

GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE *MAGNOLIA GUATAPENSIS* (LOZANO) GOVAERTS (MAGNOLIACEAE): UNA ESPECIE ARBÓREA EN PELIGRO DE EXTINCIÓN DE COLOMBIA

 LEYDI VALENTINA RESTREPO-COSSIO^{1*},  NORBERTO LÓPEZ-ÁLVAREZ²,  MÓNICA MARÍA TABORDA-ARBOLEDA¹
Y  SANDRA BIBIANA MURIEL-RUIZ¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia.

² Jardín Botánico JAUM, Medellín, Colombia.

*Autor de correspondencia: valentinacossio22@gmail.com

Resumen

Antecedentes: Las semillas de *Magnolia guatapensis* presentan dificultades para germinar y las plántulas tienen poco éxito en el desarrollo.

Preguntas: ¿Cuánto tiempo tarda la germinación de semillas de *M. guatapensis*? ¿Existe alguna relación entre la esterilización del sustrato y la germinación? ¿Cuál es el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (AMF) en *M. guatapensis*?

Especies de estudio: *Magnolia guatapensis*

Sitio y años de estudio: Medellín, Colombia. Agosto 2020.

Métodos: Se realizaron análisis de viabilidad de semillas con la prueba de tetrazolio y a través de la germinación. Luego, las plántulas se inocularon con *Glomus* spp, evaluando su crecimiento hasta 240 días de edad. La colonización de raíces de plántulas por HMA se comparó con árboles adultos.

Resultados: Los frutos de *M. guatapensis* midieron 36 mm en promedio y presentaron 12 carpelos con 1 o 2 semillas cada uno. La viabilidad de semillas resultó en 23 % con la prueba de tetrazolio y en 57 % a través de la germinación en suelo esterilizado. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo entre los días 38 y 40. En árboles, se observó 80.2 % de colonización por HMA. En plántulas no se observó colonización, presentaron mayor diámetro del tallo y área foliar cuando se inocularon con *Glomus*.

Conclusiones: Con base en los resultados, la etapa de crecimiento de plántula de *M. guatapensis* es más crítica para la supervivencia de individuos. Se requiere continuar estudiando métodos exitosos de propagación de *M. guatapensis* y simbiosis con microorganismos para contribuir con la conservación de la especie.

Palabras clave: crecimiento, germinación, *Magnolia guatapensis*, plántula, propagación.

Abstract

Background: The seeds of *Magnolia guatapensis* shows difficulties to germinate and the seedlings have a low development rate.

Questions: How long does it take the germination of *M. guatapensis* seeds? Is there a relationship between the substrate sterilization and the germination process? Which is the effect of arbuscular mycorrhizal (AMF) in *M. guatapensis*?

Studied species: *Magnolia guatapensis*

Study site and dates: Medellín, Colombia. August 2020.

Methods: Analyses of the seed's viability were performed with a tetrazolium test and through germination evaluation. Also, the seedling obtained were inoculated with *Glomus* spp, evaluating their growth up to 240 days of germination. The colonization of seedling roots by AMF was compared with to the adult trees.

Results: *Magnolia guatapensis* fruits measured 36 mm on average, they had 12 carpels with 1 or 2 seeds each. The seeds show a viability of 23 % through the tetrazolium test and 57 % measured through germination in sterilized soil. A higher percentage of germination was found between 38 and 40 days. In adult trees, the roots showed up to 80.2 % of colonization by AMF. Colonization in seedlings was not observed, although the seedlings inoculated with *Glomus* showed greater stem diameter and leaf area.

Conclusions: According to the results obtained, the growth stage of the *M. guatapensis* seedling is the most critical for the survival of the individuals. It is necessary to continue studying successful propagation methods of *M. guatapensis* and symbiosis with microorganisms to contribute to the conservation of the species.

Keywords: germination, *Magnolia guatapensis*, plant growth, propagation, seedling

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



La familia Magnoliaceae está compuesta por 350 especies, distribuidas en bosques templados y tropicales de Asia meridional y oriental, y en el continente americano, desde Ontario, Canadá hasta Paraná, Brasil, con mayor riqueza en el Neotrópico (Azuma *et al.* 2001, Vázquez-García *et al.* 2016, Wang *et al.* 2020, Guzmán-Díaz *et al.* 2022). Las Magnoliáceas son apreciadas por la belleza de su follaje, flores y frutos (Gutiérrez-Lozano *et al.* 2021), algunas especies son usadas para el aprovechamiento de la madera en construcción y ebanistería (Arif *et al.* 2021), y por sus usos en la medicina tradicional debido al contenido de compuestos activos en sus hojas y flores (Domínguez-Yescas & Vázquez-García 2019, Mir *et al.* 2019). Se considera una de las familias de temprana divergencia en las Angiospermas, debido a los hallazgos en registros fósiles, a la anatomía de la madera, estructura de su flor y a que su polen presenta una sola abertura para germinar, como las gimnospermas (Shankar 2020). Las flores en la familia Magnoliaceae tienen estambres y pistilos dispuestos en espiral, y se considera que esta disposición es un carácter ancestral de las gimnospermas controlada genéticamente (He *et al.* 2004, Endress 2010) adicionalmente, el gineceo tiene carpelos múltiples a diferencia de la mayoría de las Angiospermas (Hernández-Vera *et al.* 2021). En el neotrópico las flores de las Magnolias se diferencian en forma, tamaño, color, consistencia entre pétalos y sépalos (Gutiérrez-Lozano *et al.* 2021).

La clasificación de las especies en la familia Magnoliaceae es compleja y ha tenido en las últimas tres décadas varios cambios debido a incongruencias filogenéticas observadas al comparar estudios basados en DNA de plastidios y nucleares, afectando la determinación en las relaciones de las especies del Neotrópico y que aún se están conociendo nuevas especies no incluidas en los estudios realizados (Pérez *et al.* 2016, Vázquez-García *et al.* 2017, Wang *et al.* 2020, Dong *et al.* 2021, Guzmán-Díaz *et al.* 2022). A partir de secuenciaciones de genomas de cloroplastos se ha propuesto que el género *Magnolia* L. tiene quince clados: El primero comprende *Talauma* Juss. + sec. *Gwillimia* Rottler ex DC. (este último ausente del continente americano); el segundo clado, a su vez, se divide en tres subclados: A (sec. *Gynopodium* Dandy, *Kmeria* Dandy, *Michelia* L. y *Yulania* Spach), B (*Magnolia*, *Manglietia* Blume y sec. *Rytidospermum* Spach) y C (sec. *Auriculata* Figlar & Noot. y sec. *Macrophylla* Figlar & Noot.) (Baillon 1868, Wang *et al.* 2020, Guzmán-Díaz *et al.* 2022). Actualmente, varios autores reconocen cuatro secciones del género *Magnolia* para el Neotrópico: *Magnolia* sec. *Macrophylla*, sec. *Magnolia*, sec. *Splendentes* Dandy ex A. Vázquez y sec. *Talauma* Baill. (Vázquez-G 1994, Figlar & Nootboom 2004, Wang *et al.* 2020, Dong *et al.* 2021, Guzmán-Díaz *et al.* 2022.).

Actualmente, en Colombia se tienen registradas 32 especies endémicas del género *Magnolia* (Calderón *et al.* 2007, Bernal *et al.* 2019, Cogollo-Pacheco *et al.* 2019). Estas especies se distribuyen desde 0 m snm hasta 3,400 m snm; un 39 % se encuentran entre 0 a los 1,000 m snm, un 33 % entre 1,000 a 2,000 m snm y un 28 % entre 2,000 y 3,400 m snm, algunas de ellas tienen una distribución más amplia en el país (Aguilar-Cano *et al.* 2018, Rodríguez-Duque *et al.* 2022, BGCI 2022).

Magnolia guatapensis (Lozano) Govaerts, es una especie arbórea endémica del departamento de Antioquia, categorizada en peligro de extinción (EN) (Calderón *et al.* 2007). El primer registro de la especie ocurrió en el municipio de Guatapé, oriente del departamento de Antioquia; el epíteto específico se dedicó al municipio donde fue descubierta y en agosto de 2017 se reglamentó que *M. guatapensis* sería el árbol insignia del municipio (Alcaldía de Guatapé 2017). En 2020, la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare -Cornare-, declaró la prohibición de aprovechamiento de *M. guatapensis* en su jurisdicción (Cornare 2020). De acuerdo con los datos disponibles en el Sistema de información Biológica (SIB), el Libro Rojo de Plantas de Colombia de Magnoliaceae (Calderón *et al.* 2007) y las colecciones disponibles de los herbarios JAUM y HUA, *M. guatapensis* muestran una distribución restringida a la cordillera central en el oriente y norte del Departamento, entre los 1,700 y 2,500 m snm, encontrándose poblaciones con bajo número de individuos.

