

**EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES SOBRE LA
SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE
PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora*
PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN
CONDICIONES DE INVERNADERO**

**EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL
FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH
OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS
PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED
UNDER GREENHOUSE CONDITIONS**

Ambriz, E., C.J. Alvarado López, Y. López Antonio, H.J. Barrales Cureño, R. Salgado Garciglia, A. Hernández García

EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora* PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS



Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la supervivencia y el crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas *in vitro* y por semilla en condiciones de invernadero

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the survival and growth of *Dalbergia congestiflora* plants propagated *in vitro* and from seed under greenhouse conditions

Enrique Ambriz, Carlos Juan Alvarado López, Yoshira López Antonio, Hebert Jair Barrales Cureño, Rafael Salgado Garciglia, Alejandra Hernández García

EFFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora* PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 259-271. Enero 2026

DOI:

10.18387/polibotanica.61.15

Enrique Ambriz <https://orcid.org/0000-0003-1513-5760>

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México

Carlos Juan Alvarado-López <https://orcid.org/0000-0001-7442-8171>


Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán, México

Yoshira López-Antonio

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México

Hebert Jair Barrales-Cureño <https://orcid.org/0000-0002-8431-2102>

Rafael Salgado-Garciglia <https://orcid.org/0000-0001-5920-6562>

Alejandra Hernández-García / alejandra.hernandez@umich.mx 

<https://orcid.org/0000-0001-8353-0266>

Instituto de Investigaciones Químico Biológicas.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México.

RESUMEN: Las especies de árboles en estatus de riesgo, como *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae), presentan una baja calidad de crecimiento y desarrollo, lo que dificulta su supervivencia en invernadero y campo. Para mitigar esto, se utilizan estrategias como la fertilización y la adición de microorganismos benéficos, destacando los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la adición de HMA sobre la supervivencia, crecimiento y desarrollo de plantas de *D. congestiflora* cultivadas en invernadero, utilizando dos métodos de propagación (plantas micropropagadas y propagadas por semillas). A partir de brotes multiplicados *in vitro* provenientes de callos, se obtuvieron plántulas micropropagadas, aclimatadas con éxito y posteriormente cultivadas en invernadero. Las plantas propagadas por semillas, se desarrollaron a partir de la germinación en cajas Petri con papel filtro húmedo y después fueron cultivadas en invernadero. En ambos casos, las plantas se inocularon con un producto comercial de HMA, utilizando tres concentraciones de esporas/planta (80, 128 y 176) y un tratamiento control (0 esporas) (n=6), evaluando parámetros de supervivencia, altura, diámetro de tallo, número de foliolos y área foliar, durante 180 días. La inoculación con esporas tuvo efectos variables según el tipo de propagación de la planta, la supervivencia de las plantas micropropagadas y obtenidas por semilla fue mayor ($p < 0.05$) en los tratamientos de inoculación, en comparación con el tratamiento control. En plantas micropropagadas, la inoculación no afectó la altura ni el diámetro del tallo, pero con la inoculación de 128 y 176 esporas, resultaron en una mayor área foliar a los 180 días ($p < 0.05$). En plantas propagadas por semilla, con las tres concentraciones de inoculación, se obtuvo un incremento en la altura y el diámetro del tallo a los 180 días ($p < 0.05$). En estas plantas, con 176 esporas también se aumentó significativamente el número de foliolos ($p < 0.05$), y con 80 y 128 esporas, se produjo la mayor área foliar a los 180 días ($p < 0.05$). En general, las plantas inoculadas propagadas por semilla mostraron los valores más altos en todas las variables evaluadas en comparación con las plantas micropropagadas.

Palabras clave: Campincerán, calidad de planta, micorrizas, propagación.

ABSTRACT: Endangered tree species, such as *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae), have a low quality of growth and development, which makes it difficult for them to survive in greenhouses and fields. To mitigate this, strategies such as fertilization and the addition of beneficial microorganisms are used, highlighting arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The objective of the present research was to determine the effect of the addition of AMF on the survival, growth and development of greenhouse-grown *D. congestiflora* plants, using two propagation methods (micropropagated and seed-propagated plants). From shoots multiplied *in vitro* from callus, micropropagated plantlets were obtained, successfully acclimatized and subsequently grown in greenhouse. The seed-propagated plants were developed from germination in Petri dishes with wet filter paper and then grown in greenhouse. In both cases, the plants were inoculated with a commercial AMF product, using three concentrations of spores/plant (80, 128 and 176) and a control treatment (0 spores) (n=6), evaluating growth parameters such as survival, plant height, stem diameter, number of leaflets and leaf area, during 180 days. Inoculation with spores had variable effects depending on the type of plant propagation, the survival of micropropagated and seed-obtained plants was higher ($p < 0.05$) in inoculation treatments, compared to the control treatment. In micropropagated plants, inoculation did not affect stem height or diameter, but with inoculation of 128 and 176 spores, they resulted in a larger leaf area at 180 days ($p < 0.05$). In seed-propagated plants, with the three inoculation concentrations, an increase in plant height and stem diameter was obtained at 180 days ($p < 0.05$). In these plants, with 176 spores, the number of leaflets was also significantly increased ($p < 0.05$), and with 80 and 128 spores, the largest leaf area was produced at 180 days ($p < 0.05$). Overall, seed-propagated inoculated plants showed the highest values in all evaluated variables compared to micropropagated plants.

Key Words: Campincerán, plant quality, mycorrhizae, propagation.

