos en proporción 6:2:2 y 2:6:2, los cuales fueron inoculados con las cepas: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense* y *Rhizoglosum intraradices*, con 30, 33 y 36 esporas g⁻¹ de inoculante respectivamente, procedentes del cepario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). En todos los sustratos inoculados, las plántulas presentaron porcentajes de micorrización entre 40,75 y 52,45 % (Falcón et al., 2021).

Preparación del terreno y establecimiento de la plantación

La preparación del sitio fue manual mediante desbroce con machete eliminando los árboles enfermos, mal formados, arbustos y maleza, como parte de las intervenciones silviculturales, de acuerdo a las necesidades de la plantación (Álvarez y Varona, 2006). En el primer mes posterior al trasplante, fueron efectuados riegos semanales, aproximadamente con 1 L de agua por planta, utilizando una regadera. La reinoculación se realizó en el momento del trasplante con las cepas: *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense* y *Rhizoglosum intraradices*, con 30, 33 y 36 esporas g⁻¹ de inoculante



respectivamente, a razón de 10 g por planta localizado debajo de las raíces y en contacto directo con estas.

En el área de estudio, se identificaron tres claros naturales de diferentes dimensiones (325, 328 y 346 m²), el tamaño se estimó como el área de una elipse; los ejes principales se midieron de norte a sur y de este a oeste con cinta métrica. El experimento de enriquecimiento se realizó a través de un diseño bloques al azar, con tres réplicas, a un espaciamiento de 2 x 2 m, donde se utilizaron 30 plantas por tratamiento para un total de 270 individuos, con arreglo bifactorial (2x4). Los factores estuvieron constituidos por dos niveles de sustratos (cascarilla de cacao, fibra de coco y aserrín de pino en proporciones 6:2:2 y 2:6:2) y cuatro niveles de cepas micorrízicas (*Glomus cubense*, *Rhizoglomus irregulare*, *Funneliformis mosseae* y sin micorrizar), para un total de ocho tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. - Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Cepas de HMA	Sustrato	Composición del sustrato (%)
T1	-	S1	60Cc + 20Fc + 20As
T2	-	S2	20Cc + 60Fc + 20As
T3	<i>Glomus cubense</i>	S1	60Cc + 20Fc + 20As
T4	<i>Glomus cubense</i>	S2	20Cc + 60Fc + 20As
T5	<i>Rhizoglomus irregulare</i>	S1	60Cc + 20Fc + 20As
T6	<i>Rhizoglomus irregulare</i>	S2	20Cc + 60Fc + 20As
T7	<i>Funneliformis mosseae</i>	S1	60Cc + 20Fc + 20As
T8	<i>Funneliformis mosseae</i>	S2	20Cc + 60Fc + 20As

Cc: cascarilla de cacao; Fc: fibra de coco; As: aserrín; HMA: hongos micorrízicos arbusculares.

Se plantaron en campo 270 plantas de cada tratamiento, después del último muestreo en vivero (120 días), para ser evaluadas en un lapso de 12 meses, de acuerdo a las características edafoclimáticas de la región. La plantación con la especie *S. mahagoni* se realizó mediante el enriquecimiento irregular (Álvarez, 2017); tratamiento silvícola que se efectúa anualmente en las Fincas Forestales Integrales, según Plan de Desarrollo de la Empresa Agroforestal Guantánamo hasta el 2030 (MINAG, 2021).

Variables evaluadas

Al momento de plantar, se midieron variables morfológicas iniciales para incluirlas como covariables y analizar su efecto en la supervivencia de cada tratamiento, las variables consideradas fueron: altura de la planta (cm), diámetro del cuello de la raíz (mm) y la Esbeltez (H/D). Después de plantar, cada mes se evaluó la supervivencia hasta los 12 meses. En cada medición se asignaron valores de 0 o 1 para las plantas muertas y vivas, respectivamente. El crecimiento en altura (medida de la base del tallo al ápice principal) y diámetro (medido en la base del tallo), se analizó como tasa relativa de crecimiento (TRC) con la siguiente relación, citada por Cregg, (1994) (Ecuación 1).



$$TRC = \frac{\ln(X_2) - \ln(X_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Dónde: TRC = Tasa Relativa de Crecimiento en diámetro (mm mm^{-1}) o altura (cm cm^{-1}) en 12 meses; X_2 = valor de la variable respuesta al final del periodo de evaluación y X_1 = valor inicial de la variable, al momento de establecer la plantación; t_1 = fecha de plantación y t_2 = fecha de evaluación final, la diferencia fue en meses.

