



Acta botánica mexicana

ISSN: 0187-7151

ISSN: 2448-7589

Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

Álvarez-Manjarrez, Julieta; Solís Rodríguez, Abraham Ulises; Villarruel-Ordaz, José Luis; Ortega-Larrocea, María del Pilar; Garibay-Orijel, Roberto
Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas
Acta botánica mexicana, núm. 128, e1906, 2021
Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

DOI: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1906>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57466145025>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Acta Botanica
Mexicana

Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas

Mycorrhizas from the tropical dry forest and other fungal symbioses

Julieta Álvarez-Manjarrez^{1,2} , Abraham Ulises Solís Rodríguez¹ , José Luis Villarruel-Ordaz³ 
María del Pilar Ortega-Larrocea² , Roberto Garibay-Orijel^{1,4} 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Cada vez se sabe más de la diversidad vegetal en el bosque tropical caducifolio, pero en gran medida se desconocen sus simbiosis micorrízicas. El estatus micorrízico y su morfología aportan información importante sobre su papel ecológico en estos ecosistemas. El objetivo de este trabajo fue describir la morfología y los tipos de asociaciones fúngicas que establecen algunas plantas dominantes del estrato arbóreo del bosque tropical caducifolio en época de secas y lluvias.

Métodos: El muestreo de raíces se realizó en la costa del Pacífico de México en Chamela, Jalisco, de 2012 a 2014 y desde Puerto Escondido hasta Salina Cruz, Oaxaca, en 2016. Las raíces se muestrearon a través de núcleos de suelo y por rastreo desde el tronco de *Achatocarpus gracilis*, *Achatocarpus* spp., *Coccoloba barbadensis*, *C. liebmannii*, *Cordia elaeagnoides*, *Guapira petenensis*, *Lonchocarpus* sp., *Ruprechtia fusca* y *R. aff. pallida*. Se revisó cada raíz en el microscopio estereoscópico en busca de micorrizas; algunas se aclararon, tiñeron y se montaron en laminillas; se hicieron cortes anatómicos, se tomaron fotografías con microscopio óptico y se describieron las asociaciones rizosféricas según los referentes morfológicos para cada tipo de micorriza.

Resultados clave: Todas las plantas tuvieron asociaciones micorrízicas activas en época de secas y de lluvias. Se describieron 64 morfotipos ectomicorrízicos que presentaron variantes morfológicas: zonación del manto en raicillas secundarias o formación de manto incipiente; ausencia de ramificación; ausencia de la red de Hartig o presencia con estructuras intracelulares. *Achatocarpus* presentó micorrizas duales de ectomicorrizas con micorrizas arbusculares.

Conclusiones: Nuestros resultados coinciden en las diferencias morfológicas en las ectomicorrizas que fueron observadas previamente para Nyctaginaceae en Ecuador y Brasil, y se amplían estas observaciones a más familias dentro de Caryophyllales y la familia Fabaceae. Con estas observaciones, y lo reportado previamente, se propone un nuevo concepto morfológico de ectomicorriza “incipiente” para angiospermas tropicales.

Palabras clave: *Achatocarpus*, *Coccoloba*, endófitos septados oscuros, estatus micorrízico, micorrización dual, trópicos.

Abstract:

Background and Aims: The knowledge on plant diversity in the tropical dry forest is constantly increasing, but the knowledge of its mycorrhizal symbioses is scarce. The mycorrhizal status and its morphology provide important information on its ecological role in these ecosystems. The aim of this study was to describe the morphology and fungal association types that some dominant arboreal stratum plants establish in the tropical deciduous forest in both dry and rainy seasons.

Methods: Root sampling was performed along the Mexico Pacific coast in Chamela, Jalisco, from 2012 to 2014, and from Puerto Escondido to Salina Cruz, Oaxaca, in 2016. Root samples were collected with soil cores and tracking them from the trunk of *Achatocarpus gracilis*, *Achatocarpus* spp., *Coccoloba barbadensis*, *C. liebmannii*, *Cordia elaeagnoides*, *Guapira petenensis*, *Lonchocarpus* sp., *Ruprechtia fusca*, and *R. aff. pallida*. Each root was reviewed under the stereomicroscope for mycorrhizae; some roots were clarified, stained and mounted on slides; anatomical sections were made, photographs were taken with an optical microscope and the rhizospheric associations were described according to the morphological referents for each type of mycorrhiza.

Key results: All plants had active mycorrhizal associations in dry and rainy seasons. Sixty-four ectomycorrhizal morphotypes were described presenting the following morphological variants: zonation of the mantle in secondary roots or incipient mantle formation; absence of branching; absence of Hartig net or presence with intracellular structures. *Achatocarpus* presented dual mycorrhizae of ectomycorrhizae with arbuscular mycorrhizae.

Conclusions: Our results coincide on the ectomycorrhizal morphological differences previously observed in Nyctaginaceae in Ecuador and Brazil, and we extend these observations to more families within Caryophyllales and the family Fabaceae. Our observations, together with previous reports, make us propose a new morphological concept of “incipient” ectomycorrhiza for tropical angiosperms.

Key words: *Achatocarpus*, *Coccoloba*, dark septate endophytes, dual mycorrhization, mycorrhizal status, tropics.

¹Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Biología, Laboratorio de ecología y sistemática de micorrizas, 04510 CdMx., México.

²Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Departamento de Ciencias Ambientales y del Suelo, Instituto de Geología, 04510 CdMx., México.

³Universidad del Mar campus Puerto Escondido, Instituto de Genética, 71980 Juquila, Oaxaca, México.

⁴Autor para la correspondencia: rgaribay@ib.unam.mx

Recibido: 3 de junio de 2021.

Revisado: 13 de julio de 2021.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 25 de noviembre de 2021.

Publicado Primero en línea: 6 de diciembre de 2021.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 128(2021).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como: Álvarez-Manjarrez, J., A. U. Solís Rodríguez, J. L. Villarruel-Ordaz, M. del P. Ortega-Larrocea y R. Garibay-Orijel. 2021. Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas. Acta Botanica Mexicana 128: e1906. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1906>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Ochenta y cinco por ciento de las plantas terrestres presentan asociaciones mutualistas con hongos en sus raíces conocidas como micorrizas. Estos hongos ayudan a las plantas a establecerse y al llegar a la etapa adulta, ya que les proporcionan fósforo y nitrógeno y previenen el estrés por sequía y el ataque de patógenos (Brundrett y Tedersoo, 2018). Dependiendo de su morfología y de la familia de las plantas hospederas, Smith y Read (2008) clasificaron las micorrizas en siete tipos: arbuscular, ectomicorriza, ectendomicorriza, arbutoide, monotropoide, orquideoide y ericoide. Además, existen otro tipo de relaciones rizosféricas con hongos, tales como los patógenos de raíz, saprótrofos y los endófitos (Newsham, 2011). Estos últimos son comunes en las raíces, pero se desconoce mucho acerca de la interacción que mantienen con la planta.

Los hongos ectomicorrizógenos pertenecen a los Phyla Ascomycota, Basidiomycota y Mucoromycota y se estima que forman ectomicorrizas con 3% de las plantas terrestres (Brundrett y Tedersoo, 2018). Si bien este tipo de micorrizas se presenta en una baja diversidad vegetal, sus hospederos representan 60% de la cobertura arbórea mundial (Steidinger et al., 2019). Las familias vegetales en las que se conoce esta interacción son Achatocarpaceae, Asteropeiaceae, Betulaceae, Cistaceae, Dipterocarpaceae, Fabaceae, Fagaceae, Gnetaceae, Goodeniaceae, Junglandaceae, Myrtaceae, Nothofagaceae, Nyctaginaceae, Phyllanthaceae, Pinaceae, Polygonaceae, Salicaceae y Sarcocaulaceae (Corrales et al., 2018). Los hongos ectomicorrizógenos tienen alta especificidad hacia su hospedero; su diversidad es mayor en los bosques templados y boreales, comparada con los bosques tropicales (Tedersoo et al., 2014). A pesar de la importancia de los ecosistemas tropicales, los conceptos morfológicos de las ectomicorrizas provienen casi exclusivamente de observaciones de bosques boreales y templados (Agerer y Rambold, 2004-2021).