INTRODUCCIÓN

El género *Dalbergia* agrupa especies maderables de gran valor comercial. El incremento en la demanda de madera de estas especies ha generado la reducción de las poblaciones y esta situación se ha agravado debido a que de manera natural se distribuyen de forma agregada (Barboza Nogueira *et al.*, 2014). La disminución del número de árboles potencialmente productivos genera baja producción de semillas y bajo reclutamiento, aunado a que estas especies presentan baja capacidad de dispersión de semillas (Barboza Nogueira *et al.*, 2014). A pesar de estas dificultades, la propagación de *Dalbergia congestiflora* es prometedora ya que se ha reportado hasta un 90 % de germinación (Casillas-Sánchez, 2014) y se tiene un protocolo de propagación *in vitro* (Hernández-García *et al.*, 2021). Sin embargo, tanto las plantas propagadas por semilla como por micropropagación, no cuentan con características morfológicas adecuadas para soportar las condiciones de estrés en campo. Por lo tanto, se requiere generar estrategias para incrementar el crecimiento de las plantas de *D. congestiflora* y asegurar su supervivencia durante su cultivo.

Las estrategias para incrementar el vigor de las plantas son a través del abono y de la fertilización, el uso de bioestimulantes, el tipo de sustrato, el tipo de contenedor, el riego y el drenaje, el control de factores como el pH, la temperatura y luz, así como con la inoculación de microorganismos (Yakhin *et al.*, 2017; Patel *et al.*, 2023). Una dosis de fertilización alta genera plantas con mayor diámetro de tallo y altura (Watkinson *et al.*, 2022; Paz *et al.*, 2023). Además, las plantas crecidas en contenedores profundos y con el sustrato adecuado producen raíces de mayor longitud, y como consecuencia el diámetro de tallo y la altura también se incrementan (Bernaola-Paucar *et al.*, 2022; El Haddadi *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023), por lo que estas prácticas en vivero mejoran el crecimiento. Por otra parte, la combinación de fertilización y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) da como resultado una mayor calidad de planta a través del diámetro de tallo y de la altura de la planta (Ruiz *et al.*, 2021).

La supervivencia de las plantas en campo, ya sea propagadas por semilla o micropropagadas, varía de acuerdo con la especie vegetal. En plantas de *Dalbergia retusa* propagadas por semillas,

se presentó un 75% de supervivencia después de diez años de haber realizado la plantación (López-Barreto, 2015). Para *D. congestiflora* se tienen datos de 27% de supervivencia (Márquez-Torres & Martínez-Garza, 2022), cuyo valor se ha clasificado como bajo. La supervivencia de plantas micropropagadas bajo condiciones de campo ha sido reportada entre 7.5 y 22% (Salama *et al.*, 2017; Mežaka *et al.*, 2023). La supervivencia puede aumentar hasta un 81% y depende de la estructura morfológica de las plantas micropropagadas, tallos altamente lignificados y mayor cantidad de ramas laterales (Pogorzelec *et al.*, 2014). Los HMA contribuyen en el aumento del vigor o calidad de las plantas propagadas *in vitro* durante su cultivo en invernadero y con ello se incrementan las posibilidades de supervivencia en condiciones de campo. Lo anterior, debido a que los HMA ayudan a disminuir el estrés causado durante el trasplante y la aclimatación, mejorando de manera significativa la absorción de nutrientes y agua (Roveda *et al.*, 2012; El Kinany *et al.*, 2019; Ancona *et al.*, 2021; Gómez-Falcón *et al.*, 2023; Mortier *et al.*, 2023). Efectos positivos sobre la altura y el diámetro de tallo se han observado en diversas especies de plantas micropropagadas micorrizadas en comparación con las no micorrizadas (El Kinany *et al.*, 2019; Gómez-Falcón *et al.*, 2023) y en plantas propagadas por semilla en especies del género *Dalbergia* (Niranjan *et al.*, 2007; Bisht *et al.*, 2009; Mirdhe & Lakshman, 2009; Saravanan *et al.*, 2013; Bhardwaj *et al.*, 2023). Por lo tanto, la hipótesis de este trabajo fue que las plantas de *D. congestiflora* tanto propagadas por semillas como micropropagadas, incrementan su supervivencia y crecimiento con la inoculación de HMA. Por lo que, el objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de *D. congestiflora* propagadas por semilla y micropropagadas, inoculadas con un producto comercial de HMA. Las variables evaluadas fueron supervivencia, diámetro de tallo, altura de la planta, número de folíolos y área foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas micropropagadas de *D. congestiflora* se obtuvieron a partir de callos cultivados en medio Murashige y Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962) con 1.5 mg L⁻¹ de benciladenina (BA) y 0.5 mg L⁻¹ de ácido naftalenacético (ANA), establecidos a partir de yemas axilares de plántulas micropropagadas (Hernández-García *et al.*, 2021), y mantenidos en condiciones de cuarto de cultivo en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Para lograr la formación de brotes, se cultivaron segmentos de callos de 0.5 cm de diámetro, de 30 días de cultivo, en medio MS con 1.0 mg L⁻¹ BA y 0.1 mg L⁻¹ ANA, con 8 g L⁻¹ de agar bacteriológico (Bioxon®, México) y 30 g L⁻¹ de sacarosa (Bioxon®, México) (Hernández-García *et al.*, 2021). Posteriormente se mantuvieron en un cuarto de cultivo a 25 °C y un fotoperiodo de 16 horas de luz con una intensidad de 36 μmol m⁻² s⁻¹, por lámparas de luz blanca fluorescente. Los brotes se desarrollaron después de 30 días y se colocaron en medio MS ½ con 2.5 mg L⁻¹ de ácido idol-3-butírico (AIB) con 20 g L⁻¹ de sacarosa y mantenidos en las condiciones antes mencionadas, hasta la formación de plántulas (Hernández García *et al.*, 2016). Para ambos medios, los reguladores de crecimiento, vitaminas y sales minerales, fueron de la marca Sigma-Aldrich® México.