Análisis estadístico

Para las variables de crecimiento (altura, diámetro y tasa relativa de crecimiento), se realizaron análisis de varianza; cuando existieron diferencias estadísticas significativas, se aplicó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$), ya que los datos se ajustaron a una distribución normal.

Las diferencias de supervivencia entre los tratamientos se evaluaron por la prueba no paramétrica Log-Rank, a partir de curvas de supervivencia construidas por el estimador Kaplan-Meier (Kaplan y Meier, 1958); para esto la función de supervivencia se define como (Ecuación 2).

$$S(t) = P(T \geq t) \quad (2)$$

Dónde: $S(t)$ es la probabilidad de que una muerte ocurra en un T tiempo al menos, tan grande como el tiempo t . Para este análisis se considera el estatus de cada planta (viva o muerta) al final del periodo de evaluación, así como el tiempo de vida de la misma.

Un segundo análisis fue una regresión de riesgos proporcionales de Cox, la cual permitió estimar el efecto de la micorrización considerando las variables morfológicas (covariables), mismas que cambian con el tiempo. En un modelo de riesgos proporcionales, el riesgo de un individuo i a un tiempo t , o bien $h_i(t)$, es el producto la función de riesgo (h_0) de referencia no especificada y una función exponencial de k covariables (Ecuación 3).

$$h_i(t) = h_0(t)e^{(\beta_1 t_{i1} + \dots + \beta_k t_{ik})} \quad (3)$$

El modelo no paramétrico de Cox estima un coeficiente β para cada factor o covariable del modelo y prueba la hipótesis nula que $\beta = 0$ usando el estadístico X^2 . Dicho coeficiente explica el efecto de un factor o una covariable en la función de riesgo, es decir, si el coeficiente β es negativo significa que el riesgo de muerte se reduce con el incremento de la covariable, mientras que un coeficiente β positivo indica lo contrario (Williams, 2008). Los datos fueron analizados con el programa SPSS 23,0 para Windows.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia

A los 12 meses después de establecer la plantación, las plantas de *S. mahagoni* inoculadas con las distintas cepas micorrízicas presentaron mayor supervivencia comparadas con aquéllas que se produjeron en los tratamientos no micorrizados (T1 y T2), siendo los mayores valores para las plantas cultivadas con las cepas *G. cubense* y *R. irregulare* en el sustrato S2 conformado por 20 % de cascarilla de caco + 60 % de fibra de coco + 20 % de aserrín (T4 y T6), con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos (Tabla 2). Resultados similares se han encontrado para esta misma especie en plantaciones establecidas en áreas de la Empresa Agroforestal Baracoa, con mejores resultados para las plantas micorrizadas con la cepa *Glomus cubense* (Falcón *et al.*, 2018).

Tabla 2. - Supervivencia estimada por tratamiento de acuerdo al método Kaplan-Meier

Tratamientos	Meses transcurridos para presentarse una supervivencia menor que:			Supervivencia final (%) [*]
	75 %	50 %	25 %	
T1 S1+ No micorriza	5	12	-	65,80 ^c
T2 S2 + No micorriza	5	10	-	59,20 ^c
T3 S1 + <i>G. cubense</i>	-	-	-	88,30 ^b
T4 S2 + <i>G. cubense</i>	-	-	-	95,80 ^a
T5 S1 + <i>R. irregulare</i>	-	-	-	87,50 ^b
T6 S2 + <i>R. irregulare</i>	-	-	-	95,00 ^a
T7 S1 + <i>F. mosseae</i>	-	-	-	86,70 ^b
T8 S2 + <i>F. mosseae</i>	-	-	-	88,30 ^b
General	11	-	-	86,30

^{*}Letras desiguales indican diferencias estadísticas significativas mediante la prueba Log-Rank.