En contraste, los hongos micorrízicos arbusculares pertenecen al Subphylum Glomeromycotina del Phylum Mucoromycota (*sensu* Spatafora et al., 2016); se presentan aproximadamente en 70% de las plantas terrestres, abarcando gimnospermas y angiospermas (Brundrett y Tedersoo, 2018). Estos hongos tienen poca especificidad

hacia su hospedero y su abundancia es mayor en los bosques tropicales que en los bosques de latitudes mayores de 30° (Steidinger et al., 2019). Además, se conoce que estos hongos ayudan a disminuir el estrés hídrico de las plantas en condiciones de sequía (p. ej. Al-Karaki et al., 2004; Symanczik et al., 2015).

Por otro lado, a nivel mundial el estatus micorrízico solo se ha evaluado en 1% de las especies vegetales (Albornoz et al., 2021), por lo que el tipo de micorrizas en la mayoría de las plantas solo ha sido inferido. Especialmente en las latitudes tropicales donde la diversidad vegetal y fúngica es más alta (Tedersoo et al., 2014), hay mayor desconocimiento de las asociaciones micorrízicas. En el bosque tropical caducifolio, uno de los ecosistemas estacionales con mayor diversidad beta y endemismos vegetales (Trejo y Dirzo, 2002; Miles et al., 2006; Linares-Palomino et al., 2010; DRYFLOR et al., 2016), se ha reportado la presencia de hongos ectomicorrizógenos y micorrízico arbusculares (Gavito et al., 2008; Ramírez-López et al., 2012; Álvarez-Manjarrez et al., 2018; Carrillo-Saucedo et al., 2018). Sin embargo, se conoce poco sobre sus hospederos, la anatomía, función y estacionalidad de esta simbiosis en las temporadas de secas y lluvias.

Entre más evaluaciones sobre el estatus micorrízico de plantas se han realizado, más nuevas interacciones con anatomías previamente desconocidas se han descubierto. Entender el estatus micorrízico nos ayuda a tener mejores estimaciones de la distribución e importancia de la simbiosis micorrízica a nivel ecosistémico (Steidinger et al., 2019); además de conocer la morfología detrás de cada asociación. Un ejemplo de esto es la micorriza “cavendishioide”, que se forma entre *Cavendishia nobilis* Lindl. y algunos Sebaciales; su morfología es similar a la ectendomicorriza con variaciones morfológicas únicas (Setaro et al., 2006). Por lo tanto, conforme se sigan explorando las raíces de las plantas tropicales, se espera encontrar nuevas variantes en las simbiosis micorrízicas aún no descritas. Con esto en mente, nuestro principal objetivo fue documentar el estatus micorrízico y la morfología de las interacciones fúngicas en las raíces de especies arbustivas y arbóreas que habitan en el bosque tropical caducifolio en el Pacífico mexicano.



Materiales y Métodos

En México, el bosque tropical caducifolio se encuentra distribuido en el Pacífico, desde Sonora hasta Chiapas, en la Península de Yucatán y zonas del Golfo de México; en el continente americano tiene una distribución fragmentada desde México hasta Argentina y Bolivia (DRYFLOR et al., 2016). Este tipo de bosque en México tiene una riqueza vegetal que varía de 29 a 123 especies con 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho en un área de 0.1 ha (Trejo y Dirzo, 2002); siendo las familias Fabaceae y Euphorbiaceae las de mayor riqueza (Lott y Atkinson, 2002).

Los muestreos de raíces se realizaron en la costa del Pacífico mexicano, específicamente en Chamela, Jalisco, y desde Puerto Escondido hasta Salina Cruz, Oaxaca. Se emplearon dos metodologías de muestreo: núcleos de suelo y rastreo de raíces. El muestreo con núcleos de suelo se hizo en la Estación de Biología Chamela de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en Jalisco, durante la época de lluvias de julio a octubre de 2012 a 2014. Los núcleos fueron tubos de PVC de 2.5 cm de diámetro × 30 cm de largo; en cada sitio de muestreo se tomaron cuatro núcleos para realizar una muestra compuesta. Se siguieron las veredas preestablecidas de la estación y se tomaron núcleos de suelo al encontrarse de manera oportunista alguna especie vegetal potencialmente ectomicorrízica (como aquellas de la familia Fabaceae). En cada sitio se trató de muestrear al menos tres individuos de cada hos-

padero en etapa reproductiva. También se recolectó suelo debajo de esporomas de hongos ectomicorrizógenos o alrededor de hospederos ectomicorrízicos. El suelo se tamizó recolectando y separando todas las raíces secundarias encontradas en la muestra. Cada raíz secundaria se revisó bajo un microscopio estereoscópico (Olympus SZ60, Tokio, Japón) separando y preservando en FAA (Formaldehído, Etanol, Ácido acético 10%:50%:5% + 35% agua) durante 24 h todas las raíces terciarias con manto, posteriormente se lavaron con agua corriente y se transfirieron a etanol al 100%. Los morfotipos más abundantes se cortaron con un microtomo (American Optical 820, Texas, EUA) y se tiñeron con la metodología reportada por Álvarez-Manjarrez et al. (2018). Los morfotipos únicos no se tiñeron y se cortaron a mano.

Para estudiar más a detalle la morfología de las ectomicorrizas, se realizó un muestreo por rastreo de raíces con los hospederos ectomicorrízicos identificados con el muestreo de núcleos en Chamela y en 12 puntos de la costa oaxaqueña, desde Puerto Escondido hasta Salina Cruz (Cuadro 1). Los hospederos ectomicorrízicos que se muestrearon fueron *Achatocarpus gracilis* H. Walter, *Achatocarpus* spp., *Coccoloba barbadensis* Jacq., *C. liebmannii* Lindau, *Cordia elaeagnoides* DC., *Guapira petenensis* (Lundell) Lundell, *Lonchocarpus* sp., *Nyctaginaceae* spp., *Ruprechtia fusca* Fernald y *R. aff. pallida* Standl. El rastreo de sus raíces se realizó con un rastrillo y pala manual desde las raíces pri-

Cuadro 1: Sitios de muestreo de raíces de hospederos ectomicorrízicos en la costa de Oaxaca, México.

Sitio de muestreo	Municipio	Coordenadas
Playa La Boquilla	San Pedro Pochutla	15°41'30"N, 96°28'31"O
El Zapotal	Santa María Tonameca	15°43'02"N, 96°34'17"O
Ranchería de don Laurencio	Santa María Tonameca	15°43'07"N, 96°32'20"O
Carretera Santa Martha - Santa María Colotepec	Santa María Colotepec	15°52'44"N, 96°57'27"O
Camino hacia Coyula	Santa María Huatulco	15°43'52"N, 96°19'11"O
Playa Bajos del Arenal	Santa María Huatulco	15°41'11"N, 96°14'40"O
Playa San Andrés	Santa María Huatulco	15°41'36"N, 96°14'08"O
Puente Xúchitl 1	Santa María Huatulco	15°46'58"N, 96°12'33"O
Puente Xúchitl 2	Santa María Huatulco	15°46'58"N, 96°12'33"O
Laguna en Barra de Copalita	San Miguel del Puerto	15°48'13"N, 96°01'18"O
Puente de Chacalapa	San Pedro Huamelula	15°51'35"N, 95°57'50"O
Playa Chipehua	Santo Domingo Tehuantepec	16°02'07"N, 95°22'39"O



marías hasta las raíces secundarias. Por individuo se tomaron tres raíces secundarias de aproximadamente 10 cm de largo y se almacenaron en FAA. La revisión de estas raíces se hizo con el protocolo previamente descrito en el muestreo de núcleos de suelo. El muestreo en la costa oaxaqueña se llevó a cabo durante enero y febrero de 2016, que corresponde a la época de secas. Adicionalmente se tomaron muestras botánicas de hojas con flor y/o fruto de los hospederos ectomicorrízicos que fueron depositados en el Herbario MEXU (1428392-1428420) (Cuadro 2).

Todos los morfotipos de ectomicorrizas que se encontraron fueron caracterizados bajo el microscopio estereoscópico (Olympus SZ60, Tokio, Japón), utilizando la guía morfológica-anatómica de Agerer y Rambold (2004-2021). Además, se realizaron fotografías de las puntas micorrizadas con el mismo microscopio estereoscópico. Con un microscopio óptico con contraste Nomarski (Olympus BX51, Tokio, Japón) se tomaron fotos de los cortes longitudinales y transversales, realizados manualmente. En las micorrizas donde la red de Hartig no era evidente, los cortes se tiñeron

con rojo Congo al 2% y se observaron en un microscopio invertido (Zeiss Axio Imager Z2, Berlín, Alemania) en el laboratorio de Morfo-Anatomía y Citogenética del Instituto de Biología de la UNAM.