Las plántulas se mantuvieron bajo cultivo *in vitro* por 30 días por considerarlas aptas para el trasplante y aclimatación, ya que presentaron una altura de 4 cm en promedio, con 5 raíces con una longitud promedio de 2 cm (Figura 1A). Éstas se trasplantaron y se cultivaron en condiciones de aclimatación durante 30 días en cámara húmeda a 80% de humedad relativa, de acuerdo con lo reportado por Hernández-García *et al.* (2021). Posteriormente se cultivaron en bolsas de plástico de 1 kg conteniendo sustrato de una mezcla de materia orgánica (Vigoro®) con agrolita en una proporción de 1:1, esterilizado dos veces en condiciones de presión a 14 lb pulg⁻² durante 30 min (Figura 1B). El pH del sustrato después de la esterilización fue de 5.3.

Las semillas de *D. congestiflora* fueron donadas por el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (UMSNH) y fueron recolectadas de 15 individuos en la localidad de Carácuaro Michoacán México (18°59'17.17"N, 101°6'18.56"W).

La germinación se realizó en cajas Petri con papel filtro húmedo y se mantuvieron en oscuridad en condiciones de cuarto de cultivo (25 °C), hasta la aparición de la radícula (Figura 1C). Después de 30 días de la germinación, las plantas fueron cultivadas en el mismo sustrato de cultivo utilizado para las plantas micropropagadas (Figura 1D). Para la experimentación, se utilizaron plantas de ambos sistemas de propagación, con una altura promedio de 4 cm de altura y fueron mantenidas en condiciones semicontroladas de invernadero, a una temperatura promedio de 25 °C, humedad relativa de 80%, sin control de las horas luz, utilizando una malla-sombra del 70%. El riego del sustrato fue cada tercer día con agua corriente, hasta quedar completamente húmedo durante todo el experimento.

Las plantas provenientes de semilla y micropropagadas se inocularon con un consorcio de especies de un producto comercial de HMA, conteniendo esporas de *Glomus clarum*, *G. intraradices*, *G. etunicatum* y *Entrophospora columbiana* (Mycor Tree ® Plant Health Care, Canadá), utilizando tres tratamientos con diferentes concentraciones de esporas (80, 128 y 176 esporas por planta) y un tratamiento control, sin esporas. Para obtener los tres diferentes inóculos (esporas mL⁻¹), se preparó una solución de esporas de la mezcla de HMA con 1 mL de agua estéril, en la que se obtuvo 176 esporas mL⁻¹, de la cual se realizaron dos diluciones, registrando 126 y 80 esporas mL⁻¹. A los 15 días después del cultivo de las plantas en invernadero, tanto micropropagadas como propagadas por semilla, se agregó 1 mL de cada concentración de esporas por planta (Figuras 1B, 1D).

Además del porcentaje de supervivencia, se evaluaron los parámetros de crecimiento como la altura de la planta, el diámetro de tallo, número de folíolos y el área foliar, ésta se determinó midiendo el largo y ancho de los folíolos por planta, para ambos sistemas. Estos parámetros se evaluaron a los 60, 120 y 180 días, contados a partir de la inoculación en ambos sistemas de propagación y el área foliar se determinó solo a los 180 días. El número de plantas fue de 15 por tratamiento para ambos sistemas de propagación, considerando cada planta como repetición.

Los datos de las variables de altura, diámetro de tallo, número de folíolos y área foliar, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) por variable. El número de réplicas (n) varió durante la experimentación, de acuerdo a la supervivencia de las plantas. Se utilizó una prueba de diferenciación de medias de Tukey ($p < 0.05$) (programa estadístico JP8®).