Actualmente, solo se tiene registro de su ocurrencia *in situ* en el municipio de Yarumal, Antioquia-Colombia, en bosques de montaña bien conservados, en la reserva privada Los Magnolios, de la Corporación Salvamontes (C.M. Mazo, comunicación personal, 1 de febrero de 2022). De estos individuos, se seleccionaron algunos como fuentes semilleros para el presente estudio. *M. guatapensis* es un árbol monopódico alcanza 25 a 35 metros de altura y 70 cm de diámetro del tallo (Calderón *et al.* 2007). Sobre la ecología reproductiva de la especie, Gómez-Restrepo (2011)

observó que durante todo el año hay botones florales y la mayor floración se da al inicio del periodo lluvioso, entre abril y mayo. Los frutos se dan cinco a seis meses después de la floración; la recolección de estos se concentra en los meses de agosto y septiembre (Gómez-Restrepo 2011). Las semillas de *M. guatapensis* poseen una sarcotesta de color rojo y aceitosa, son dispersadas principalmente por aves.

Las semillas del género *Magnolia* presentan latencia morfológica, fisiológica, física, química y mecánica (Han *et al.* 2010, Iralu & Upadhaya 2016, Jacobo-Pereira *et al.* 2016). Para las especies de Colombia no se han descrito los tipos de latencia, lo que puede ser limitante para la propagación sexual, con fines de conservación (Riaño-Peña & Cuellar-Plazas 2019). El conocimiento de *M. guatapensis* es limitado, especialmente sobre los factores relacionados con el tamaño poblacional, áreas de distribución, interacciones bióticas, métodos de propagación, características intrínsecas de la semilla y los principales factores de amenaza como pueden ser la pérdida de ecosistemas de montaña y depredación de semillas por insectos plaga y aves, entre otros.

De acuerdo con estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia -Corantioquia-, durante 2001-2011, especies de la subsección *Splendentes* antes-*Dugandiodendron*- (*Magnolia* sec. *Talauma*) inician la germinación a los 40-50 días, en este trabajo, se indica que el porcentaje de germinación de *M. guatapensis* varió entre 25 y 73 % y que la velocidad de germinación se vio negativamente afectada por la hidratación de las semillas durante 17 horas previas a la siembra. Para lograr una mayor germinación de semillas de *M. guatapensis* se recomienda quitar la sarcotesta y hacer una desinfección con hipoclorito al 1 %, durante 15 minutos (Gómez-Restrepo 2011).

Se han realizado varios estudios de tratamientos pre-germinativos con especies de Magnolias (Saldaña-Acosta *et al.* 2001, Corral-Aguirre & Sánchez-Velázquez 2005, Vázquez-Morales & Sánchez-Velázquez 2011, Jacobo-Pereira *et al.* 2016). Algunos de ellos han evaluado la remoción de la sarcotesta, obteniendo diferentes porcentajes de germinación: 40 % en *Magnolia iltisiana* A. Vázquez (Saldaña-Acosta *et al.* 2001), 100 % en semillas de *Magnolia dealbata*. Zucc., con imbibición a temperatura ambiente (18-20 °C) (Corral-Aguirre & Sánchez-Velázquez 2005) y 52 % en *M. pugana* (Iltis & A. Vázquez) A. Vázquez & Carvajal (Jacobo-Pereira *et al.* 2016). Otro tratamiento evaluado ha sido la escarificación de las semillas, por ejemplo, en *M. schiedeana* Schldtl, se obtuvo una germinación del 84 %, con escarificación e incubación entre 4-10 °C por 13 días (Vázquez-Morales & Sánchez-Velázquez 2011). En *M. perezfarrerae* A. Vázquez Gómez-Domínguez se obtuvo un 64 % de germinación y en *M. sharpii* Miranda un 73 % (Vázquez-Morales & Ramírez-Marcial 2018) en tratamientos de escarificación, complementados con inmersión en una solución de peróxido de hidrogeno y agua purificada, evaluando diferentes tiempos.

Por otro lado, un estudio de magnolias de los Andes en peligro de extinción registró colonización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en *Magnolia jardinensis* M.Serna, C.Velázquez & Cogollo y *M. yarumalensis* (Lozano) Govaerts, concluyendo que estos microorganismos son clave en la supervivencia de las plantas. Estos autores identificaron los géneros de HMA *Albohypha*, *Ambispora*, *Glomus*, *Instraspora*, *Kuklospora*, *Scutellospora* y *Viscospora* asociados a las especies estudiadas (Serna-González *et al.* 2019), estas especies tienen relación con *M. guatapensis*, ya que habitan bosques andinos bien conservados del departamento de Antioquia, a excepción de *M. yarumalensis* que se le encuentra en otros municipios de Colombia, a pesar de ocupar diferentes secciones distintas a *M. guatapensis*. El objetivo principal de este estudio es describir la duración de la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de *M. guatapensis* en condiciones de vivero en el Jardín Botánico “Joaquín Antonio Uribe” -JAUM- y comparar la colonización de plántulas y árboles adultos por HMA.

Materiales y métodos

Origen del material vegetal. Los árboles parentales de *M. guatapensis* se encontraron en el municipio de Yarumal, norte del departamento de Antioquia a 2,265 m snm (7° 04' 20.01" N, 75° 26' 45.31" O; [Figura 1](#)), con una temperatura media de 14 °C y una precipitación media anual de 4,000 mm, correspondiente a un ecosistema de bosque pluvial montano bajo (bp-MB) (Idárraga-Piedrahita *et al.* 2011). El criterio de selección para los árboles parentales se definió al evaluar el total de la población (96 individuos), aquellos que se encontraban en etapa reproductiva (fructificación).

A continuación, se describen las evaluaciones realizadas en las etapas de fruto, semilla y plántula.

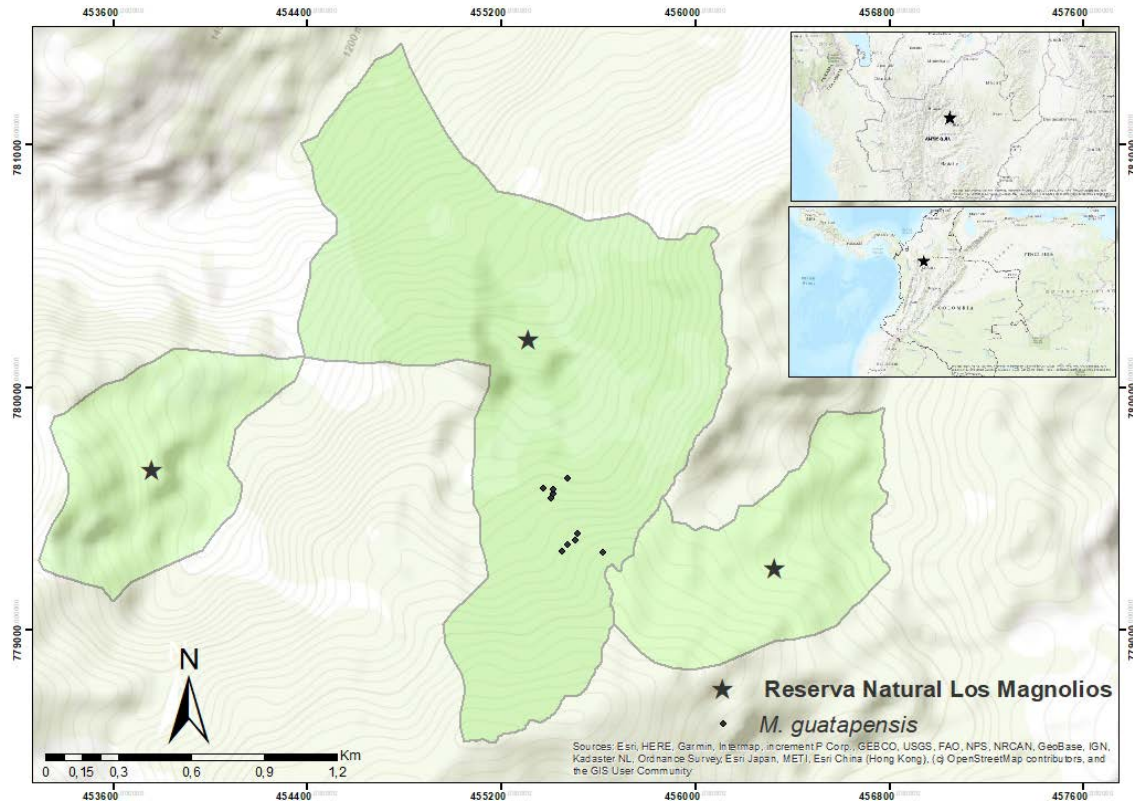


Figura 1. Localización de los árboles parentales de *Magnolia guatapensis* en la reserva Los Magnolios-Corporación Salvamontes, Yarumal-Antioquia, Colombia.