Las raíces que no presentaron manto se aclararon con KOH al 10% en un horno de secado (Ecocell® EC.55ECO, München, Alemania) a 60 °C (tiempo variable dependiendo de la cantidad de lignina y suberina de cada especie vegetal) en el Laboratorio de Microcosmos Bioedáfico en el Instituto de Geología de la UNAM. Posteriormente el KOH se neutralizó con HCl al 10% y la muestra se lavó con agua corriente. En seguida las raíces se tiñeron con azul de Tripán al 0.05% en glicerol y se montaron en alcohol polivinílico en un portaobjetos. Se calculó el porcentaje de colonización de acuerdo con Hernández-Cuevas et al. (2008).

Resultados

Se encontraron raíces micorrizadas tanto en época de secas como de lluvias. Por el método de núcleos de suelo se recolectaron 209 raíces terciarias con manto, de las cuales

Cuadro 2: Lista de ejemplares de hospederos ectomicorrízicos de los que se recolectaron raíces en la costa de Oaxaca, México, depositados en el Herbario Nacional (MEXU).

Especie	Localidad	MEXU
<i>Achatocarpus gracilis</i> H. Walter	Parque Nacional Huatulco, Playa San Andrés de Bajos del Arenal, Santa María Huatulco	1428392, 1428412
<i>Achatocarpus</i> aff. <i>gracilis</i> H. Walter	Hotel La Luna, Llano Grande, Playa Chipehua, Puente Chacalapa, Santa María Huatulco, Santa María Tonameca, Santiago Astata, Santo Domingo Tehuantepec	1428401, 1428403, 1428404, 1428407, 1428408
<i>Achatocarpus</i> sp.	Bajos del Arenal, Barra de Copalita, Camino hacia Bajos de Coyula, Llano Grande, Playa Chipehua, San Miguel del Puerto, Santa Mara Huatulco, Santa María Huatulco, Santa María Tonameca, Santo Domingo Tehuantepec	1428393, 1428395, 1428396, 1428397, 1428399, 1428415
¿ <i>Achatocarpus</i> sp.?	Parque Nacional Huatulco, Playa Chipehua, Santa María Huatulco, Santo Domingo Tehuantepec	1428398, 1428420
<i>Coccoloba barbadensis</i> Jacq.	Carretera en construcción, km 197 hacia Santa María Colotepec	1428417
<i>Coccoloba liebmanni</i> Lindau	Bajos del Arenal, Camino hacia Bajos de Coyula, El Zapotal a 5 minutos de Mazunte, Parque Nacional Huatulco, Santa María Huatulco	1428394, 1428411, 1428413, 1428418
<i>Lonchocarpus</i> aff. <i>lanceolatus</i> Benth.	Playa San Andrés de Bajos del Arenal, Santa María Huatulco	1428409
<i>Ruprechtia fusca</i> Fernald	Hotel La Luna, Llano Grande, Parque Nacional Huatulco, Santa María Huatulco, Santa María Tonameca	1428405, 1428406, 1428410, 1428419
<i>Ruprechtia</i> aff. <i>pallida</i> Standl.	Bajos del Arenal, Santa María Huatulco	1428416

se describen 64 morfotipos ectomicorrízicos (Apéndice). En algunas de las ectomicorrizas tomadas con núcleos no fue posible identificar al hospedero vegetal. Durante la época de secas, con el rastreo de raíces, se recolectaron 151 muestras de raíces de los géneros *Achatocarpus* Triana (Achatocarpaceae), *Coccoloba* P. Browne (Polygonaceae), *Cordia* L. (Boraginaceae) y *Ruprechtia* C.A. Mey. (Polygonaceae), de las cuales 104 presentaron manto. Estos general-

mente tuvieron manto, nula ramificación y escaso micelio externo vegetativo.

En las ectomicorrizas descritas, el manto generalmente se encontró cubriendo totalmente la raíz terciaria; pero en varias especies de *Coccoloba* el manto se formó incompleto con zonaciones en las raíces terciarias (Fig. 1A). En las ectomicorrizas de *Achatocarpus* el manto fue muy incipiente (Fig. 1B). En *Lonchocarpus* sp. (Fig. 1C), *Guapira*

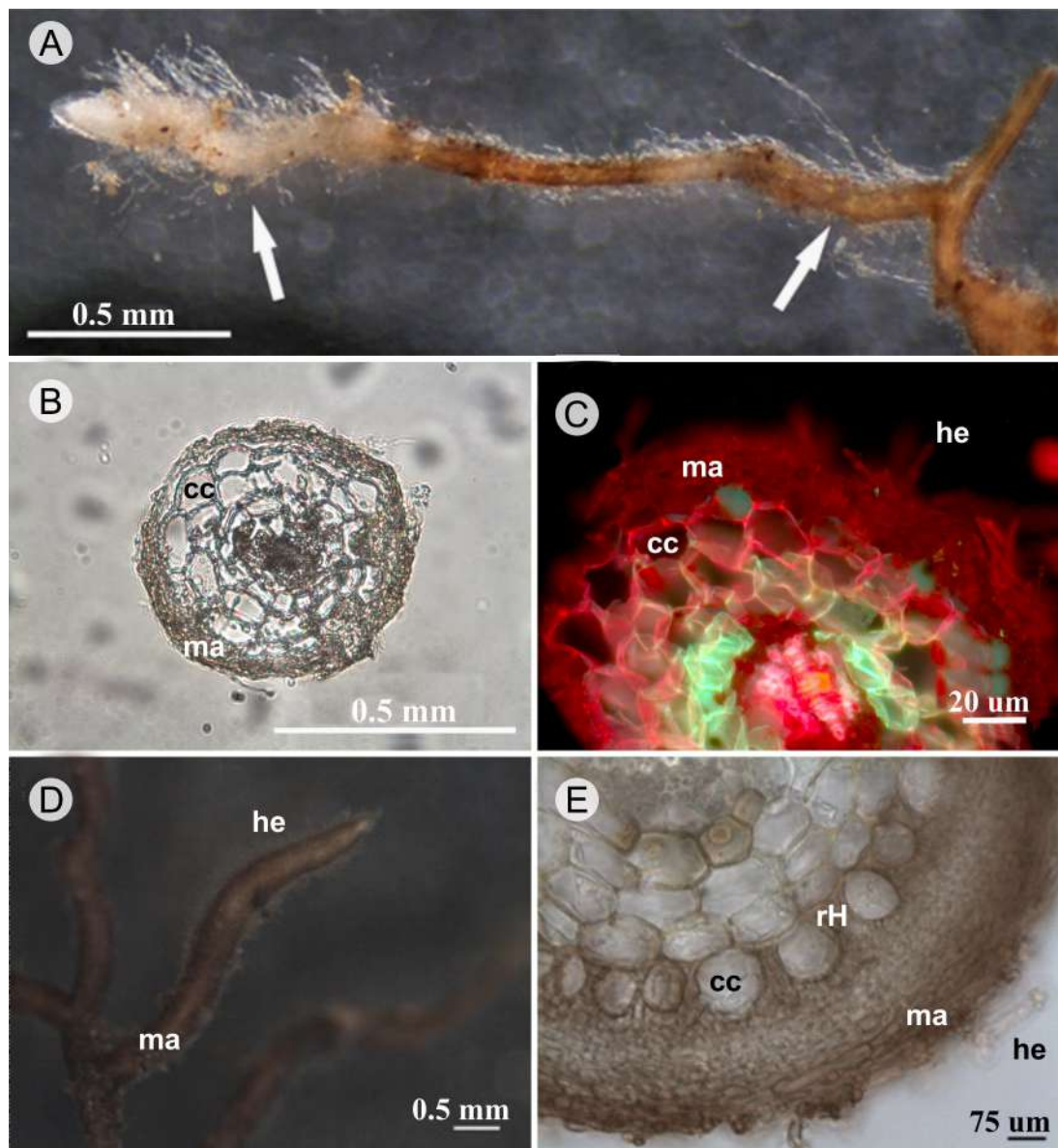


Figura 1: Morfotipos de las ectomicorrizas de diferentes especies vegetales del bosque tropical caducifolio de Jalisco y Oaxaca, México. A. ectomicorriza de *Coccoloba liebmanna* Lindau donde se muestran con flechas las zonaciones del manto; B. corte transversal de ectomicorriza de *Achatocarpus gracilis* H. Walter, se aprecia el manto incipiente, células corticales de la raíz y ausencia de red de Hartig; C. corte transversal de ectomicorriza de *Lonchocarpus* sp. en microscopía de fluorescencia, se aprecia el manto conformado por varias capas de hifas, hifas emanentes y ausencia de red de Hartig; D. vista general de ectomicorriza de *Guapira* sp. donde se observa un manto evidente y opaco, así como hifas emanentes cortas; E. corte transversal de ectomicorriza de *Guapira* sp., se observa un manto grueso, hifas emanentes y red de Hartig paraepidermal muy evidente. manto=ma, células corticales=cc, hifas emanentes=he, red de Hartig=rH.