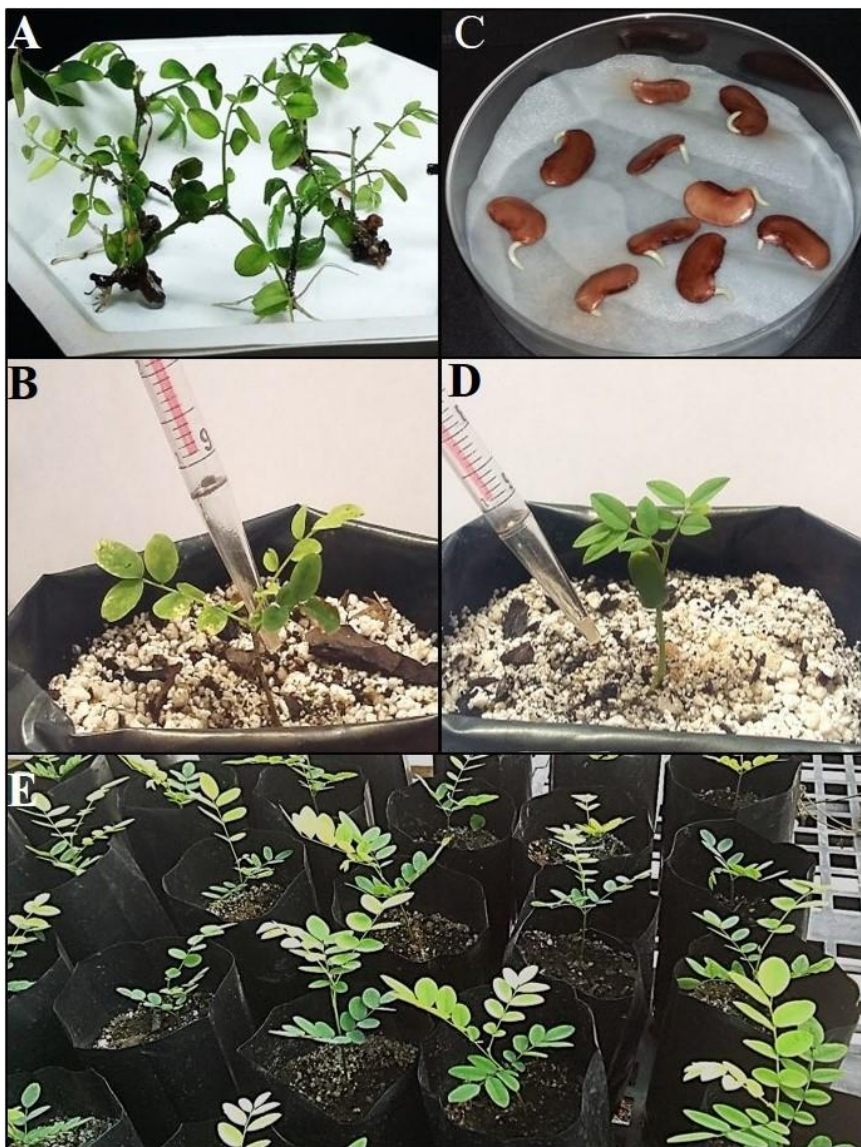


Figura 1. Plantas micropropagadas y propagadas por semilla de *D. congestiflora*: A) Plántulas micropropagadas previo al trasplante y aclimatación; B) Plantas micropropagadas cultivadas en invernadero, después de 30 días de aclimatación; C) Semillas a los tres días del inicio de la germinación; D) Plantas propagadas por semilla, después de 30 días de germinación; E) Plantas propagadas por semilla, cultivadas durante 180 días en condiciones de invernadero e inoculadas con 176 esporas de HMA.

Figure 1. *D. congestiflora* plants micropropagated and propagated from seed: A) Plantlets micropropagated prior to transplantation and acclimatization; B) Micropropagated plants grown in greenhouse, after 30 days of acclimatization; C) Seeds three days after the start of germination; D) Plants propagated from seed, after 30 days of germination; E) Plants propagated from seed, cultivated for 180 days in greenhouse conditions, inoculated with 176 spores.

RESULTADOS

Efecto de la inoculación con HMA en plantas micropropagadas

El efecto de la inoculación con HMA en plantas micropropagadas de *D. congestiflora*, sobre el porcentaje de supervivencia, la altura, el número de folíolos, el diámetro del tallo y el área foliar, se presenta en el Cuadro 1. La supervivencia de las plántulas a los 30 días del trasplante previo a

la inoculación con las esporas de HMA, fue de un 70%, seleccionando 15 plántulas para cada tratamiento. Las plántulas micropropagadas no inoculadas con HMA presentaron un porcentaje del 20% de supervivencia a los 60 días, un valor igual cuando se inocularon con 80 esporas, porcentaje que aumentó en plantas inoculadas con 128 y 176 esporas, alcanzando un 40%. A los 120 días no hubo variación en los porcentajes de supervivencia en todos los tratamientos, permaneciendo un 20% en las plántulas control e inoculadas con 80 esporas, y un 40 % en los tratamientos con 128 y 176 esporas, valores que permanecieron durante todo el periodo evaluado (180 días). La inoculación con HMA no mostró un efecto positivo en la altura de las plantas y en el diámetro de tallo, ya que no hubo diferencias significativas entre los valores de las plantas del tratamiento control y los tratamientos con esporas. 80, 128 y 176 esporas, a los diferentes tiempos. Sin embargo, aunque no hubo un incremento en el número de foliolos a los 60 días de cultivo, en los tratamientos con esporas, respecto al tratamiento control, las plantas tratadas con 176 esporas mantuvieron valores sin diferencias significativas desde los 60 días (7.7 foliolos) hasta los 180 días (5.8 foliolos). En los demás tratamientos, este número disminuyó, siendo más notorio en las plantas tratadas con 128 esporas, con 3 foliolos a los 180 días del cultivo.

En la variable de área foliar, a los 180 días se observó un incremento en las plantas tratadas con 128 y 176 esporas (1.97 y 1.99 cm², respectivamente), sin embargo, en las plantas tratadas con 80 esporas, se obtuvo una disminución en esta variable, sin diferencia significativa a lo observado en plantas control.

Cuadro 1. Efecto del número de esporas de HMA sobre las variables de supervivencia y crecimiento de plantas micropropagadas de *Dalbergia congestiflora*

Table 1. Effect of the number of AMF spores on the survival and growth parameters of micropropagated plants of *Dalbergia congestiflora*.

Variable	Edad (días)	Tratamientos (número de esporas)			
		Control	80	128	176
Supervivencia (%)	60	20	20	40	40
	120	20	20	40	40
	180	20	20	40	40
Altura (cm)	60	5.9±0.57 a	6.3±0.25 a	6.2±0.40 a	6.0±0.40 a
	120	6.0±0.55 a	6.5±0.43 a	6.5±0.45 a	6.5±0.15 a
	180	6.0±0.59 a	6.6±0.44 a	6.5±0.45 a	6.5±0.14 a
Diámetro (mm)	60	1.23±0.14 a	1.15±0.21 a	1.30±0.39 a	1.15±0.14 a
	120	1.45±0.30 a	1.33±0.26 a	1.47±0.41 a	1.47±0.31 a
	180	1.45±0.30 a	1.33±0.26 a	1.47±0.41 a	1.47±0.31 a
Número de foliolos	60	7.0±0.89 a	6.3±0.63 a	5.5±1.22 b	7.7±0.82 a
	120	4.2±0.41 c	5.5±0.84 b	2.8±0.75 d	5.8±0.98 a
	180	4.2±0.41 c	5.5±0.84 b	3.0±0.89 d	5.8±1.17 a b
Área foliar (cm ²)	180	0.98±0.50 b	1.08±0.22 b	1.97±0.38 a	1.99±0.19 a

± =Desviación estándar, letras distintas por variable indican diferencia significativa ($p<0.05$).