Fruto.- Se colectaron ocho frutos cerrados en agosto de 2020, se dejaron expuestos a temperatura ambiente (22 °C) hasta que completaron su dehiscencia natural, transcurridos ocho días, las semillas y el forúnculo se retiraron del carpelo, se removió la sarcotesta de forma manual. Se midieron las siguientes variables: longitud y ancho de frutos (mm), peso fresco (g), peso seco del pericarpio (g), número de carpelos por fruto, longitud y ancho de los carpelos (mm), número de semillas por carpelo, número total de semillas por fruto, peso fresco del conjunto carpelar (mm), longitud del receptáculo (mm), peso fresco del receptáculo (g). Se hizo una descripción de los frutos, con los datos promedio de los mismos. Todas las mediciones se hicieron con balanza analítica (AXIS, ACN220G) y pie de rey digital (Digital Caliber, Stainless hardened 150mm 6" fracción).

Semillas.- Se obtuvieron 450 semillas, las cuales se clasificaron según el estado de desarrollo en: semilla madura, inmadura, perforada. Se consideró semilla madura, aquella con la sarcotesta totalmente formada y de coloración uniforme, semilla inmadura aquella de color negro en sarcotesta y testa, así como un tamaño reducido (< 3.0 mm) y semilla perforada o dañada, aquella que tenía lesiones notables por depredación. Se realizó el registro fotográfico de insectos asociados a estos daños. En las semillas se midió: peso de semillas (g), color, ancho y largo de la semilla (mm). Las semillas en buen estado se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 10 % por tres minutos y se enjuagaron con agua destilada. Se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron en nevera a 16 °C hasta que fueron usadas en la investigación, con un tiempo máximo de 15 días. Las mediciones se hicieron con balanza analítica (AXIS, ACN220G) y pie de rey digital (Digital Caliber, Stainless hardened 150 mm 6" fracción).

Prueba de viabilidad con tetrazolio al 1 % (Jacobso-Pereira *et al.* 2016).- Se tomaron 60 semillas separadas por el color de la testa, 15 de coloración clara y 45 de coloración oscura. Las semillas fueron cortadas trasversalmente y

sumergidas en la solución de tetrazolio al 1 %, durante 48 horas a 30 °C en oscuridad. Los embriones que se colorearon de rojo intenso se consideraron viables y los que no adquirieron ninguna coloración se consideraron no viables. La viabilidad de las semillas (% V) se calculó con la ecuación reportada en Jacobo-Pereira *et al.* (2016) como:

$$\% V = \frac{\text{semillas coloreadas}}{\text{total de semillas}} \times 100$$

Prueba de germinación de semillas (González-Zertuche & Orozco-Segovia 1996).- Se realizaron ensayos de germinación con 320 semillas, se aplicaron dos tratamientos en el vivero del Jardín Botánico -JAUM-, y se hizo seguimiento durante 90 días. El sustrato utilizado consistió en una mezcla de tierra y arena, adquiridas en el vivero de JAUM, en proporción 2:1. Las semillas se dividieron en dos tratamientos (T1 suelo estéril, con 160 semillas) y (T2 suelo sin esterilizar, con 160 semillas), en donde la esterilización del suelo se realizó en caldera por 8 h, a 70 °C. A las semillas se les removió la sarcotesta para romper la latencia física y posteriormente estas se dispusieron en bandejas plásticas negras de germinación de 30 × 50 cm. Se consideró germinación cuando hubo emisión de la radícula del embrión (Gallardo-Yobal *et al.* 2022) o al observar el hipocótilo (Bewley & Black 1994). Con los datos obtenidos se calculó: porcentaje de germinación, porcentaje de germinación acumulada e índice de velocidad de germinación (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones para la estimación de germinación y velocidad germinación en semillas de *M. guatapensis*.

Variable	Ecuación	Fuente
Porcentaje de germinación	$\%G = \frac{\text{semilla germinadas}}{\text{semilla sembradas}} \times 100$	González-Zertuche & Orozco-Segovia 1996).
Porcentaje de germinación acumulada	$GA = \frac{\sum \text{semillas germinadas}}{\text{días}} \times 100$	González-Zertuche & Orozco-Segovia 1996).
Índice de velocidad de germinación	$VG = \frac{\% \text{degerminación}}{\text{días transcurridos primera fecha}} + \dots + \frac{\% \text{germinación última fecha}}{\text{días transcurridos última fecha}}$	(Maguire 1962) modificada por (Pire & Vargas-Simón 2019).

Capacidad de imbibición de las semillas.- Se tomaron 30 semillas seleccionadas al azar, se determinó el peso inicial, posteriormente se sumergieron en agua durante 48 horas, luego se determinó de nuevo su peso y se consideró que la diferencia entre el peso final y el peso inicial correspondía al agua absorbida.

Crecimiento de plántula.- Se seleccionaron 73 plántulas de *M. guatapensis* de 90 días de vida que desarrollaron 1 a 2 hojas verdaderas, se trasplantaron a bolsas de vivero de 15 × 30 cm y se evaluó el efecto de la aplicación de *Glomus* spp. en el crecimiento de la plántula, a través de dos tratamientos: T1 con 37 plántulas que se inocularon con: 40 g de inóculo comercial de *Glomus* spp., que tenía 402 esporas g-1 (Inóculo suministrado por Biofertilizar, nombre comercial) y T2 con 36 plántulas sin aplicación de inóculo comercial. Para los ensayos se utilizó un sustrato compuesto por una mezcla de tierra estéril y arena estéril en proporción 2:1, este fue esterilizado de igual forma que el sustrato usado para pruebas de germinación. Durante 240 días (de febrero a septiembre de 2021), se tomaron medidas semanales de altura de tallo (cm), diámetro de tallo (cm) y el ancho y largo de las hojas (cm). Estas medidas se tomaron semanalmente con un pie de rey digital (Digital Caliber, Stainless hardened 150 mm 6" fracción).

Área foliar.- El área foliar (AF) se estimó, siguiendo la metodología de Álvarez *et al.* (2012), a partir del hallazgo del modelo lineal más adecuado. Para hallar la ecuación se seleccionaron 10 plantas de cada tratamiento y se midieron 30 ho-

jas en ancho y largo, con el programa ImageJ, en el que, cada hoja se ubicaba sobre una superficie blanca y con un pie de rey digital (Digital Caliber, Stainless hardened 150 mm 6" fracción) se tomaba una imagen con cámara digital (CANON DC 7.4V), posterior a esto se ingresaban las imágenes al programa ImageJ, para hallar el área foliar de cada una.

Con el largo y ancho de la hoja se aplicó la siguiente ecuación:

$$\ln(AF) = c + \infty \ln(L \times A)$$

AF: área foliar; c: constante; L: largo de la hoja; A: ancho de la hoja.

Para evaluar la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas se hizo un diseño experimental completamente al azar con un factor. En la [Tabla 3](#), se describen los factores, variables independientes evaluadas y los análisis estadísticos realizados.

Colonización con hongos micorrízicos.- Para el análisis de colonización se colectaron raíces finas de siete plántulas de *M. guatapensis* de once meses de edad del tratamiento (T1) y siete plántulas del tratamiento (T2). Estas se lavaron con agua destilada y se escogieron con ayuda del estereoscopio (Nikon, C-LED), se sumergieron en KOH al 10 % durante 48 horas para aclarar el tejido. Posteriormente las raíces se sumergieron en hipoclorito de sodio al 1 % durante 20 minutos y en Azul de Tripán al 0.05 % para colorear hifas, vesículas y arbusculos de HMA en las raíces (Koske & Gemma 1989).