petenensis y otras nictagináceas (Fig. 1D, E), se presentaron mantos densos recubriendo completamente la punta de la raíz. Los mantos en general tenían exploración de contacto, con algunos morfotipos de exploración media presentando rizomorfos y/o cordones miceliares (Apéndice: Figs. S57, S59, S60, S62).

En aquellos morfotipos ectomicorrízicos que presentaron red de Hartig, esta siempre fue de tipo paraepidermal. Las ectomicorrizas de la familia Nyctaginaceae (Apéndice: Figs. S13-S21) presentaron red de Hartig; además de hifas que colonizan dentro de las células del córtex que aparentan emerger del manto. En ninguno de los morfotipos de *Achatocarpus* (Apéndice: Figs. S1-S9) y *Lonchocarpus* Kunth, se encontró red de Hartig. En las familias Araliaceae y Sapotaceae se observó una sola ectomicorriza (Apéndice: Figs. S11, S56). También se describen algunos morfotipos de plantas que no fue posible identificar (Apéndice: Figs. S57-S64).

Achatocarpus fue el único género donde se observaron ectomicorrizas y micorrizas arbusculares, siendo una planta con micorrización dual (Fig. 2). El porcentaje de micorrización arbuscular en *Achatocarpus* aff. *gracilis* fue 29% y el de *A. oaxacanus* H. Walter y *A. nigricans* Triana, 23%, con estructuras como hifas, arbuscúlos, ovillos y vesículas (Fig. 2). Todas las raíces de *Cordia elaeagnoides*, *Ruprechtia fusca* y *R. aff. pallida* presentaron colonización por hongos micorrízico-arbusculares, con un porcentaje de colonización de 16, 15 y 13%, respectivamente. En las tres especies la colonización fue del tipo *Paris* con vesículas, hifas y ovillos sin evidencia de arbuscúlos (Apéndice).

Otras interacciones rizosféricas que se encontraron dentro de las raíces fueron microesclerocios e hifas pertenecientes a los endófitos oscuros septados en *Achatocarpus* spp., *Cordia elaeagnoides* y *Ruprechtia fusca*. Estos hongos no fueron comunes en las muestras (Fig. 3).

Discusión

Este estudio encontró que todas las especies vegetales evaluadas presentan asociaciones fúngicas en la época de secas y de lluvias en el bosque tropical caducifolio. Estas asociaciones formaron ectomicorrizas, micorrizas arbusculares, micorrización dual y endófitos oscuros septados. Se describieron en *Coccoloba* (Polygonaceae), *Achatocarpus*

(Achatocarpaceae) y algunas especies de nictagináceas 64 morfotipos de ectomicorrizas. Estos morfotipos nos ayudan a ampliar el concepto de las ectomicorrizas de los bosques tropicales, que se discute más adelante.

Coccoloba liebmannii y *C. barbadensis* son dos árboles que crecen frecuentemente en el bosque tropical caducifolio (Santos-Moreno y Ruiz-Velásquez, 2011). Así como se ha reportado para *Coccoloba uvifera* (L.) L. en dunas costeras de América y la Amazonía (Tedersoo et al., 2010; Sené et al., 2015), corroboramos que ambas especies son hospederos ectomicorrízicos. Los morfotipos encontrados en estas especies presentaron mantos que no recubren toda la raíz terciaria, sino que tienen zonaciones sobre las raíces secundarias y terciarias, característica no reportada previamente para *Coccoloba*, pero sí para géneros de Nyctaginaceae como *Guapira* Aubl., *Neea* Ruiz & Pav. y *Pisonia* L. (Ahsford y Allaway, 1985; Haug et al., 2005, 2014). Además, se registraron ectomicorrizas turgentes principalmente en la época de secas, lo cual se puede asociar con su fisiología adaptativa a este ecosistema, ya que estas plantas son heliofilas; es decir, permanecen con hojas en época de secas, mientras que en lluvias las escinden (Fanjul y Barradas, 1985; Barradas y Glez-Medellín, 1999; Durán et al., 2002). Esta inversión de la planta a mantener una simbiosis activa en temporadas o condiciones desfavorables puede ayudar a reducir el estrés hídrico de la temporada de secas en estas especies. Así como se conoce que las ectomicorrizas reducen el estrés salino en *C. uvifera* impuesto por su hábitat de dunas (Bandou et al., 2006), también se sabe que las ectomicorrizas ayudan a tener mejor manejo del recurso hídrico aumentando el Ca disponible en el suelo (Li et al., 2021), o incluso propiciando modificaciones estructurales en sus hospederos (Osonubi et al., 1991; Wang et al., 2021).

Algunas especies de la familia Nyctaginaceae forman ectomicorrizas con mantos gruesos (Haug et al., 2005). Nuestras observaciones en Nyctaginaceae nos llevaron a clasificarlos en nueve morfotipos con mantos de tonalidades claras a oscuras y texturas generalmente lisas o con cistidios, prediciendo que hay diversos hongos ectomicorrízicos asociados a las nictagináceas (Vanegas-León et al., 2019). En esta interacción se observaron hifas intracelulares, que podrían ser hongos endófitos o una nueva variación en la morfología de la ectomicorriza. Esta situación ha sido pre-