En la tabla 2, también se observa la mortalidad con acumulado de 75 % a partir del quinto mes (enero/2020), la cual se agravó en el séptimo mes (marzo/2020) por encima del 50 % en los tratamientos no micorrizados (T1 y T2), no así en los tratamientos micorrizados donde la supervivencia estuvo por encima del 75 % durante el tiempo de evaluación. La mortalidad en los tratamientos no micorrizados pudiera ser el resultado de la no utilización de micorrizas, la cual puede facilitar el desarrollo de plantas en suelos con baja disponibilidad de nutrientes, además de facilitar la absorción de agua mediante la formación de agregados del suelo, creando un suelo poroso y permeable (Salcido-Ruiz *et al.*, 2021).

Estos resultados están acordes con los estudios de Rodríguez *et al.*, (2011) al manifestar que las micorrizas son una de las estrategias más importantes que han desarrollado las plantas para sobrevivir en condiciones del suelo pobres en nutrientes.



Por otra parte, a la supervivencia en determinado sitio también la afectan las propiedades físico-químicas del suelo como: humedad, temperatura, pH, conductividad eléctrica y contenido de nutrientes (Prieto *et al.*, 2018). Sin embargo, en este experimento, el sitio de plantación es el mismo; por ello, las diferencias de supervivencia de las plántulas pudieron ser el resultado de la no utilización de la micorriza como biofertilizante que permite el establecimiento de las plantas en condiciones extremas como baja fertilidad, sequía y salinidad (Cardona *et al.*, 2016).

Dependientemente del sustrato empleado, las cepas micorrízicas utilizadas favorecieron la supervivencia y el desempeño de las plantas en campo (Figura 1), ya que al aplicar HMA desde la fase de producción en vivero, les permiten a las plantas maximizar la disponibilidad de nutrimentos bajo condiciones del suelo limitantes (Falcón *et al.*, 2021), además de aprovechar mejor la humedad en situaciones de estrés como la sequía, reduciendo la pérdida de agua, así como, de soportar la presión por competencia con otras plantas, la depredación y el efecto de algunos patógenos (Aguirre-Medina *et al.*, 2019).

Resultados similares se han obtenidos para diferentes especies forestales, con mejores registros en las plantas inoculadas con cepas micorrízicas arbusculares (Chaiyasen *et al.*, 2017; Báez-Pérez *et al.*, 2017; Falcón *et al.*, 2018). La respuesta favorable de la aplicación de micorriza, se explica debido a que la colonización micorrízica extensiva en las raíces y el micelio extrarradical de estas especies, favorecen la formación de agregados y a la estructura del suelo en sitios de baja calidad, lo cual puede incrementar la adecuación de la planta hospedera en hábitats con recursos limitantes (Martínez-García, 2011); esto es relevante en sitios con precipitación pluvial escasa y condiciones edáficas pobres, como las que caracterizaron el área de estudio (Figura 1).

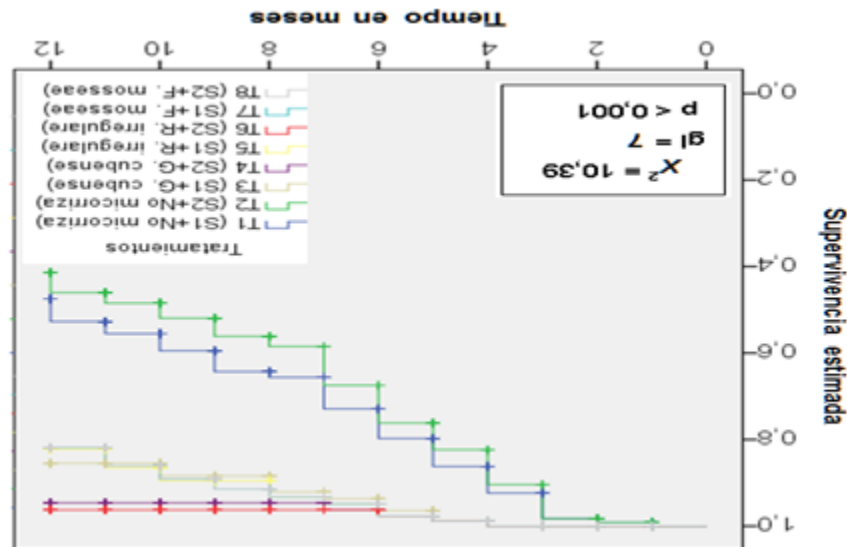


Figura 1. - Supervivencia según estimador de KaplanMeier por tratamientos de la plantación de *S. mahagoni*



Las diferencias significativas entre plantas cuyo sustrato fue inoculado y sin inocular, sugieren que los hongos micorrizógenos mejoran la nutrición de las plantas y compiten con los patógenos por los sitios de colonización e infección, además pueden inducir cambios anatómicos y morfológicos en las raíces, en las poblaciones de microorganismos de la rizósfera y en los mecanismos de defensa de las plantas (Salcido-Ruiz *et al.*, 2021), lo que contribuyen a un mayor porcentaje de supervivencia.