El porcentaje de colonización se determinó mediante el método de intersecciones de portaobjetos (McGonigle *et al.* 1990). En una caja de Petri se colocaron las raíces finas previamente teñidas y se cortaron fragmentos de 1.5 a 2 cm de largo. Posteriormente se tomaron cinco fragmentos de 1.0 cm al azar y se montaron en portaobjetos con PVLG (Polivinil-lacto-glicerol) como medio, haciendo una presión suave o squash, los fragmentos de raíces se ubicaron de forma paralela con respecto al eje horizontal del portaobjetos y se observaron con un aumento de 40x. en microscopio (Nikon Elipse E200). Se examinaron 100 intersecciones contando hifas, vesículas y arbusculos. Los campos colonizados se definieron por la presencia de estructuras intracelulares e intercelulares. El porcentaje de colonización se determinó mediante la siguiente fórmula (según McGonigle *et al.* 1990):

$$\% C = \frac{\text{Campos asociados}}{\text{Campos observados}} \times 100$$

Para comparar los resultados de las plántulas se repitió este procedimiento a partir de la muestra de la rizosfera de cinco árboles adultos presentes en la Reserva Los Magnolios, en Yarumal-Antioquia. Para ello, se seleccionaron las raíces más finas, las cuales se ubicaron en tubos de ensayo con KOH al 15 %, previamente calentado al baño María. Los tubos de ensayos se sumergieron al baño María por periodos de cinco minutos y una vez transcurrido el tiempo, las raíces se observaron al estereoscopio (Nikon, C-LED). Para estas muestras se realizaron ocho cambios de KOH al 15 %. Posteriormente las muestras se sometieron a peróxido de hidrogeno (H₂O₂) por periodos de tiempo cortos (1-2 minutos). Para la etapa de blanqueamiento y acidificación, las muestras se cubrieron con HCL al 5 % (1 min) y 2 % (1,5 minutos). Los demás pasos fueron iguales a los descritos para las plántulas.

Análisis estadísticos. Se realizaron análisis de varianza para las respuestas cuantitativas y análisis de regresión logística, para las respuestas dicotómicas. Se utilizó el software R v. 4.3.1 (R Core Team 2023) para Windows, para obtener los resultados. En la [Tabla 3](#) se resumen los análisis realizados en cada proceso evaluado.

Resultados

Fruto. El fruto de *Magnolia guatapensis* presenta una forma elipsoide ([Figura 2A](#)), mide entre 21.18 a 50.82 mm de largo y 8.50 a 35.56 de ancho ([Figura 2B](#)), con un peso fresco de 8.91 a 21.87 g, presenta de 10 a 14 carpelos de 16.35 a 36.66

Seed germination and seedling development of *Magnolia guatapensis*

mm de largo y 8.00 a 26.69 mm de ancho, con un peso del conjunto carpelar de 3.39 a 15.37 g, presenta un receptáculo de 26.76 a 53.08 mm y 0.57 a 1.46 g de peso (Figura 2C). En cada carpelo se encontraron 1-2 semillas (Tabla 2). Se ha encontrado con flores en febrero y marzo y la producción de frutos se registró entre los meses de julio y septiembre.

Tabla 2. Caracterización del fruto y semilla de *M. guatapensis*.

Sección	Característica	Rango	Promedio	Desviación estándar
Fruto	Longitud (mm)	21.18-50.82	34.06	13.10
	Ancho (mm)	8.50-35.56	17.89	11.40
	Peso fresco (g)	8.91-21.87	10.52	7.72
	Peso seco del pericarpio (g)	3.06-7.82	5.73	1.65
	Número carpelos por fruto	10-14	11.37	1.40
	Longitud carpelos (mm)	16.35-36.66	22.21	6.51
	Ancho carpelos (mm)	8.00-26.69	14.02	5.77
	Peso fresco conjunto carpelos (g)	3.39-15.37	10.29	3.94
	Longitud receptáculo (mm)	26.76-53.08	34.03	6.16
	Peso fresco receptáculo (g)	0.57-1.46	0.99	0.32
Semilla	Número total de semillas	14-22	20.5	0.32
	Peso de semilla (g)	0.12-0.74	0.43	0.34

Tabla 3. Análisis estadísticos realizados con semillas y plántulas de *Magnolia guatapensis*

Proceso evaluado	Factor	Variable respuesta	N	Análisis estadístico	Resultado	F	Pr (> F)
En semilla	Color de la semilla	Viabilidad	60	Regresión simple	Diferencia significativa	10.86	0.0017
	Imbibición	Diferencia en peso semilla	60	Regresión logística	Diferencia no significativa	0.34	0.56
	Sobrevivencia	Sobrevivencia	320	Regresión logística	Diferencia no significativa	0.77	0.44
Germinación de semilla	Días de germinación	Días de germinación	320	Anova	Diferencia altamente significativa	49.91	0.00
	Velocidad de germinación	Velocidad de germinación	320	Anova	Diferencia no significativa	1.58	0.23
Crecimiento plántula	Aplicación <i>Glomus</i>	Incremento en altura	73	Anova	Diferencia altamente significativa	28.47	0.00
	Aplicación <i>Glomus</i>	Diametro tallo	73	Anova	Diferencia altamente significativa	20.46	0.00
	Aplicación <i>Glomus</i>	Área Foliar	73	Anova	Diferencia altamente significativa	10.52	0.00

Semilla. La semilla de *M. guatapensis* es cordiforme, mide entre 15.24 a 20.14 mm de ancho y 14.75 a 21.75 mm de largo, con un peso entre 0.12 a 0.74 g. (Figura 2D). De 164 semillas colectadas en ocho frutos, el 50 % de las semillas estaban sanas, el 30 % perforadas y el 20 % de las semillas eran inmaduras. El color de las semillas sin sarcotesta varió entre café y beige (Figura 2E).

Viabilidad. La viabilidad media de las semillas de *M. guatapensis* fue del 23 %, de acuerdo a la prueba con tetrazolio. Sin embargo, según un análisis de regresión simple, se encontraron diferencias en la viabilidad según el color de la sarcotesta de la semilla ($P = 0.0001$; Tabla 3), de modo que las semillas de sarcotesta clara o beige presentaron una viabilidad de 53 % y las de color oscuro-café de 13 % (Figura 2F).

Germinación de semillas. La germinación inició a los 25 días, el pico máximo de germinación fue a los 38 días y finalizó a los 89 días (Figura 3A) *M. guatapensis* presenta germinación epigea (Figura 2G), el embrión tiene dos cotiledones foliáceos, y midieron 19.09 mm de ancho por 18.48 mm de largo en promedio. El hipocótilo es de color rojizo y la raíz permanece confinada en el área del micrópilo (Figura 2H).

La germinación de semillas de *M. guatapensis* fue mayor cuando el suelo fue esterilizado (57 %), comparado con la germinación en suelo sin esterilizar (24 %) ($F = 51.45$, $P = 0.0001$; Tabla 3). En el suelo esterilizado se obtuvo la mayor germinación al día 38, en que germinó el 33 % del total de semillas bajo ese tratamiento. En suelo sin esterilizar no hubo una máxima de germinación, el comportamiento de este fue similar entre los 50 y 65 días después de la siembra, sin superar un 6 % de germinación por fecha. La germinación acumulada máxima se obtuvo a los 65 días en ambos tratamientos, sin embargo, esta fue mayor en el tratamiento de suelo esterilizado (Figura 3B).

Capacidad de imbibición de las semillas. La capacidad de imbibición según la coloración de la semilla no presentó diferencias significativas ($P = 0.815$). La velocidad de germinación fue mayor en el tratamiento de suelo estéril (16.1 %) que en el suelo sin esterilizar (10.5 %). En tratamiento con suelo esterilizado se obtuvo el mayor valor a los 55 días, mientras que en suelo sin esterilizar se obtuvo a los 65 días (Figura 3B).