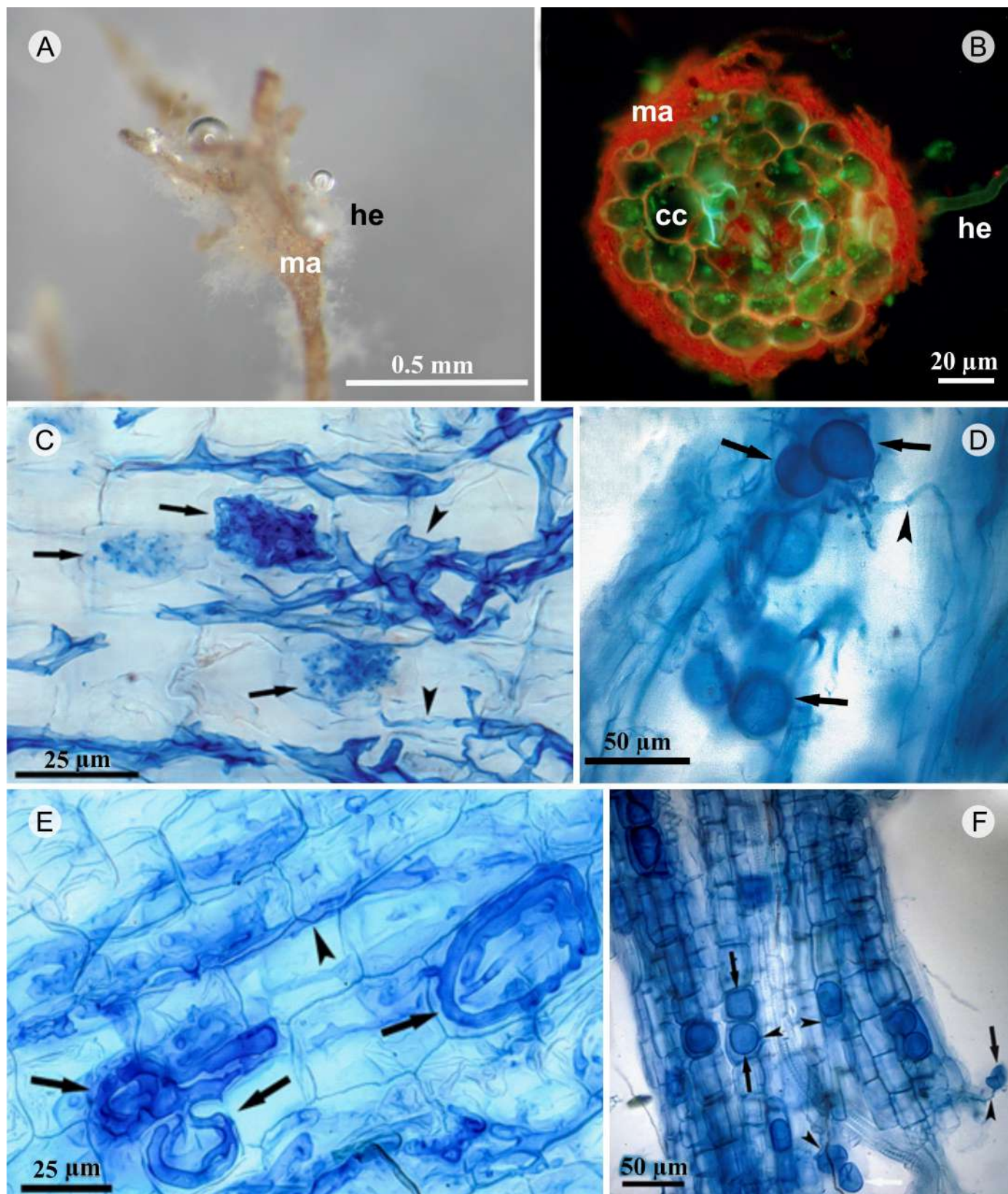


Figura 2: Micorrización dual de *Achatocarpus* spp. A. vista general de ectomicorriza donde se observa el manto evidente e hifas emanantes; B. corte transversal donde se observa el manto, hifas emanantes, células corticales de la raíz y ausencia de red de Hartig; C. corte longitudinal de la raíz terciaria, se observan hifas intraradicales (puntas de flecha) y arbúsculos (flechas); D. corte longitudinal de la raíz terciaria, se observan esporas intraradicales (flechas) e hifas (punta de flecha); E. corte longitudinal de la raíz terciaria en el que se observan ovillos (flechas) e hifas que les dan origen (punta de flecha); F. corte longitudinal de la raíz terciaria donde se observan vesículas intraradicales y extraradicales (flechas) e hifas que les dan origen (puntas de flecha). manto=ma, células corticales=cc, hifas emanantes=he.

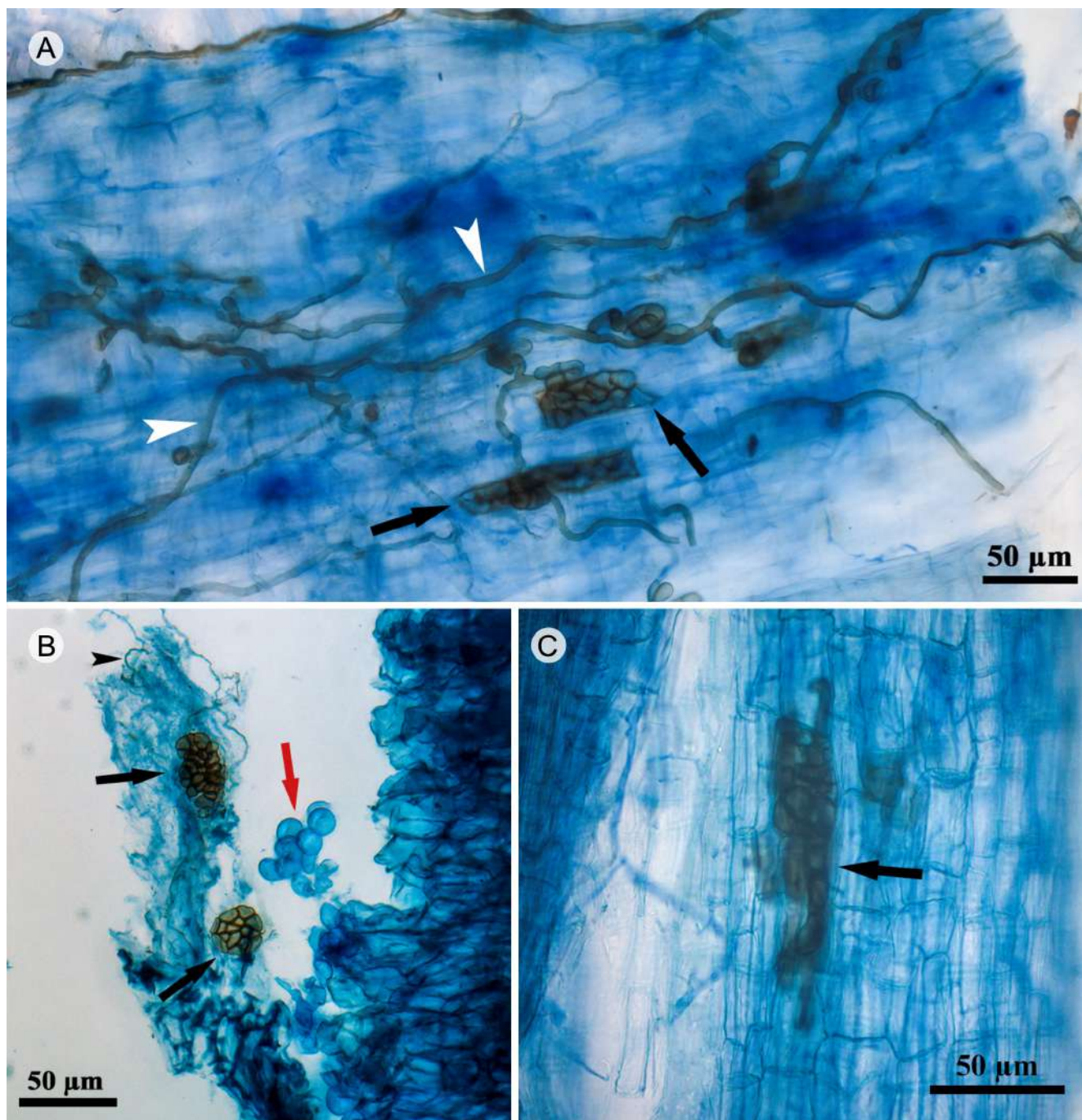


Figura 3: Estructuras de hongos endófitos septados oscuros en plantas de selva baja. A. microesclerocios (flechas negras) e hifas de endófitos septados oscuros septados (flechas blancas) en *Achatocarpus* sp.; B. microesclerocios (flechas negras), hifas de endófitos septados oscuros septados (cabeza de flecha negra) y esporas de hongos micorrízicos arbusculares (flecha roja) en *Cordia* L.; C. microesclerocios (flechas negras) de endófitos septados oscuros septados en *Ruprechtia* sp.

viamente observada en otras nictagináceas (Vanegas-León et al., 2019) asociadas a hongos de los órdenes Russulales y Thelephorales (Haug et al., 2005).

Los conceptos morfológicos de las ectomicorrizas provienen de los bosques templados donde se describen

tres características: 1) el manto externo recubre completamente la raíz terciaria, 2) la red de Hartig, es decir las hifas que intercambian nutrientes con la planta y rodean a las células del cortex de la raíz, en angiospermas solo abarca la primera capa de células corticales, 3) micelio externo ve-

getativo que crece extraradicalmente (Agerer y Rambold, 2004-2021; Peterson et al., 2004). Al comparar las observaciones de este trabajo realizadas en diferentes géneros con la información previamente publicada (Ashford y Allaway, 1985; Dell et al., 1994; Haug et al., 2005; 2014; Vanegas-León et al., 2019), queda claro que las variaciones morfológicas encontradas en ectomicorrizas tropicales se comparan en diferentes zonas del mundo. Por ejemplo, formación de manto pero ausencia de red de Hartig, mantos con zonaciones y formación de pelos radiculares donde no hay manto, y red de Hartig paraepidermal con elementos intracelulares. Por ello, proponemos el concepto de ectomicorriza “incipiente”: manto incipiente o grueso que se puede encontrar cubriendo total o parcialmente raíces secundarias y terciarias; red de Hartig paraepidermal con o sin hifas intracelulares, o ausente; ramificación de las ectomicorrizas y micelio externo vegetativo poco frecuente (Fig. 1).