± = standard error, different letter per variable indicates a significant difference ($p<0.05$).

Efecto de la inoculación de HMA en plantas propagadas por semilla

A los dos días de inicio del experimento de germinación, se observó la formación de radícula con una longitud promedio de 0.45 mm, a los 8 días se obtuvo la formación de plántulas con una altura promedio de 4 cm, presentando un 90% de germinación, las que fueron trasplantadas a sustrato para la experimentación. En el cuadro 2 se muestran los resultados de porcentaje de

supervivencia y de las variables de altura, diámetro de tallo, número de foliolos y área foliar, a los 60, 120 y 180 días del cultivo. A los 60 días de cultivo, se obtuvo un 100% de supervivencia en todos los tratamientos, el cual disminuyó a los 120 y 180 días, manteniendo los porcentajes más altos en las plantas tratadas con 128 y 176 esporas (80%).

La altura de las plantas varió en relación al número de esporas y con el tiempo de evaluación. A los 60 días, no hubo diferencias significativas en la altura en las plantas de cada uno de los tratamientos, con un máximo de 12.5 cm en las tratadas con 176 esporas, valor similar a lo presentado en plantas no tratadas a los 120 y 180 días. Con 176 esporas, se obtuvo la mayor altura a los 120 y 180 días, con 14.1 y 14.7 cm, respectivamente, sin diferencia significativa con el valor de la altura de plantas tratadas con 128 esporas a los 180 días del cultivo (13.4 cm).

Desde los 60 días, las plantas propagadas por semilla tanto en el tratamiento control como en los tratamientos con esporas, presentaron un incremento en el diámetro de tallo, alcanzando 2.2 mm en plantas control a los 180 días, obteniendo a este tiempo, los mayores valores de diámetro de tallo en los tratamientos con 80, 128 y 176 esporas (3.2, 2.8 y 3 mm, respectivamente), sin diferencias significativas entre éstos.

El número de foliolos incrementó en las plantas inoculadas, respecto al número de esporas, con el mayor número en el tratamiento con 176 esporas, a los 60 (38.5) y 120 días (42.5). A los 180 días del cultivo, se obtuvo una disminución de esta variable tanto en plantas control como en las inoculadas. La mayor área foliar fue observada a los 180 días del cultivo, en las plantas tratadas con 80 y 128 esporas, con baja diferencia significativa a la de plantas control y una alta diferencia significativa con las plantas tratadas con 176 esporas, las que mostraron una disminución en esta variable.

Cuadro 2. Efecto del número de esporas de HMA sobre las variables de supervivencia y crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas por semilla

Table 2. Effect of the number of AMF spores on the survival and growth parameters of seed-propagated *Dalbergia congestiflora* plants

Variable	Edad (días)	Tratamientos (número de esporas)			
		Control	80	128	176
Supervivencia (%)	60	100	100	100	100
	120	60	80	80	80
	180	40	60	80	80
Altura (cm)	60	10.9±0.96 b	11.5±0.95 b	11.3±0.86 b	12.5±0.50 b
	120	11.9±0.65 b	12.6±0.55 b	13.0±0.69 ab	14.1±0.40 a
	180	11.9±0.65 b	13.1±0.59 ab	13.4±0.58 a	14.7±0.79 a
Diámetro (mm)	60	1.5±0.22 c	2.2±0.39 b	2.1±0.85 b	1.9±0.27 b
	120	2.1±0.42 b	3.0±0.09 a	2.4±0.38 b	2.3±0.41 b
	180	2.2±0.32 b	3.2±0.41 a	2.8±0.27 a	3.0±0.04 a
Número de foliolos	60	25.0±3.7 c	31.5±4.2 b	34.7±1.1 b	38.5±2.1 a
	120	27.5±2.2 bc	33.8±1.9 b	31.7±2.6 b	42.5±2.7 a
	180	17.5±2.7 d	23.5±3.1 c	21.7±2.6 c	31.2±2.0 b
Área foliar (cm ²)	180	7.9±1.03 ab	9.1±1.83 a	8.9±3.46 a	6.1±1.00 b

± = Desviación estándar, letras distintas por variable indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

± = standard error, different letter per variable indicates a significant difference ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Efecto de la inoculación de HMA en plantas micropropagadas

El efecto benéfico de los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) sobre la supervivencia en diversas plantas micropropagadas se ha reportado hasta 2.25 veces más, respecto a lo observado en plántulas no inoculadas con HMA, con valores de supervivencia de entre 40 y 80% (da Silva *et al.*, 2017; Ancona *et al.*, 2021; Gómez-Falcón *et al.*, 2023). Estos autores han propuesto que los valores de supervivencia están asociados a la calidad de las plantas en la etapa de propagación y la diferencia en supervivencia es por efecto de los HMA. En este estudio, se observó también un efecto positivo con la inoculación de HMA sobre la supervivencia de las plantas micropropagadas de *D. congestiflora*, ya que se promovió un incremento de dos veces, cuando se inocularon con 128 y 176 esporas. El valor bajo del porcentaje de supervivencia (20%) a los 180 días en plantas micropropagadas no tratadas con esporas de HMA, se sugiere se deba a que éstas sufren un fuerte estrés y no están preparadas para crecer y desarrollarse en las condiciones de invernadero ya que muestran deshidratación, insuficiencia fotosintética, un sistema radicular débil, por lo que requieren de un óptimo sustrato y buenas condiciones de humedad, temperatura y luz, así como la presencia de microorganismos benéficos como los HMA (Pérez *et al.*, 2002; Collado *et al.*, 2004). Con la inoculación de HMA (128 y 176 esporas) en plántulas micropropagadas de *D. congestiflora*, se logró un 40% de supervivencia, con la inoculación de 80 esporas no se consiguió un incremento en la supervivencia.