Crecimiento de plántulas. Durante 240 días, las plántulas crecieron hasta 8.15 cm y desarrollaron hasta 8 hojas (Figura 2I). Las plántulas sin aplicación de *Glomus* spp. presentaron una mayor altura de 5.65 cm, de aquellas con aplicación del HMA que presentaron una altura de 5.38 cm ($F = 28.4$, $P = 0.00$; Tabla 3, Figura 2J). El diámetro de tallo de las plántulas con aplicación de *Glomus* spp fue mayor 0.19 cm que aquellas a las cuales no se aplicó 0.18 cm ($F = 20.4$, $P = 0.00$; Tabla 3). Para el área foliar, la ecuación lineal hallada con los datos fue:

$$\ln Y = \ln(1.1716 x - 0.9143 y); R2 = 0.91$$

Esta ecuación tuvo un alto porcentaje de predictibilidad (91 %), lo cual se consideró suficiente para la determinación del área foliar. Las plántulas con aplicación de *Glomus* spp. tuvieron mayor AF que las plántulas sin el hongo ($F = 10.52$, $P = 0.01$, Tabla 3, Figura 4A). En síntesis, sobre el crecimiento de las plántulas de *M. guatapensis*, la altura fue mayor en el tratamiento sin aplicación de *Glomus* spp, pero el diámetro del tallo y área foliar fue mayor en el tratamiento con aplicación de *Glomus* spp (Figura 4B).

En las plántulas no se registró colonización de HMA, ni siquiera en aquellas a las cuales se les adicionó *Glomus* spp (Figura 4C). En contraste, en las raíces provenientes de los árboles adultos (Figura 4D) se observaron abundantes estructuras de HMA asociados a las raíces de *M. guatapensis*, de modo se encontró 80.2 % de colonización (Figura 4E), fueron observadas hifas, arbusculos y vesículas (Figura 4F).

Las semillas fueron atacadas por el hongo *Fusarium* sp. y por larvas del género *Siaria* sp.; en las plántulas se identificaron como agentes patógenos *Colletotrichum* sp. y *Oidium* spp. a nivel foliar.

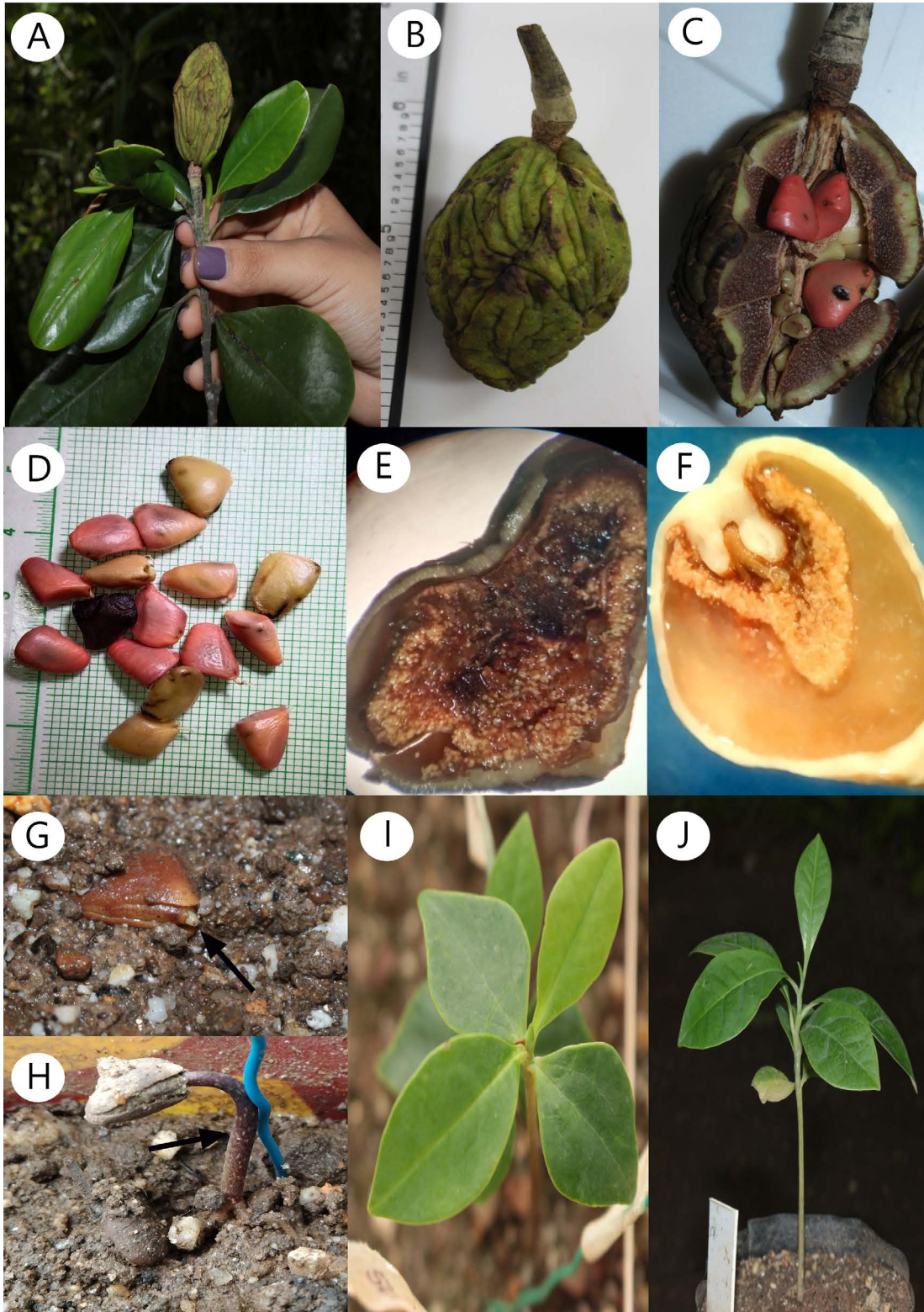


Figura 2. Características del fruto, la semilla y la plántula de *Magnolia guatapensis*. A) Fruto cerrado. B) Detalles en carpelos. C) Semillas. D) Detalles en semilla. E) Corte longitudinal en semilla de testa oscura. F) Corte longitudinal en semillas de testa clara. G) Germinación de semilla. H) Emisión de hipocótilo. I) Características en cotiledones, primordio foliar y hoja verdadera. J) Planta juvenil de *M. guatapensis*

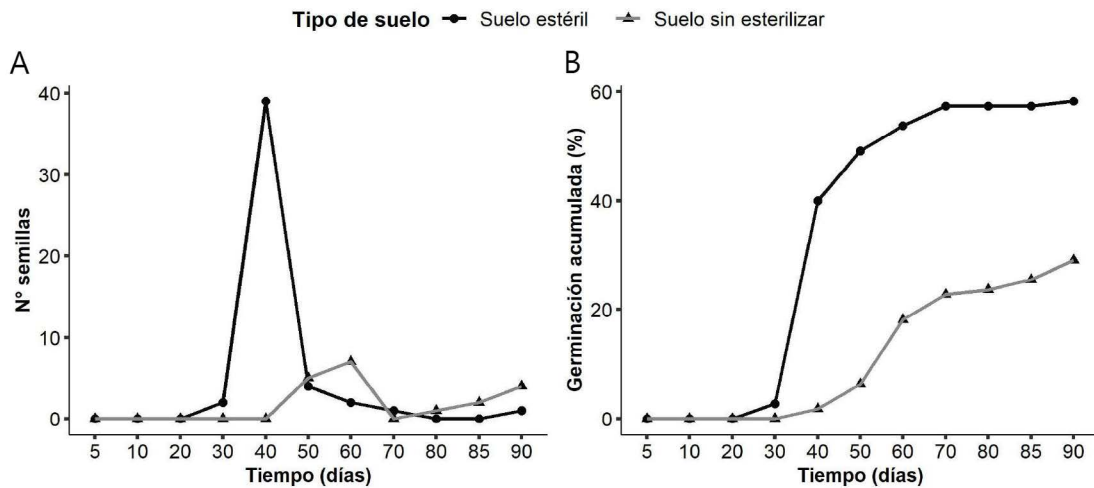


Figura 3. Germinación de semillas de *Magnolia guatapensis*. A. Porcentaje de germinación, B. Germinación acumulada.