Varias especies del género *Achatocarpus* presentan micorrización dual de ectomicorrizas y micorriza arbuscular. En este género se encontró formación de manto tanto en época de lluvias como en secas. Este manto se forma de manera incipiente sin evidencia de la formación de red de Hartig. Es el único género evaluado donde se encontró micorrización dual. Se observaron estructuras típicas de los hongos micorrízico-arbusculares: arbuscúlos, ovillos y vesículas (Fig. 2), que son modificaciones hifales ensanchadas para almacenar lípidos y glucógeno, y son estructuras que también pueden funcionar como inóculo de propagación (Bermann y Linderman, 1983; Jabahi-Hare et al., 1984). Esto demuestra que es una colonización funcional y bien establecida. *Achatocarpus* fue el único género con formación de arbuscúlos como estructuras hiper ramificadas, en las que se intercambian los nutrientes entre la planta y el hongo y se forman en una colonización activa y funcional (Roth et al., 2019). Sin embargo, con mayor frecuencia se observaron ovillos que también son estructuras postuladas como los sitios de intercambio de nutrimentos (Peterson y Massicotte, 2004; Dreyer et al., 2008).

La micorrización dual, de muy reciente estudio, ha sido descrita en angiospermas como *Acacia* Mill., *Alnus* Mill., *Eucalyptus* L'Hér., *Fraxinus* L., *Populus* L., *Salix* L., *Shorea* Roxb. ex C.F. Gaertn. y *Uapaca* Baill. (Teste et al., 2019). También llega a presentarse en plantas que, en

etapas tempranas después de la germinación, desarrollan micorrizas arbusculares y son remplazadas en su totalidad por ectomicorrizas cuando llegan a brinzales (Brundrett y Tedersoo, 2018). Se ha propuesto que esta doble colonización es una transición de una aptitud evolutiva de formar *a priori* asociaciones con micorrizas arbusculares, pues es la micorriza más antigua (edad máxima aproximada de 727 millones de años; Lutzoni et al., 2018), y que algunos de dichos géneros están en la transición de adquirir la asociación ectomicorrízica (Brundrett y Tedersoo, 2018). En la evolución de las plantas hubo grupos vegetales que perdieron totalmente su capacidad de asociarse con hongos arbusculares (Brundrett y Tedersoo, 2018), y otros formaron asociaciones ectomicorrízicas cuya transición ha sido completamente establecida desde el Devónico en la diversificación de las coníferas en el Jurásico (aproximadamente 460 millones de años; Kohler et al., 2015; Lutzoni et al., 2018). En este trabajo se describe la posible transición micorrízica de *Achatocarpus*, lo cual explicaría el manto incipiente y la ausencia de red de Hartig como estructura de intercambio de nutrimentos ya establecida; como sucede en otros géneros que no desarrollan red de Hartig (p. ej. *Casuarina* L. o *Eucalyptus*; Dell et al., 1994; Harrington y Mitchell, 2002; Teste et al., 2019).

En el caso de *Cordia elaeagnoides* (Boraginaceae), *Ruprechtia fusca* y *R. aff. pallida* (Polygonaceae), tuvieron asociación con hongos micorrízico-arbusculares con colonización del tipo *Paris* y endófitos septados oscuros. La colonización del tipo *Paris* generalmente forma más ovillos que arbuscúlos y es un tipo de colonización común en plantas (Cavagnaro et al., 2003). Aun cuando tienen menor actividad enzimática que los arbuscúlos (Van Aarle et al., 2005), son un indicador de que las plantas que evaluamos se encontraban metabólicamente activas en época de secas como lo encontrado para las ectomicorrizas.

La presencia de hongos endófitos oscuros septados durante la época de secas fue infrecuente en las muestras observadas, pero se encontraron en raíces que a su vez tenían micorrizas arbusculares. Algunos hongos endófitos oscuros pueden contribuir al crecimiento vegetal al solubilizar fósforo que se vuelve disponible para otros organismos (Della Monica et al., 2015) y reducen el estrés ambiental, especialmente cuando los suelos tienen baja disponibilidad



de nutrientes (Jumpponen y Trappe, 1998; Jumpponen, 2001). El estudio de la coexistencia de estos endófitos con los hongos micorrízicos ha sido propuesta como antagonista, pues compiten por los mismos recursos (Weishampel y Bedford, 2006). Sin embargo, en ambientes estresantes tiene una correlación positiva (Gooden et al., 2020) e incluso en un bosque templado mixto se encontró que la asociación entre hongos micorrízico arbusculares, ectomicorrízicos y endófitos septados oscuros sugiere una sinergia en esta co-existencia en las dinámicas de las comunidades vegetales (Toju y Sato, 2018).

El bosque tropical caducifolio es un ecosistema con alto estrés hídrico. Las plantas de este ecosistema tienen xilema resistente a las embolias, conductancia estomática como estrategia de uso del agua, formación de biomasa, etc. (Pineda-García et al., 2013; Werden et al., 2017; González-M. et al., 2021). Además, tienen simbiosis activas con sus simbiontes fúngicos bajo estrés hídrico (Gavito et al., 2008). En este trabajo encontramos micorrizas vivas en la época de secas, tanto arbuscular con la formación de arbusculos y ovillos, como ectomicorrizas con mantos turgentes. Las variaciones en el estatus y tipo micorrízico reflejan aspectos de la dinámica ecofisiológica que se da en este tipo de bosques estacionales. Tener varios simbiontes puede permitirles a las plantas obtener más recursos del hábitat; la incipiente colonización de las ectomicorrizas en el estrato arbóreo puede ser parte de esta estrategia. Por ejemplo, los hongos ectomicorrízicos obtienen y transfieren N disponible a sus fotobiontes (Tunlid et al., 2016). Conforme se evalúen más estatus micorrízicos de plantas tropicales se podrán hacer mejores inferencias sobre la distribución de los tipos de micorrizas y con ello entender su contribución en la fijación de carbono y los ciclos de nitrógeno y fósforo, entre otros (p. ej. Craine et al., 2009; Swaty et al., 2016; Steidinger et al., 2019; Soudzilovskaia et al., 2019).

Conclusiones

Todas las plantas evaluadas pertenecientes a las familias Achatocarpaceae, Boraginaceae, Fabaceae, Nyctaginaceae y Polygonaceae presentaron asociación ectomicorrízica y/o micorrízica arbuscular activa durante secas y lluvias y algunas presentaron hongos endófitos oscuros septados

asociados a micorrizas arbusculares. El estudio de estas familias de angiospermas distribuidas en el bosque tropical caducifolio permitió documentar variaciones en la morfología de las ectomicorrizas, lo que hace posible proponer el nuevo concepto de la ectomicorriza “incipiente”. La familia Polygonaceae desarrolla un manto discontinuo con zonaciones, en Nyctaginaceae existen hifas intra radicales en la red de Hartig, en Achatocarpaceae (*Achatocarpus* spp.) el manto es incipiente y no presenta red de Hartig, que tampoco se observó en las ectomicorrizas de *Lonchocarpus* sp. (Fabaceae). Se describe por vez primera la micorrización dual de *Achatocarpus* spp., así como la formación de micorriza arbuscular en *Cordia elaeagnoides*, *Ruprechtia fusca* y *R. aff. pallida*.

Contribución de autores

JAM y RGO diseñaron el muestreo, junto con AUSR y JLVO procesaron las muestras, AUSR obtuvo datos, MPOL y JLVO facilitaron la infraestructura, asesoraron en la técnica de procesamiento y junto con JAM escribieron el manuscrito, que fue revisado por JLVO y RGO.

Financiamiento

Agradecemos el financiamiento brindado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-PAPIIT IN218210 y UNAM-PAPIIT IN223114) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-Ciencia Básica 239266). De igual forma, agradecemos a CONACYT por la beca de maestría y doctorado de JAM con números 280553 y 404413, respectivamente.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de Oscar Zárate Martínez y Rodolfo Ángeles Argáiz, por su asistencia en campo. De igual forma agradecemos a Iris Suárez Quijada por su colaboración para procesar las raíces, al personal del Laboratorio de Microcosmos Bioedáfico y a Julio César Montero Rojas, por su apoyo en la edición de las imágenes de apéndice.