Los resultados que se alcanzaron están en correspondencia con los citados por Rodríguez *et al.*, (2011), quienes exponen que es importante desarrollar tecnología que permita aplicar los Hongos *Micorrízicos Arbusculares* (HMA) en los procesos de regeneración de los ecosistemas naturales y el establecimiento de plantaciones comerciales, particularmente en las regiones tropicales, con el propósito de aumentar la supervivencia, calidad y crecimiento de las plantas en campo.

Resultados similares se han encontrado para *Cedrela odorata* en Veracruz, México, con mejores resultados en las plantas inoculadas con la cepa *Rhizophagus intraradices* con respecto a las no inoculadas (Oros-Ortega *et al.*, 2015). La respuesta favorable de la inoculación con micorriza arbuscular se puede explicar debido a que la misma favorece el establecimiento y el desempeño de las plantas en campo; al estar inoculadas le permiten aprovechar mejor la humedad en el suelo (Aguirre-Medina *et al.*, 2019); mayormente en regiones con escasa precipitación pluvial y condiciones edáficas pobres como las que presenta el área de estudio.

Otros resultados obtenidos por Báez-Pérez *et al.*, (2017), indican que, en sitios severamente degradados, es posible el establecimiento de *Fraxinus uhdei*, debido al efecto de la inoculación múltiple en las plantas, que causa que algunas variables de desempeño mejoren como consecuencia de la interacción, como fue el caso de mayor supervivencia con la inoculación dual con *Pisolithus tinctorius* y *Glomus intraradices*.

Análisis de riesgos

El modelo de riesgos proporcionales de Cox fue significativo para el conjunto de datos analizados ($X^2 = 150,32$, $p > 0,0001$), de manera que se rechazó la hipótesis nula global de que $\beta = 0$ (Tabla 3).

Tabla 3. - Resultados de la regresión de riesgos proporcionales

Parámetros	GL	Estimador β	SE	X^2	Pr < Chi ²	Razón de riesgo
Sustrato	1	-0,173	0,334	0,236	0,627	0,841
Micorrización	3	0,413	0,145	8,109	0,004	1,512
Altura	1	0,383	0,057	4,182	0,041	1,082
Diámetro	1	-1,073	0,196	18,088	< 0,0001	0,342
Esbeltez	1	3,156	0,411	0,558	0,445	2,948



Los resultados muestran que, entre los factores analizados, la aplicación de micorriza presentó un efecto significativo en la función de riesgo con un estimador positivo (0,413) en la comparación entre tratamientos (micorrizado y no micorrizado), en otras palabras, establecer una planta no micorrizada en las condiciones del sitio del área de estudio, tendrá un mayor riesgo de muerte comparada con aquella que se establezca bajo la inoculación con micorriza en la misma condición de sitio.

Por otra parte, el análisis mostró un efecto altamente significativo del covariable diámetro del cuello de la raíz, con signo negativo en el estimador y una relación de riesgo de 0,342, lo que significa que el incremento de 1 mm en el diámetro de la planta reduce el riesgo de muerte hasta en un 68,4 % (es decir, $100(1-e^{-1,073})$) siempre y cuando se mantuviesen constantes las otras variables.

Los resultados obtenidos coinciden con lo indicado por **Sigala et al., (2015)**, quienes plantearon que las plántulas con los menores diámetros, pueden tener un pobre desempeño en campo, comparadas con aquellas de mayor diámetro, debido a que el diámetro está directamente relacionado con las reservas de carbohidratos no estructurales (**Prieto et al., 2018**), y con el desarrollo de las raíces (**Falcón et al., 2021**).