Discusión

Los frutos de *Magnolia guatapensis* son más pequeños que *M. polyhypsophylla* (Lozano) Govaerts y comparte rasgos morfológicos con *M. coronata* M. Serna, Velásquez, César A. & Cogollo, como la forma elipsoide, número de carpelos que varía entre 9 a 11, además de contener 1 a 2 semillas por carpelo (Serna *et al.* 2009). Las semillas de *M. guatapensis* son particularmente atípicas, ya que presentan un endospermo proporcionalmente reducido y una estructura a manera de hueso, en comparación con lo descrito para especies como *M. sínica* (Y.W. Law) Noot., de origen asiático, que tiene una endotesta café, endospermo abundante y embrión subdesarrollado (Lin *et al.* 2022).

La viabilidad medida a través de la prueba de tetrazolio fue de 23 % y a través de ensayos de germinación en suelo esterilizado fue de 57 %. Estas diferencias sugieren que se debe ajustar la prueba del tetrazolio para *Magnolia guatapensis*, ya que esta es una medida indirecta de la viabilidad basada en la actividad metabólica del tejido vivo de la semilla (Mackay 1972) y las especies tienen diferentes respuestas según el tiempo de inmersión en la sustancia, la concentración del compuesto y la temperatura (Milošević *et al.* 2010). En otras especies de *Magnolia* se ha descrito que sus semillas poseen latencia física, como en *M. punduana* (Hook. f. & Thomson) (Iralu & Upadhaya 2016). La viabilidad de la semilla en *M. guatapensis* es menor a la registrada en otras especies como *M. perezfarrerae* A. Vázquez & Gómez-Domínguez sec. *Talauma* y *M. sharpii* Miranda sec. *Magnolia*, que mostraron un 92 y 87.5 % de viabilidad respectivamente, ambas especies de México, categorizadas en peligro de extinción (EN) (Vásquez-Morales & Ramírez-Marcial 2019). *M. pugana*, por su parte, presentó una viabilidad de 67 % y *M. iltisiana*, un 80 % (Saldaña-Acosta *et al.* 2001, Jacobo-Pereira *et al.* 2016). La baja viabilidad de las semillas de *M. guatapensis* incide en el desarrollo exitoso de los individuos y en consecuencia mayor dificultad para el establecimiento de plántulas en su hábitat natural ya que, al tener semillas de alto vigor, se aseguran poblaciones de plantas adecuadas en diferentes condiciones de campo (TeKrony & Egli 1991). La diferencia observada en la viabilidad y su relación con la coloración de la testa de las semillas constituye un dato interesante para trabajos de propagación de *M. guatapensis*, ya que sugiere que aquellas de color beige tienen un mayor potencial para germinar. Del Tredici (1981) en *M. virginiana* L. describió que, una vez retirada la sarcotesta, se observaron diferentes colores de la testa, variando entre oscura, clara y moteada. Sin embargo, no relacionó esta descripción con la viabilidad de la semilla.

La germinación de *M. guatapensis* es epigea e inicia a los 25 días, el mayor porcentaje de germinación se obtiene entre el día 38 y el día 40. El tratamiento con mayor germinación se dio en suelo estéril, el incremento de la germinación podría deberse a que en suelos estériles los microorganismos que pueden suprimir la germinación como por ejemplo *Fusarium* sp, no estarían presentes (Balshor *et al.* 2017, Eldridge *et al.* 2021). Algunas semillas que germi-

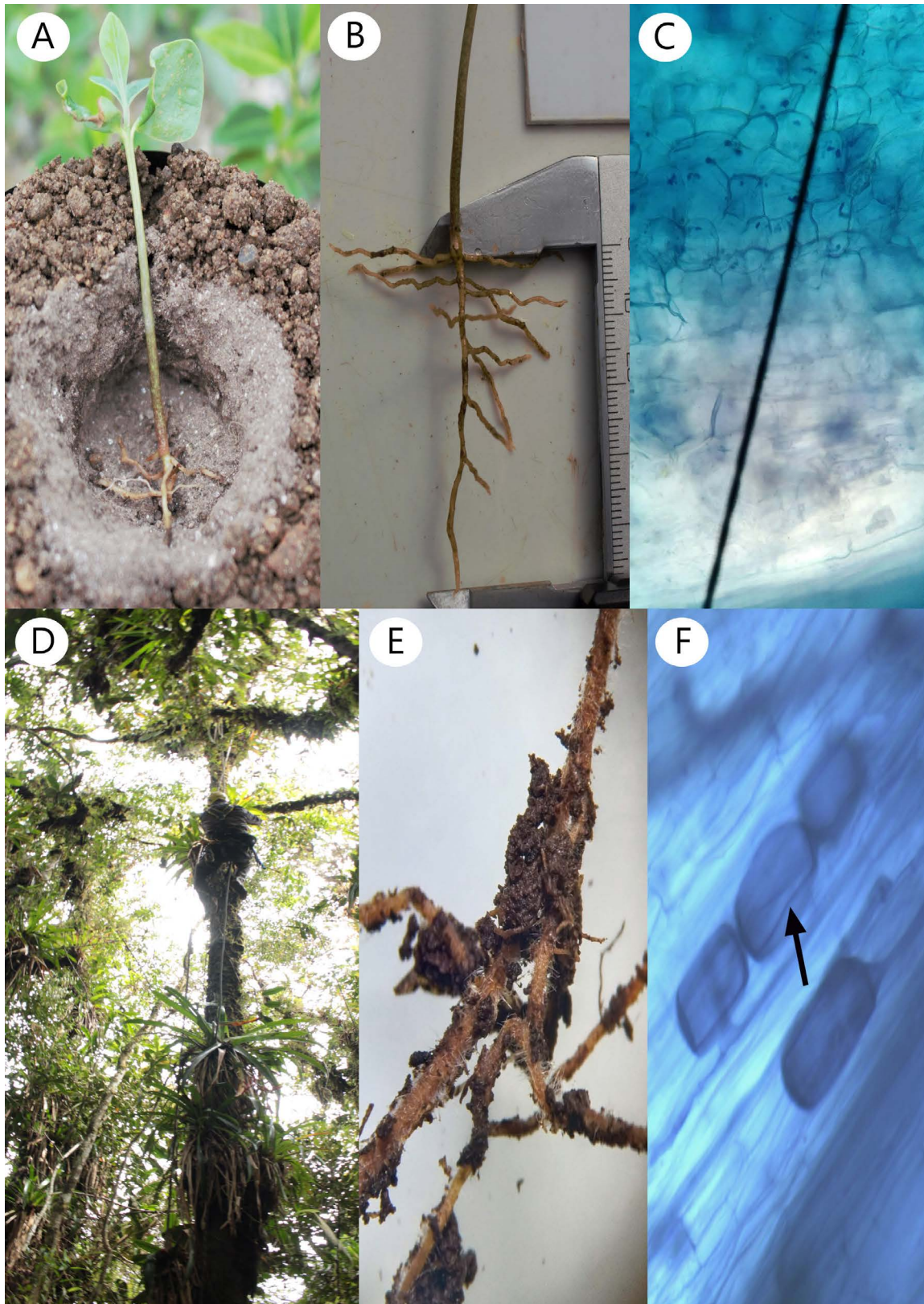


Figura 4. Plántulas y árboles parentales de *Magnolia guatapensis*. A) plántula inoculada con *Glomus* spp. comercial, B) Característica de la raíz, C) coloración en tejido radicular, D) árboles parentales en Reserva Los Magnolios, E) raíz de árbol parental y F) vesículas en raíz de árbol parental.

narón al final del periodo de observación tuvieron un bajo vigor, medido a través del crecimiento de la plántula. Este resultado es similar a lo hallado en otros trabajos, donde las plántulas provenientes de semillas que germinaron más rápido presentaron un mejor desarrollo, lo que favorece la supervivencia en el tiempo (González-Zertuche & Orozco-Segovia 1996). La capacidad para germinar y emerger rápidamente es una característica del vigor de la semilla, el cual es considerado un rasgo complejo que incluye la capacidad de la semilla para germinar y de las plántulas para crecer normal y uniformemente (Reed *et al.* 2022, Eren *et al.* 2023).