Literatura citada

Agerer, R. y G. Rambold. 2004-2021. DEEMY-An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae.



- Ludwig-Maximilians-Universität München and SNSB-Botanische Staatssammlung München. München, Alemania. <http://www.deemy.de> (consultado marzo de 2020).
- Albornoz, F. E., K. W. Dixon y H. Lambers. 2021. Revisiting mycorrhizal dogmas: Are mycorrhizas really functioning as they are widely believed to do? *Soil Ecology Letters* 3(1): 73-82. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0070-2>
- Álvarez-Manjarrez, J., R. Garibay-Orijel y M. E. Smith. 2018. Caryophyllales are the main hosts of a unique set of ectomycorrhizal fungi in a Neotropical dry forest. *Mycorrhiza* 28(2): 103-115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0807-7>
- Al-Karaki, G., B. McMichael y J. Zak. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14(4): 263-269. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2>
- Ashford, A. E. y W. G. Allaway. 1985. Transfer cells and Hartig net in the root epidermis of the sheathing mycorrhiza of *Pisonia grandis* R. Br. from Seychelles. *New Phytologist* 100(4): 595-612. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1985.tb02806.x>
- Balvanera, P., E. Lott, G. Segura, C. Siebe y A. Islas. 2002. Patterns of β -diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science* 13(2): 145-158. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02034.x>
- Bandou, E., F. Lebailly, F. Muller, M. Dulormne, A. Toribio, J. Chabrol, R. Courtecuisse, C. Plenchette, Y. Prin, R. Duponnois, M. Thiao, S. Sylla, B. Dreyfus y A. M. Bâ. 2006. The ectomycorrhizal fungus *Scleroderma bermudense* alleviates salt stress in seagrape (*Coccoloba uvifera* L.) seedlings. *Mycorrhiza* 16: 559-565. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0073-6>
- Barradas, V. L. y M. G. Glez-Medellín. 1999. Dew and its effect on two heliophile understorey species of a tropical dry deciduous forest in Mexico. *International Journal of Biometeorology* 43: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004840050109>
- Bermann, B. y R. G. Linderman. 1983. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist* 95(1): 97-105. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb03472.x>
- Brundrett, M. C. y L. Tedersoo. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220(4): 1108-1115. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Carrillo-Saucedo, S. M., M. E. Gavito e I. Siddique. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungal spore communities of a tropical dry forest ecosystem show resilience to land-use change. *Fungal Ecology* 32: 29-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.11.006>
- Cavagnaro, T. R., F. A. Smith, S. M. Ayling y S. E. Smith. 2003. Growth and phosphorus nutrition of a *Paris*-type arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 157(1): 127-134. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00654.x>
- Corrales, A., T. W. Henkel y M. E. Smith. 2018. Ectomycorrhizal associations in the tropics - biogeography, diversity patterns and ecosystem roles. *New Phytologist* 220(4): 1076-1091. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15151>
- Craine, J. M., A. J. Elmore, M. P. M. Aida, M. Bustamante, T. E. Dawson, E. A. Hobbie, A. Kahmen, M. C. Mack, K. K. McLauchlan, A. Michelsen, G. B. Nardoto, L. H. Pardo, J. Peñuelas, P. B. Reich, E. A. G. Schuur, W. D. Stock, P. H. Templer, R. A. Virginia, J. M. Welker y I. J. Wright. 2009. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. *New Phytologist* 183(4): 980-992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02917.x>
- Dell, B., N. Malajczuk, N. L. Bougher y G. Thomson. 1994. Development and function of *Pisolithus* and *Scleroderma* ectomycorrhizas formed *in vivo* with *Allocasuarina*, *Casuarina* and *Eucalyptus*. *Mycorrhiza* 5: 129-138. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00202345>
- Della Monica, I. F., M. C. N. Saparrat, A. M. Godeas y J. M. Scervino. 2015. The co-existence between DSE and AMF symbionts affects plant P pools through P mineralization and solubilization processes. *Fungal Ecology* 17: 10-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.04.004>
- Dreyer, B., M. Pérez-Gilbert, E. Olmos, M. Honrubia y A. Morte. 2008. Ultrastructural localization of acid phosphatase in arbusculate coils of mycorrhizal *Phoenix canariensis* roots. *Physiologia Plantarum* 132(4): 503-513. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01034.x>
- DRYFLOR, K. Banda-R., A. Delgado-Salinas, K. G. Dexter, R. Linares-Palomino, A. Oliveira-Filho, D. Prado, M. Pullan, C. Quintana, R. Riina, G. M. Rodríguez M., J. Weintritt, P.



- Acevedo-Rodríguez, J. Adarve, E. Álvarez, A. Aranguren B., J. Camilo Arteaga, G. Aymard, A. Castaño, N. Ceballos-Mago, A. Cogollo, H. Cuadros, F. Delgado, W. Devia, H. Dueñas, L. Fajardo, Á. Fernández, M. A. Fernández, J. Franklin, E. H. Freid, L. A. Galetti, R. Gonto, R. González-M., R. Graveson, E. H. Helmer, Á. Idárraga, R. López, H. Marcano-Vega, O. G. Martínez, H. M. Maturo, M. McDonald, K. McLaren, O. Melo, F. Mijares, V. Moggi, D. Molina, N. del P. Moreno, J. M. Nassar, D. M. Neves, L. J. Oakley, M. Oatham, A. R. Olvera-Luna, F. F. Pezzini, P. J. Reyes Domínguez, M. E. Ríos, O. Rivera, N. Rodríguez, A. Rojas, T. Särkinen, R. Sánchez, M. Smith, C. Vargas, B. Villanueva y R. T. Pennington. 2016. Plant diversity patterns of the neotropical dry forests and their conservation implications. *Science* 353(6306): 1383-1387. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- Durán, E., P. Balvanera, E. Lott, G. Segura, A. Pérez-Jiménez, A. Islas y M. Franco. 2002. Estructura, composición y dinámica de la vegetación. In: Noguera, F., J. Vega Rivera y A. García-Aldrete. (eds.). *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. CdMx., México. Pp. 443-472.
- Fanjul, L. y V. L. Barradas. 1985. Stomatal behaviour of two heliophile understorey species of a tropical deciduous forest in Mexico. *Journal of Applied Ecology* 22(3): 943-954. DOI: <https://doi.org/10.2307/2403242>
- Gavito, M. E., D. Pérez-Castillo, C. F. González-Monterrubio, T. Vieyra-Hernández y M. Martínez-Trujillo. 2008. High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedlings of different land use types in a tropical dry ecosystem. *Mycorrhiza* 19(1): 47-60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0203-4>
- González-M., R., J. M. Posada, C. P. Carmona, F. Garzón, V. Salinas, A. Idárraga-Piedrahita, C. Pizana, A. Avella, R. López-Camacho, N. Norden, J. Nieto, S. P. Medina, G. M. Rodríguez-M., R. Franke-Ante, A. M. Torres, R. Jurado, H. Cuadros, A. Castaño-Naranjo, H. García y B. Salgado-Negret. 2021. Diverging functional strategies but high sensitivity to an extreme drought in tropical dry forests. *Ecology Letters* 24(3): 451-463. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13659>
- Gooden, B., E. R. Thompson y K. French. 2020. Do native plant associations with arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes differ between reconstructed and remnant coastal dunes? *Plant Ecology* 221(9): 757-771. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-019-00959-4>
- Harrington, T. J. y D. T. Mitchell. 2002. Colonization of root systems of *Carex flacca* and *C. pilulifera* by *Cortinarius (Dermocybe) cinnamomeus*. *Mycological Research* 106(4): 452-459. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756202005713>
- Haug, I., I. Kottke y J. P. Suárez. 2014. Ectomycorrhizas of three species of Nyctaginaceae in the tropical mountain rain forest of South Ecuador. In: Bâ, A. M., K. L. McGuire y A. G. Diédhiou (eds.). *Ectomycorrhizal symbioses in tropical and neotropical forests*. CRC Press. Boca Raton, EUA. Pp. 19-28.
- Haug, I., M. Weiß, J. Homeier, F. Oberwinkler e I. Kottke. 2005. Russulaceae and Thelephoraceae form ectomycorrhizas with members of the Nyctaginaceae (Caryophyllales) in the tropical mountain rain forest of southern Ecuador. *New Phytologist* 165(3): 923-936. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01284.x>
- Hernández-Cuevas, L. V., P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallén y J. Ramos-Zapata. 2008. Micorriza arbuscular, colonización intraradical y extracción de esporas del suelo. In: Álvarez Sánchez, J. y A. Monroy Ata (eds.). *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. Pp. 1-15.
- Jabaji-Hare, S., A. Deschene y B. Kendrick. 1984. Lipid content and composition of vesicles of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Mycologia* 76(6): 1024-1030. DOI: <https://doi.org/10.2307/3793017>
- Jumpponen, A. 2001. Dark septate endophytes - are they mycorrhizal? *Mycorrhiza* 11(4): 207-211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s005720100112>
- Jumpponen, A. y J. M. Trappe. 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist* 140(2): 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00265.x>
- Kohler, A., A. Kuo, L. G. Nagy, E. Morin, K. W. Barry, F. Buscot, B. Canbäck, C. Choi, N. Cichocki, A. Clum, J. Colpaert, A. Copeland, M. D. Costa, J. Doré, D. Floudas, G. Gay, M. Girlanda, B. Henrissat, S. Herrmann, J. Hess, N. Högberg, T. Johansson, H-R. Khouja, K. LaButti, U. Lahrman, A. Levasseur, E. A. Lindquist, A. Lipzen, R. Marmeisse, E. Martino, C. Murat, C. Y. Ngan, U. Nehls, J. M. Plett, A.