Los valores de altura y diámetro de tallo en plantas micropropagadas fueron similares en todos los tratamientos durante todo el experimento, sin observar diferencias significativas entre éstos, no encontrando un efecto positivo con la inoculación de HMA. Un aumento en el diámetro del tallo de plantas micropropagadas, cultivadas en invernadero e inoculadas con HMA, se ha reportado en *Hevea brasiliensis* (caucho) (Sosa Rodríguez *et al.*, 2009), así como en *Citrus sinensis* (naranja dulce), inoculadas con *Glomus* spp. Zac-19 (Chávez *et al.*, 2000), obteniendo un valor de 3.5 mm de diámetro en ambas especies. En esta investigación, las plantas micropropagadas e inoculadas con 128 y 176 esporas, obtuvieron solo 1.47 mm de diámetro de tallo a los 180 días y no difirieron de las plantas no inoculadas. Con estos resultados, se sugiere que el tiempo de experimentación fue primordial para observar un efecto positivo, ya que, en otras plantas, como en las de alcachofa (*Cynara cardunculus*), no se ha observado dicho efecto en el crecimiento, debido al corto periodo de evaluación (Pandino *et al.*, 2022). Esta situación ya ha sido observada a los 180 días de crecimiento y después de 6 meses, en plantas micropropagadas de coco (*Cocos nucifera*) inoculadas con HMA, las que mostraron un incremento en el crecimiento y en el área foliar (Gómez-Falcón *et al.*, 2023). En cuanto a esta variable (área foliar), a los 180 días se observó un incremento en plantas inoculadas con 128 y 176 esporas, excepto en el tratamiento con 80. Hay investigaciones en las que se demuestra este efecto positivo, dependiente del número de esporas de inoculación, debido a una alta colonización (Vivas-Cedeño *et al.*, 2018), lo que no pudo comprobarse en la presente investigación, quedando como perspectiva del trabajo.

Efecto de la inoculación de HMA en plantas propagadas por semilla

Los resultados obtenidos en el porcentaje de germinación, concuerdan con lo reportado en diversas investigaciones de especies del género *Dalbergia* (García & Di Stéfano, 2000; Casillas-Sánchez, 2014). En el caso de *D. congestiflora* es necesario mantener condiciones de alta humedad para obtener resultados del 90% de germinación. Casillas-Sánchez (2014) reportó un porcentaje de supervivencia en *D. congestiflora* del 47% a los 15 días del cultivo, en una mezcla de vermiculita + turba (3:1 v/v), lo que difiere con lo obtenido en este trabajo ya que se presentó un porcentaje de supervivencia del 100% hasta los 60 días tanto en plantas control como en plantas inoculadas con los tres tratamientos de HMA (80, 128 y 176 esporas por planta).

Con la inoculación de HMA comercial en plantas germinadas de *D. congestiflora*, se incrementó tanto la altura como el diámetro del tallo, con un mayor efecto cuando se inocularon con 176 esporas, a los 180 días del cultivo. La altura de las plantas en *Dalbergia sissoo* fue entre 17 y 41 cm para plantas sin inocular y plantas inoculadas con HMA respectivamente, en un periodo de

120 días (Mirdhe & Lakshman, 2009), mientras que la altura en plantas de *Dalbergia latifolia*, ésta fue de 19 y 27 cm para plantas sin inocular e inoculadas con HMA en un periodo de 180 días, respectivamente (Saravanan *et al.*, 2013). En las plantas de *D. congestiflora* se obtuvo una altura menor a la altura reportada para especies de *Dalbergia* en periodos de crecimiento similares, con 11.9 y 14.7 cm en plantas sin inocular e inoculadas con HMA, respectivamente. Estos resultados indican que *D. congestiflora* tiene una velocidad de crecimiento menor, en comparación con otras especies del mismo género. Lo anterior, al considerar que Casillas-Sánchez (2014) reportó valores de altura de la planta similares a los observados en este estudio con la misma especie de *Dalbergia*.

Aunque a los 180 días el número de folíolos disminuyó significativamente tanto en plantas control como inoculadas con HMA, a los 120 se observó el mayor número con 42.5 folíolos por planta, en plantas inoculadas con 176 esporas por planta. Este resultado no se relacionó con el área foliar, ya que, a los 180 días, se obtuvo el valor menor en las plantas de este tratamiento (176 esporas/planta), sin diferencia significativa al de las plantas no inoculadas. Las plantas inoculadas con 80 y 128 esporas por planta presentaron los mayores valores de área foliar con 9.1 y 8.9 cm², respectivamente.