Se evidenció la presencia de HMA en un 80.2 % de colonización en las raíces de árboles adultos. Esto contrastó con lo hallado en las plántulas de once meses a las cuales se les había adicionado *Glomus* spp. Aunque las plántulas presentaron mayor diámetro del tallo y mayor área foliar, estas diferencias no pueden relacionarse con la colonización de raíces por HMA. Sin embargo, la tasa de crecimiento de especies leñosas puede estar relacionada entre otros aspectos como la distribución de biomasa a las hojas en un momento determinado, además de la biomasa inicial, que viene determinada en los primeros estadios por el peso de la semilla (Villar-Montero *et al.* 2008). El establecimiento de una colonización exitosa de raíces inicia con señales bioquímicas entre simbiontes, que incluye la regulación de los mecanismos defensivos de la planta (Rodríguez 2013). Existen además otros componentes relevantes para la comprensión de la infección por HMA en raíces de plantas leñosas como el tipo de suelo y la profundidad, la temperatura y la vegetación (Levisohn 1957). El proceso de colonización puede requerir un tiempo, que puede tardar hasta dos años, el cual varía según las especies involucradas y la efectividad del inoculo (Camarena-Gutiérrez 2012, López-Ráez *et al.* 2012). Para hacer seguimiento a la dinámica del proceso de micorrización se usa un estudio destructivo de raíces en periodos de tiempo, que permita evaluar la actividad enzimática de las raíces (Pérez *et al.* 2015) y la presencia de hifas, vesículas y arbusculos.

Este trabajo demostró que las primeras etapas de *M. guatapensis* son críticas para la supervivencia de los individuos, lo cual se infiere de una viabilidad baja de la semilla y un vigor bajo de las plántulas en crecimiento. Las plántulas presentaron dificultad para tolerar factores ambientales adversos relacionados con el ataque de patógenos y dificultad para establecer relaciones con *Glomus* spp. no nativo. La inoculación con HMA nativos se sugiere como una alternativa que debe ser evaluada, así como la comparación con las relaciones simbióticas que establecen las plántulas que se encuentran en su hábitat natural, ya que la comprensión del proceso de establecimiento de la simbiosis es fundamental para la propagación exitosa de la especie.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses financieros, personales ni en cuanto a la presentación de la información y resultados de este artículo.

Agradecimientos

A la Fundación South Pole, JAUM, Corporación Salvamontes, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Bioquigen, amigos y todas aquellas personas que fueron parte de esta investigación. Agradecimientos a los revisores y editor de la sección por contribuir con la calidad del manuscrito.

Literatura citada

Aguilar-Cano J, Mendoza-Cifuentes H, Ayala-Joya M. 2018. Dos nuevas especies de árboles molinillo (*Magnolia*: Magnoliaceae) de la Serranía de los Yariguíes, departamento de Santander, Colombia. *Biota Colombiana* **19**: 29-44. DOI: <https://doi.org/10.21068/c2018.v19s1a04>

Alcaldía de Guatapé. 2017. Acuerdo 12 de 2017. “Por medio del cual se adopta el *Magnolia guatapensis* (Almanegra) como árbol del municipio de Guatapé”. <https://www.municipiodeguatape.gov.co/publicaciones/627/acuerdo-12-de-2017-magnolia-guatapensis/> (accessed January 30, 2023).

- Álvarez Y, Álvarez E, Cano J, Suescún D. 2012. Modelo matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el Caribe colombiano. *Intropica* **7**: 69-79.
- Arif I, Kismartini K, Wasiq HJ, Lutfy A, Rahma S, Dwi AD. 2021. The uses of cempaka wood (*Magnolia* spp.) by the community in Rumoong Atas village north Sulawesi, Indonesia and its environmental impact. *E3S Web of Conferences* **317**: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131701098>
- Azuma H, García-Franco JG, Rico-Gray V, Thien LB. 2001. Molecular phylogeny of the Magnoliaceae: The biogeography of tropical and temperate disjunctions. *American Journal of Botany* **88**: 2275-2285. DOI: <https://doi.org/10.2307/3558389>
- Bernal R, Gradstein R, Celis M. 2019. *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. ISBN 978-958-775-726-2
- Baillon H. 1868. III Magnoliacées. *Histoire des plante* **1**: 142.
- Balshor BJ, Garrambone MS, Austin P, Balazs KR, Weihe C, Martiny JB, Huxman TE, McCollum JR, Kimball S. 2017. The effect of soil inoculants on seed germination of native and invasive species. *Botany* **95**: 469-480. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0248>
- Bewley JD, Black M. 1994. Seeds: germination, structure, and composition. *Seeds: Physiology of Development and Germination*, United States: Springer. pp. 1-33. ISBN 0-306- 44747-9.
- Calderón E, Cogollo A, Velásquez-Rúa C, Serna-González M, García N. 2007. Las magnoliáceas. *Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 5: Las magnoliáceas, las miristicáceas y las podocarpaceas*. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Colombia: Instituto Alexander von Humboldt - CORANTIOQUIA - Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. pp. 45-154. ISBN: 978-958-8343-13-6.
- Calderón E, Cogollo Á, Velásquez-Rúa C, Serna-González M, García N, Rivers MC. 2016. *Magnolia guatapensis*. The Red List of Threatened Species. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T38859A2884248.en>
- Corral-Aguirre J, Sánchez-Velásquez LR. 2006. Seed ecology and germination treatments in *Magnolia dealbata*: an endangered species. *Flora- Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **201**: 227-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.07.004>
- Idárraga-Piedrahíta Á, Ortiz RD, Callejas C, Posada R, Merello M. 2011. Flora de Antioquia: Catálogo de las plantas vasculares Vol. II. Listado de las plantas vasculares del departamento de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia, Missouri Botanical Garden y Oficina de planeación departamental de la gobernación de Antioquia <https://www.tropicos.org/projectimages/Antioquia/Flora%20Antioquia%20Vol%20II.pdf> (accessed June 3, 2022).
- Camarena-Gutiérrez G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **18**: 409-421. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Cogollo-Pacheco Á, Hoyos-Gómez SE, Serna-González M. 2019. Una nueva especie y otros registros de Magnoliaceae para Colombia. *Brittonia* **71**: 32-38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12228-018-9554-0>
- Cornare. 2020. Acuerdo 404. Por medio del cual se declara la veda para algunas especies de flora silvestre en la jurisdicción de CORNARE y se toman otras determinaciones. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare. https://www.cornare.gov.co/Acuerdos/Acuerdo_404_2020_cornare.pdf (accessed June 3, 2022).
- Del Tredici P. 1981. *Magnolia virginiana* in Massachusetts. *Arnoldia* **41**: 36-49.
- Figlar RB, Nootboom HP. 2004. Notes on Magnoliaceae IV. *Blumea -Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants* **49**: 87-100. DOI: <https://doi.org/10.3767/000651904X486214>
- Domínguez-Yescas R, Vázquez-García JA. 2019. Flower of the heart, *Magnolia yajlachhi* (subsect. Talauma, Magnoliaceae), a new species of ceremonial, medicinal, conservation and nurse tree relevance in the Zapotec culture, Sierra Norte de Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa* **393**: 21-34. DOI: <https://doi.org/10.11646/PHYTOTAXA.393.1.2>
- Dong SS, Wang Y, Xia N, Liu Y, Liu M, Lian L, Li N, Li F, Lang X, Gong Y, Chen L, Wu E, Zhang S. 2021. Plastid and nuclear phylogenomic incongruences and biogeographic implications of *Magnolia* s.l. (Magnoliaceae). *Journal of Systematics and Evolution* **60**: 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1111/jse.12727>