Otra variable que influyó significativamente en la supervivencia, fue la altura del tallo, que contrariamente al efecto del diámetro, ésta presentó un estimador con signo positivo, aunque con una relación de riesgo baja (1,082), indicando que el aumento de 1 cm de altura aumentaría el riesgo de muerte en un 8,2 % durante los primeros meses después de establecer la plantación.

En estudios con la especie *Pinus pseudostrobus*, **Sigala et al., (2015)** demostraron que la altura influyó negativamente en la supervivencia durante los primeros meses de establecimiento, específicamente, en el municipio Galeana, Nuevo León, México.

Tasa relativa de crecimiento

La tasa relativa de crecimiento tanto en altura como en diámetro (Figura 2) fueron mayores en los tratamientos donde se aplicó micorriza difiriendo estadísticamente con el resto de los tratamientos, lo que evidencia la importancia de este biofertilizante en el crecimiento en el campo; estos resultados coinciden con los obtenidos por **Chaiyasen et al., (2017)**, en plantaciones de *Tectona grandis* Linn.f., quien encontró mayor crecimiento y supervivencia en etapas tempranas de su desarrollo al asociarse con los HMA, por lo que la inoculación micorrízica arbuscular debe ser considerada si se pretenden realizar actividades de restauración y reforestación de los bosques xerofíticos.

Similares respuestas alcanzaron **Falcón et al., (2020)**, quienes señalaron que el hongo le aporta a las plantas múltiples funciones, entre las que se destaca el mejoramiento de la superficie absorbente del sistema radical, a través del aumento significativo de la misma, con tolerancia a las condiciones adversas.



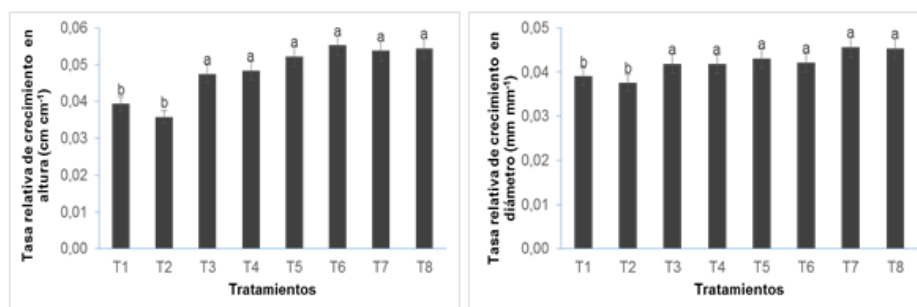


Figura 2. - Tasa Relativa de crecimiento en altura y diámetro de *S. mahagoni* a los 12 meses de plantada bajo diferentes tratamientos

Los incrementos no significativos de las variables respuesta del grupo de plantas no inoculadas se deben a que el suelo del área de estudio es Fluvisol, con concentración de fósforo muy bajo. A diferencia de las plantas micorrizadas este factor fue ventajoso ya que Brito *et al.*, (2017), indican que la actividad y el beneficio de la simbiosis es más visible cuando estos se encuentran en suelos deficientes en fosforo; en esta condición, plantas inoculadas con micorriza presentan incrementos mayores de crecimiento (Falcón *et al.*, 2021).

Estos resultados están en correspondencia con lo citado por Uc-Ku *et al.*, (2019), quienes informan que el hongo por su parte aporta nutrimentos minerales especialmente los poco móviles como fósforo, zinc, cobre y amonio, absorbidos de la solución del suelo por medio de las hifas. La planta micorrizada tiene ventaja sobre las no micorrizada porque el micelio externo del hongo se extiende a mayor distancia que los pelos radicales. Además, los hongos imparten otros beneficios a la planta como: mejorar la agregación del suelo, incrementan la fotosíntesis, aumentan la actividad microbiológica del suelo, amplían la fijación de nitrógeno por las bacterias simbióticas, brindan mayor resistencia a plagas y estrés ambiental, estimulan la actividad de sustancias reguladoras de crecimiento, haciendo que la planta tolere a la sequía (Piliarová *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

El mayor porcentaje de supervivencia se manifestó en el sustrato S2 conformado por 60 % de fibra de coco + 20 % de cascarilla de cacao + 20 % de aserrín de pino y las cepas micorrízicas *Glomus cubense* y *Rhizoglomus intraradices* (T4 y T6) con más de 90 %.