En *D. latifolia* se ha reportado un mayor número de hojas y mayor área foliar para plantas inoculadas en relación a las plantas sin inocular (Saravanan *et al.*, 2013), cuyos valores son muy superiores a los observados en el presente estudio. A pesar de que se presentó una disminución en el número de folíolos a los 180 días del cultivo, la inoculación de HMA mostró un efecto positivo en esta variable en plantas de *D. congestiflora*, lo cual se debe posiblemente a una mejor nutrición, principalmente mediante el aporte de fósforo como se ha planteado en algunas investigaciones (Aguirre-Medina *et al.*, 2011; Saravanan *et al.*, 2013). En *D. sisso*, también se infiere que el incremento en biomasa a los 90 días del cultivo en plantas inoculadas con una mezcla de HMA (*Glomus intraradices*, *Gigaspora albida* y *Acaulospora scrobiculata*), se debe a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (Bisht *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

El efecto de la inoculación con el consorcio de especies de HMA del producto comercial (*Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum* y *Entrophospora columbiana*), con 80, 128 y 176 esporas/planta, fue más notorio en plantas de *D. congestiflora* propagadas por semilla, ya que todas las variables determinadas (supervivencia, altura, diámetro del tallo, número de folíolos y área foliar), presentaron los valores más altos en comparación con las plantas micropropagadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera y al laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F., Moroyoqui-Ovilla, D. M., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., Avendaño-Arrazate, C. H., & Aguirre-Cadena, J. F. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 71–80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43721202009>
- Ancona, S., De Mastro, G., Jenderek, M. M., & Ruta, C. (2021). Micropropagation supports reintroduction of an Apulian artichoke landrace in sustainable cropping systems. *Agronomy*, 11(6): 1169. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061169>

- Barboza Nogueira, F. C., Medeiros Filho, S., Baldoni, R. N., & Sampaio e Silva, T. A. (2014). Is the seed dispersal related to spatial pattern of individuals in populations? The Case of *Dalbergia cearensis*. *American Journal of Plant Sciences*, 05(20), 2997–3004. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.520316>
- Bernaola-Paucar, R. M., Ruiz-Blandon, B., Salcedo-Pérez, E., & Zapata-Hernández, I. (2022). Nursery management factors that influence growth and survival of *Pinus douglasiana* in Mexico. *Bosque*, 43(2), 101–115. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200101>
- Bhardwaj, A. K., Chandra, K. K., & Kumar, R. (2023). Water stress changes on AMF colonization, stomatal conductance and photosynthesis of *Dalbergia sissoo* seedlings grown in entisol soil under nursery condition. *Forest Science and Technology*, 19(1), 47–58. <https://doi.org/10.1080/21580103.2023.2167873>
- Bisht, R., Chaturvedi, S., Srivastava, R., Sharma, A. K., & Johri, B. N. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* on the growth and nutrient status of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Tropical Ecology*, 50(2), 231–242. <https://www.researchgate.net/publication/255454806>
- Casillas-Sánchez, J. I. (2014). “Propagación de *Tilia americana* var. *mexicana* y *Dalbergia congestiflora*” (Tesis Inédita de Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 80 p.
- Chávez, M. C. G., Cerrato, R. F., Monter, A. V., & Oropeza, J. L. (2000). Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 0. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57318411.pdf>
- Collado, R., Barbón, R., Agramonte, D., Jiménez, F., Pérez, M., Gutiérrez, O., & Ramírez, D. (2004). Establecimiento *in vitro* de ápices y segmento nodales de *Swietenia macrophylla* King. *Biología Vegetal*, 4(3). <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/411>
- da Silva, A. R., de Melo, N. F., & Yano-Melo, A. M. (2017). Acclimatization of micropropagated plants of *Etilingera elatior* (Jack) R. M. Sm. inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *South African Journal of Botany*, 113, 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.014>
- El Haddadi, R., El Mekkaoui, A., Zouahri, A., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2022). Effect of growing media on morpho-physiological quality attributes of *Tetraclinis articulata* seedlings. *Forest Science and Technology*, 18(3), 108–117. <https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2104936>
- El Kinany, S., Achbani, E., Faggroud, M., Ouahmane, L., El Hilali, R., Haggoud, A., & Bouamri, R. (2019). Effect of organic fertilizer and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated date palm cv. Feggouss. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.01.004>
- García, E. G., & Di Stéfano, J. F. (2000). Temperatura y germinación de las semillas de *Dalbergia retusa* (Papilionaceae), árbol en peligro de extinción. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 43–45. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100005
- Gómez-Falcón, N., Sáenz-Carbonell, L. A., Andrade-Torres, A., Lara-Pérez, L. A., Narváez, M., & Oropeza, C. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi increase the survival and growth of micropropagated coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 59(3), 401–412. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10345-5>
- Hernández García, A., Salgado Garciglia, R., & Ambriz Parra, E. (2016). Propagación de *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae) por estaca: efecto de la concentración de AIB y el tejido de la estaca. *Nova Scientia*, 8(17), 87–96. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200087&lng=es&tlng=es
- Hernández-García, A., Ambriz-Parra, E., López-Albarrán, P., León, J. C. De, & Salgado-Garciglia, R. (2021). *In vitro* propagation from axillary buds of the endangered tree

- Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae). *Plant Biotechnology*, 38(4), 409–414. <https://doi.org/10.5511/PLANTBIOTECHNOLOGY.21.0901A>
- López-Barreto, C. A. (2015). Evaluación de sobrevivencia e incremento de seis especies forestales maderables en plantaciones de la finca Eco forestal, San Juan del Sur, Rivas. (Tesis inédita de Doctorado). Universidad Nacional Agraria, 21. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100005
- Márquez-Torres, J. F., & Martínez-Garza, C. (2022). Supervivencia de 12 especies de árboles nativos en plantaciones de restauración en la selva estacionalmente seca. *Botanical Sciences*, 100(2), 314–330. <https://doi.org/10.17129/botsci.2878>
- Mežaka, I., Kļaviņa, D., Kaļāne, L., & Kronberga, A. (2023). Large-Scale *in vitro* propagation and *ex vitro* adaptation of the endangered medicinal plant *Eryngium maritimum* L. *Horticulturae*, 9(2), 271. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020271>
- Mirdhe, R. M., & Lakshman, H. C. (2009). Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on *Dalbergia sissoo* Roxb. in unsterile soil. *Nat. Environ. Pollut. Technol.*, 8, 781–784. [https://www.neptjournal.com/upload-images/NL-1-28-\(28\)-B-1389.pdf](https://www.neptjournal.com/upload-images/NL-1-28-(28)-B-1389.pdf)
- Mortier, E., Jacquiod, S., Jouve, L., Martin-Laurent, F., Recorbet, G., & Lamotte, O. (2023). Micropropagated walnut dependency on phosphate fertilization and arbuscular mycorrhiza for growth, nutrition and quality differ between rootstocks both after acclimatization and post-acclimatization. *Scientia Horticulturae*, 318, 112081. <https://doi.org/10.1101/2022.11.24.517850>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Niranjan, R., Mohan, V., & Rao, V. M. (2007). Effect of indole acetic acid on the synergistic interactions of *Bradyrhizobium* and *Glomus fasciculatum* on growth, nodulation, and nitrogen fixation of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Arid Land Research and Management*, 21(4), 329–342. <https://doi.org/10.1080/15324980701603573>
- Pandino, G., Lombardo, S., Monaco, A. Lo, Ruta, C., & Mauromicale, G. (2022). Mycorrhizal inoculation improves plant growth and yield of micropropagated early globe artichoke under field conditions. *Agriculture (Switzerland)*, 12(1), 114. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010114>
- Patel, B. K., Wolfe, K. S., Patel, S. B., Dugan, K. C., Esbrook, C. L., Pawlik, A. J., Stulberg, M., Kemple, C., Teele, M., & Zeleny, E. (2023). Effect of early mobilisation on long-term cognitive impairment in critical illness in the USA: a randomised controlled trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, 11(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(22\)00489-1](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(22)00489-1)
- Paz, M. P., Trejo, D. A. R., Morales, A. V., & De la Rosa, M. A. M. B. (2023). Fertilization, plant quality and field survival of *Pinus* spp. in Ixtlán de Juárez, state of Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(76), 71–92. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1324>
- Pérez, J., Mesén, F., Hilje, L., & Aguilar, M. E. (2002). Desarrollo de un método de micropropagación aplicable a genotipos selectos de *Cedrela odorata* L. Optimización de la fase de multiplicación. *Recursos Naturales y Ambiente*, 38, 67-71. <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/263/415>
- Pogorzelec, M., Banach-Albińska, B., Serafin, A., & Szczurowska, A. (2014). Population resources of an endangered species *Salix lapponum* L. in polesie lubelskie region (eastern Poland). *Acta Agrobotanica*, 67(4), 81–86. <https://doi.org/10.5586/aa.2014.043>
- Roveda, R., Peñaranda, A., Ramírez, M., Baquero, I., & Galindo P, R. (2012). Diagnosis of chemical soil fertility of the municipalities of Granada and Sylvania for golden cape gooseberry production in Cundinamarca. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 179–188. <https://repository.agrosavia.co/items/7aedfb41-25f7-4e25-9f97-33c18401ac59>

Recibido:
20/junio/2025

Aceptado:
2/diciembre/2025

- Ruiz, S. S., Ruíz, J. Á. P., Aispuro, E. S., Simental, J. A. C., & Aispuro, R. E. M. (2021). Survival and growth of *Pinus engelmannii* Carr. In a reforestation from mycorrhization and fertilization. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.847>
- Salama, A., Shukla, M. R., Popova, E., Fisk, N. S., Jones, M. P., & Saxena, P. K. (2017). In vitro propagation and reintroduction of golden paintbrush (*Castilleja levisecta*), a critically imperilled plant species. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(3), 762–770. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0207>
- Saravanan, T. S., Rajendran, K., Uma, M., & Chezian, P. (2013). Effects of bioinoculants on quality seedling production and nutrient uptake of *Casuarina equisetifolia* Forst. grown in decomposed coir pith. In *Microbiological Research In Agroecosystem Management* (pp. 141–154). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-1087-0_10
- Sosa Rodríguez, T., Sánchez Nieves, J., Marina Melgarejo, L., Sc, B., Caro Muñoz, M., & Agrónoma, I. (2009). Efecto de la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre plántulas de caucho. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on rubber seedlings. In *Acta biol. Colomb.*, 14(3), 31- 46. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2009000300003
- Vivas-Cedeño, J. S., Roger, Y. L., González-Ramírez, I., & Robles-García, J. O. (2018). Hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de plátano en viveros. *Dominio de Las Ciencias*, 4(3), 3–15. https://www.researchgate.net/publication/326722592_Hongos_micorrizicos_arbusculares_en_el_cultivo_de_platano_en_viveros
- Wang, M., Cheng, Z., Li, G., Wang, J., & Uscola, M. (2023). The tradeoff strategy between growth and survival in *Quercus variabilis* seedlings: determining the most limiting resource in the field drive shoot dieback. *Forestry*, 96(4), 575–587. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac062>
- Watkinson, A. D., Naeth, M. A., & Pruss, S. D. (2022). Nutrient loading *Artemisia cana* seedlings in greenhouse increases nitrogen tissue content and post-outplanting survival. *Restoration Ecology*, 30(5), e13590. <https://doi.org/10.1111/rec.13590>
- Yakhin, O. I., Lubyaynov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>