- Endress PK. 2010. The evolution of floral biology in basal angiosperms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences* **365**: 411-421. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0228>
- Eldridge DJ, Travers SK, Val J, Ding J, Wang JT, Singh BK, Delgado-Baquerizo M. 2021. Experimental evidence of strong relationships between soil microbial communities and plant germination. *Journal of Ecology* **109**: 2488-2498. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13660>
- Eren E, Ermis S, Oktem G, Demir I. 2023. Seed Longevity Potential Predicted by Radicle Emergence (RE) Vigor Test in Watermelon Seed Cultivars. *Horticulturae* **9**: 280. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020280>
- Gallardo-Yobal S, de la Rosa-Manzano E, Reyes-Zepeda F, Mora-Olivo A, Vázquez-García JA. 2022. Light quality and temperature fluctuation promote the germination of *Magnolia alejandrae* (Magnoliaceae, sect. Macrophylla), a critically endangered species endemic to northeast Mexico. *Botanical Sciences* **100**: 631-644. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2908>
- Gómez-Restrepo ML. 2011. Descripción de cinco especies de magnolias y fundamentos para su propagación sexual y manejo en vivero. *Boletín Técnico Biodiversidad*. **6**: 8-12. Boletín Técnico Biodiversidad-6 ISSN 2011-4087
- González-Zertuche L, Orozco-Segovia A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Botanical Sciences* **58**: 15-30. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1484>
- Gutiérrez-Lozano M, Vázquez-García JA, Reyes Ortiz JL, Aguilar PO, Galván Hernández DM, Sánchez-González A. 2021. Variación en la morfología foliar, floral y frutal de *Magnolia mexicana* (DC.) G. Don (Sección Talauma, Magnoliaceae) en México. *Botanical Sciences* **99**: 955-975. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.2800>
- Guzmán-Díaz S, Aldaba Núñez F, Veltjen E, Asselman P, Larridon I, Samain M. 2022. Comparison of Magnoliaceae Plastomes: Adding Neotropical Magnolia to the Discussion. *Plants* **11**: 448. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11030448>
- Han C-Y, Welbaum G, Long CL. 2010. Seed dormancy and germination of *Michelia yunnanensis* (Magnoliaceae). *Scientia Horticulturae* **124**: 83-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Scienta.2009.11.021>
- He C, Münster T, Saedler H. 2004. On the origin of floral morphological novelties. *FEBS letters* **567**: 147-151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2004.02.090>
- Hernández-Vera G, Navarrete-Heredia JL, Vázquez-García JA. 2021. Beetles as floral visitors in the Magnoliaceae: An evolutionary perspective. *Arthropod-Plant Interactions* **15**: 273-283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09819-3>
- Iralu V, Upadhyay K. 2016. Dormancy, storability, and germination of seeds in *Magnolia punduana* (Magnoliaceae). *Botany* **94**: 967-973. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0056>
- Jacobo-Pereira C, Romo-Campo R, Flores J. 2016. Germinación de semillas de *Magnolia pugana* (Magnoliaceae), especie endémica y en peligro de extinción del occidente de México. *Botanical Sciences* **94**: 575-584. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.512>
- Koske R, Gemma J. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* **92**: 486-488. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)80195-9)
- Levisohn, I. 1957. Differential effects of root-infecting mycelia on young trees in different environments. *Empire Forestry Review* **36**: 281-286.
- Lin L, Cai L, Fan L, Ma J, Yang X, Hu X. 2022. Seed dormancy, germination and storage behavior of *Magnolia sinica*, a plant species with extremely small populations of Magnoliaceae. *Plant Diversity* **44**: 94-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pld.2021.06.009>
- López-Ráez J, Bouwmeester H, Pozo M. 2012. Communication in the Rhizosphere, a Target for Pest Management. *Agroecology and Strategies for Climate Change*. Netherlands: Springer. pp. 109-133. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_5
- Maguire J. 1962. Speed of germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* **2**: 176-177. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- MacKay DB. 1972. The measurement of viability. In: Roberts EH, eds. *Viability of Seeds*. Netherlands : Springer. pp. 172-208. ISBN 978-94-009-5685-8

- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL, Swan JA. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-Arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* **115**: 495-501. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>
- Milošević M, Vujaković M, Karagić D. 2010. Vigor tests as indicators of seed viability. *Genetika* **42**: 103-118. DOI: <https://doi.org/10.2298/GENSR1001103M>
- Mir A, Jeri L, Upadhaya K, Bhat N, Borah R, Choudhury H, Kumar Y. 2019. Diversity, Bioprospection and Commercial Importance of Indian Magnolias In: Bikarma Singh, eds. *Plants for Human Survival and Medicine*. India: New India Publishing Agency. pp 227-250.
- Pérez AJ, Arroyo F, Neill DA, Vázquez-García JA. 2016. *Magnolia chiguila* and *M. mashpi* (Magnoliaceae): two new species and a new subsection (Chocotalauma, sect. Talauma) from the Chocó biogeographic region of Colombia and Ecuador. *Phytotaxa* **286**: 267- 276. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.286.4.5>
- Pérez E, Rodríguez Y, Fernández K, Noval BM de la, Hernández A. 2015. Perception of arbuscular mycorrhizal fungus signals by tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) at initial stages of symbiosis establishment. *Cultivos Tropicales*, **36**: 40-44. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14332.33926>
- Pire R, Vargas-Simón G. 2019. Recurrent inconsistencies in publications that involve Maguire's germination rate formula. *Forest Systems* **28**: eSC02-eSC02. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2019281-14063>
- Reed RC, Bradford KJ, Khanday I. 2022. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity* **128**: 450-459. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Riaño-Peña L, Cuellar-Plazas J. 2019. Identificación de vacíos en investigación asociada a ecología de la restauración en ecosistemas terrestres colombianos. BSc Thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodríguez Y. 2013. Aspectos relacionados con las bases bioquímicas de la simbiosis micorrízica arbuscular. *Cultivos Tropicales* **26**: 11-19.
- Rodríguez-Duque DL, Escobar-Alba M, García-González JD, Carvajal-Cogollo JE, Aymard- Corredor GA. 2022. A New Andean Species of *Magnolia* (Section Talauma, Magnolioideae, Magnoliaceae), and a Key to the Species Found in Colombia. *Harvard Papers in Botany* **27**: 131-141. DOI: <https://doi.org/10.3100/hpib.v27iss2.2022.n1>
- Saldaña-Acosta A, Zuloaga-Aguilar MS, Jardel-Peláez EJ. 2001. Germinación de *Acer skutchii* Rehder y *Magnolia iltisiana* Vázquez en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Foresta Veracruzana* **3**: 1-8.
- Serna M, Velásquez C, Cogollo Á. 2009. Novedades taxonómicas y un nuevo registro de Magnoliaceae para Colombia. *Brittonia* **61**: 35-40. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12228-008-9055-7>
- Serna-González M, Urrego-Giraldo L, Osorio W, Valencia-Ríos D. 2019. Mycorrhizae: A key interaction for conservation of two endangered Magnolias from Andean forests. *Plant and Ecology Evolution* **152**: 1-40. DOI: <https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1398>
- Shankar U. 2020. Primitive angiosperms in the Indian Subcontinent: Taxonomic diversity and geographical distribution of Magnoliaceae Juss. (APG IV). *Pleione* **14**: 137-151. DOI: <https://doi.org/10.26679/Pleione.14.1.2020.131-151>
- TeKrony DM, Egli DB. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Science* **31**: 816-822. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x>
- Vázquez-G JA. 1994. *Magnolia* (Magnoliaceae) in Mexico and Central America: A Synopsis. *Brittonia* **46**: 1-23. DOI: <https://doi.org/10.2307/2807454>
- Vázquez-García JA, Neill DA, Asanza M, Pérez ÁJ, Arroyo F, Dahua-Machoa A, Merino-Santi RE. 2016. Magnolias de Ecuador: en riesgo de extinción. Ecuador, Puyo: Universidad Estatal Amazónica, Universidad de Guadalajara-CUCBA, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Universidad Nacional Agraria La Molina. ISBN: 978- 9942-932-18-1.
- Vásquez-Morales S, Ramírez-Marcial N. 2019. Seed germination and population structure of two endangered tree species: *Magnolia perezfarrerae* and *Magnolia sharpii*. *Botanical Sciences* **97**: 2-12. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1977>
- Vásquez-Morales S, Sánchez-Velásquez L. 2011. Seed ecology and pre-germinative treatments in *Magnolia schiedeana* Schlecht, an endangered species from Mexico. *Journal of Food, Agriculture and Environment* **9**: 604-608.

Villar-Montero R, Ruiz Robleto J, Quero Pérez JL, Poorter H, Valladares Ros F, Marañón T. 2008. *Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Organismo Autónomo Parques Nacionales, pp. 193-230. ISBN: 978-84-8014-738-5

Wang YB, Liu B B, Nie ZL, Chen HF, Chen FJ, Figlar RB, Wen J. 2020. Major clades and a revised classification of Magnolia and Magnoliaceae based on whole plastid genome sequences via genome skimming. *Journal of Systematics and Evolution* **58**: 673-695. DOI: <https://doi.org/10.1111/jse.12588>

Editor de sección: Joel Flores

Author contributions: LR writing of the proposal, field, and collection of plant material, experiment, monitoring of germination, data collection, and analysis, NL adviser, MT fieldwork and advisor SM writing of the proposal, field, and collection of plant material, experiment, monitoring of germination, data collection, and analysis.

Entidades Financiadoras: Fundación South Pole, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, JAUM y Corporación Salvamontes.