El diámetro en las plantas de *Swietenia mahagoni*, es la variable morfológica que mejor se relaciona con el riesgo de mortalidad. *Swietenia mahagoni* logró un crecimiento significativamente mayor con las distintas cepas micorrízicas, independientemente del sustrato utilizado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD EL-KADER, M.M.E., NAGLAA, K., A.-E. y ABO-ELSOUD, I.H. 2016. Effects of Sewage Sludge and Endo- mycorrhizal on Growth, Chemical Content and Some Physical Properties of *Swietenia mahagoni* seedling. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, vol. 54, no. 4, pp. 905-918. Disponible en: <https://doi.10.21608/assjm.2016.112675>.
- AGUIRRE-MEDINA, J.F., YEEKÓN-MÉNDEZ, L. y ESPINOSA-ZARAGOZA, S. 2019. Influencia de hongos endomicorrízicos en el crecimiento de (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, vol. 6, no. 16, pp. 11-21. Disponible en: <https://doi.10.19136/era.a6n16.1538>.
- ÁLVAREZ, P. y VARONA, P. 2006. Silvicultura. 2da. Ed. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 246 p.
- ÁLVAREZ, P.A. 2017. Métodos Silvícolas. Editorial Universitaria Félix Varela, La Habana, Cuba. 242 p.
- BÁEZ-PÉREZ, A.L., LINDIG-CISNEROS, R., VILLEGAS, J., BÁEZ-PÉREZ, A.L., LINDIG-CISNEROS, R. y VILLEGAS, J. 2017. Supervivencia y crecimiento de *Fraxinus uhdei*, inoculado en vivero, en cárcavas de acrisoles. *Madera y bosques*, vol. 23, no. 3, pp. 7-14. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331418>
- BRITO, V.N., TELLECHEA, F.R.F., HEITOR, L.C., FREITAS, M.S.M. y MARTINS, M.A. 2017. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. *Ciência Florestal*, vol. 27, pp. 485-497. Disponible en: <https://doi.10.5902/1980509827730>.
- BRUNDRETT, M.C. Y TEDERSOO, L. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, vol. 220, no. 4, pp. 1108-1115. Disponible en: <https://doi.10.1111/nph.14976>
- CARDONA, W.A., GUTIÉRREZ, J.S., MONSALVE, O.I. y BONILLA, C.R. 2016. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) micorrizadas y sin micorrizar. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 11, no. 2: pp. 253-266. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.6109>
- CREGG, B.M. 1994. Carbon allocation, gas exchange, and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiology*, vol. 14: 883-898.
- CHAIYASEN, A., Douds, D.D., Gavinlertvatana, P. y Lumyong, S. 2017. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tectona grandis* Linn.f. plantations and their effects on growth of micropropagated plantlets. *New Forests*, vol. 48, no. 4: pp. 1-16. Disponible en: <https://doi.10.1007/s11056-017-9584-6>
- FALCÓN, E., COBAS, M. y BONILLA, M. 2021. Efecto del sustrato y la micorriza arbuscular en el sistema radical y estado nutricional de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, vol. 9, no. 3, pp. 395-411. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/705>



- FALCÓN, E., COBAS, M. y BONILLA, M. 2020. Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y nutrición de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, vol. 24, no. Número especial, pp. 25-32. Disponible en: <https://www.ciencia.gtmo.inf.cu/index.php/http/article/view/1089>.
- FALCÓN, E., COBAS, M., BONILLA, M., ROMERO, C. V. 2018. Aplicación combinada de EcoMic® y Fitomas-E® en la calidad de la planta *Swietenia mahagoni* L. Jacq. *Revista Forestal Baracoa*, 37 (Número especial), pp. 1-10. Disponible en: <http://www.inaf.co.cu/revistas/revista-forestal-baracoa>
- HERNÁNDEZ, J.A., PÉREZ, J.J.M., BOSCH, I.D. y CASTRO, S.N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Ed. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p. ISBN 978-959-7023-77-7
- Instituto de Meteorología de Cuba [INSMET] 2021. Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo. Disponible en: <http://www.guantanamo.gob.cu/es/centro-meteorologico-provincial-guantanamo>
- KAPLAN, E.L. y MEIER, P. 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, vol. 53, no. 282: pp. 457-481. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>
- MARTÍNEZ-GARCÍA, L.B. 2011. Micorrizas arbusculares en ecosistemas semiáridos. Respuesta a factores de estrés ambiental. *Revista Ecosistemas*, vol. 20, no. 2-3: pp. 117-120. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=700>
- Ministerio de la Agricultura [MINAG]. 2021. Plan de desarrollo de la Unidad Empresarial de Base Silvícola Guantánamo. Empresa Agroforestal Guantánamo. 30 p.
- O'FARRILL, A., HECHAVARRÍA, O. y COBAS, M. 2018. Aplicación de la Forestería Análoga en suelos salinizados del Valle de Guantánamo. *Revista Avances*, vol. 20, no. 2, pp. 141-152. Disponible en: <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/338/1238>
- OROS-ORTEGA, I., ALONSO-LÓPEZ, A., PÉREZ-MORENO, J., LÓPEZ-COLLADO, J. C., LARA-PÉREZ, L.A., MARTÍNEZ-GARZA, S.E. y ANDRADE-TORRES, A. 2015. Respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* a la inoculación con *Rhizophagus intraradices* y diferentes niveles de defoliación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 6, no. 3: pp. 627-635. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?scrip=sci_arttex&pid=S2007-09342015000300015
- PILIAROVÁ, M., ONDREICKOVA, K., HUDCOVICOVA, M., MIHÁLIK, D. y KRAIC, J. 2019. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Their Life and Function in Ecosystem. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, vol. 65, no. 1, pp. 3-15. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/agri-2019-0001>.
- PRIETO, J.Á., DUARTE, A., GOCHE TÉLLES, J.R., GONZÁLEZ, M.M. y PULGARÍN, M.Á. 2018. Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 9, no. 47: pp. 151-168. Disponible en: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182>



- RODRÍGUEZ, V.H., SOTO, A., PÉREZ, J. y NEGREROS, P. 2011. Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Interciencia*, vol. 36, no. 8: pp. 564-569. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921395002>
- SALCIDO-RUIZ, S., PRIETO-RUIZ, J.Á., GARCÍA-RODRÍGUEZ, J.L., SANTANA-AISPURO, E. y CHÁVEZ-SIMENTAL, J.A. 2021. *Pinus greggii* Engelm.: Respuesta a la inoculación micorrízica controlada y a la fertilización en vivero. *Revista Agrociencia*, 55:273-290. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0002-2954-535X>
- SIGALA, J.Á., GONZÁLEZ, M.A. y PRIETO, J.Á. 2015. Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y precondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 6, no. 30: pp. 20-31. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63442410003>
- UC-KU, A.G., ARREOLA-ENRÍQUEZ, J., CARRILLO-AVILA, E., OSNAYA-GONZÁLEZ, M.M., ALARCÓN, A., FERRERA-CERRATO, R., LANDEROS-SÁNCHEZ, C., UC-KU, A.G., ARREOLA-ENRÍQUEZ, J., CARRILLO-AVILA, E., OSNAYA-GONZÁLEZ, M.M., ALARCÓN, A., FERRERA-CERRATO, R. y LANDEROS-SÁNCHEZ, C. 2019. Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de *Heliconia stricta*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 10, no. 5, pp. 1057-1069. <https://doi.10.29312/remexca.v10i5.1608>.
- VALENZUELA, O. 2019. El cultivo sin suelo y la sustentabilidad de las producciones intensivas. En: Aceptad: 2019-04-09T12:32:44Z, *Ediciones INTA (Boletín de divulgación técnica)*, no. 24, pp. 16. Disponible en: <http://repositorio.inta.gob.ar:80/handle/20.500.12123/4853>.
- VILLAMET, P. 2018. Implementación de técnicas de forestería análoga en tres Fincas Forestales Integrales del corredor xerofítico de Paraguay. *Revista Hombre, Ciencia y Tecnología*, vol. 22, no. 4: pp. 12-25.
- WILLIAMS, C.S. 2008. Surviving Survival Analysis. An Applied Introduction. In: SESUG 2008: The Proceedings of the South East SAS Users Group, St Pete Beach, FL. Disponible en: <http://analytics.ncsu.edu/sesug/2008/ST-147.pdf>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.
Copyright (c) 2022 Emir Falcón Oconor, Milagros Cobas López, Marta Bonilla Vichot, Orfelina Rodríguez Leyva