- Pringle, R. A. Ohm, S. Perotto, M. Peter, R. Riley, F. Rineau, J. Ruytinx, A. Salamov, F. Shah, H. Sun, M. Tarkka, A. Tritt, C. Veneault-Fourrey, A. Zuccaro, Mycorrhizal Genomics Initiative Consortium, A. Tunlid, I. V. Grigoriev, D. S. Hibbett y F. Martin. 2015. Convergent losses of decay mechanisms and rapid turnover of symbiosis genes in mycorrhizal mutualists. *Nature Genetics* 47(4): 410-415. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.3223>
- Li, Y., T. Zhang, Y. Zhou, X. Zou, Y. Yin, H. Li, L. Liu y S. Zhang. 2021. Ectomycorrhizal symbioses increase soil calcium availability and water use efficiency of *Quercus acutissima* seedlings under drought stress. *European Journal of Forest Research* 140: 1039-1048. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01383-y>
- Linares-Palomino, R., L. P. Kvist, Z. Aguirre-Mendoza y C. Gonzales-Inca. 2010. Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests. *Biodiversity and Conservation* 19(1): 169-185. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9713-4>
- Lott, E. J. y T. H. Atkinson. 2002. Biodiversidad y fitogeografía de Chamela-Cuixmala, Jalisco. In: Noguera, F. A., J. H. Vega Rivera, A. N. García Aldrete y M. Quesada Avendaño (eds.). *Historia natural de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. Pp. 83-97.
- Lutzoni, F., M. D. Nowak, M. E. Alfaro, V. Reeb, J. Miadlikowska, M. Krug, A. Arnold, L. A. Lewis, D. L. Swofford, D. Hibbett, K. Hilu, T. Y. James, D. Quandt y S. Magallón. 2018. Contemporaneous radiations of fungi and plants linked to symbiosis. *Nature Communications* 9(1): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07849-9>
- Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33(3): 491-505. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Newsham, K. K. 2011. A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytologist* 190(3): 783-793. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03611.x>
- Osonubi, O., K. Mulongoy, O. O. Awotoye, M. O. Atayese y D. U. Okali. 1991. Effects of ectomycorrhizal and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. *Plant and Soil* 136(1): 131-143. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02465228>
- Peterson, R. L. y H. B. Massicotte. 2004. Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany* 82(8): 1074-1088. DOI: <https://doi.org/10.1139/B04-071>
- Peterson, R. L., H. B. Massicotte y L. H. Melville. 2004. *Mycorrhizas: anatomy and cell biology*. CABI. Ottawa, Canadá. 173 pp.
- Pineda-García, F., H. Paz y F.C. Meinzer. 2013. Drought resistance in early and late secondary successional species from a tropical dry forest: the interplay between xylem resistance to embolism, sapwood water storage and leaf shedding. *Plant, Cell and Environment* 36(2): 405-418. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02582.x>
- Ramírez-López, I., M. Villegas-Ríos y Z. Cano-Santana. 2012. Diversidad de Agaricomycetes clavarioides en la Estación de Biología de Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4): 1084-1095. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.4.1271>
- Roth, R., S. Hillmer, C. Funaya, M. Chiapello, K. Schumacher, L. Lo Presti, R. Kahmann y U. Paszkowski. 2019. Arbuscular cell invasion coincides with extracellular vesicles and membrane tubules. *Nature Plants* 5(2): 204-211. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0365-4>
- Santos-Moreno, A. y E. Ruiz-Velásquez. 2011. Diversidad de mamíferos de la región de Nizanda, Juchitán, Oaxaca, México. *Therya* 2(2): 155-168. DOI: <https://doi.org/10.12933/therya-11-30>
- Séne, S., R. Avril, C. Chaintreuil, A. Geoffroy, C. Ndiaye, A. G. Diédhiou, O. Sadio, R. Courtecuisse, S. N. Sylla, M-A. Selosse y A. Bâ. 2015. Ectomycorrhizal fungal communities of *Coccoloba uvifera* (L.) L. mature trees and seedlings in the neotropical coastal forests of Guadeloupe (Lesser Antilles). *Mycorrhiza* 25(7): 547-559. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0633-8>
- Setaro, S., M. Weiß, F. Oberwinkler e I. Kottke. 2006. Sebaciales form ectendomycorrhizas with *Cavendishia nobilis*, a member of the Andean clade of Ericaceae, in the mountain rain forest of southern Ecuador. *New Phytologist* 169(2): 355-365. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01583.x>



- Smith, S. E. y D. Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3th ed., Academic Press. New York, EUA. 780pp.
- Soudzilovskaia, N. A., P. M. van Bodegom, C. Terrer, M. van't Zelfde, I. McCallum, M. L. McCormack, J. B. Fisher, M. C. Brundrett, N. César de Sá y L. Tedersoo. 2019. Global mycorrhizal plant distribution linked to terrestrial carbon stocks. *Nature Communications* 10: 5077. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13019-2>
- Spatafora, J. W., Y. Chang, G. L. Benny, K. Lazarus, M. E. Smith, M. L. Berbee, G. Bonito, N. Corradi, I. Grigoriev, A. Gryganskyi, T. Y. James, K. O'Donnell, R. W. Roberson, T. N. Taylor, J. Uehling, R. Vilgalys, M. M. White y J. E. Stajich. 2016. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108(5): 1028-1046. DOI: <https://doi.org/10.3852/16-042>
- Steidinger, B. S., T. W. Crowther, J. Liang, M. E. Van Nuland, G. D. A. Werner, P. B. Reich, G. J. Nabuurs, S. de-Miguel, M. Zhou, N. Picard, B. Herault, X. Zhao, C. Zhang, D. Routh, K. G. Peay y GFBI consortium. 2019. Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest tree symbioses. *Nature* 569: 404-408. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1128-0>
- Swaty, R., H. M. Michael, R. Deckert y C. A. Gehring. 2016. Mapping the potential mycorrhizal associations of the conterminous United States of America. *Fungal Ecology* 24(B): 139-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.05.005>
- Symanczik, S., P. E. Courty, T. Boller, A. Wiemken y M. N. Al-Yahya'ei. 2015. Impact of water regimes on an experimental community of four desert arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) species, as affected by the introduction of a non-native AMF species. *Mycorrhiza* 25(8): 639-647. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0638-3>
- Tedersoo, L., A. Sadam, M. Zambrano, R. Valencia y M. Bahram. 2010. Low diversity and high host preference of ectomycorrhizal fungi in Western Amazonia, a neotropical biodiversity hotspot. *ISME Journal* 4(4): 465-471. DOI: <https://doi.org/10.1038/ismej.2009.131>
- Tedersoo, L., M. Bahram, S. Pölme, U. Kõljalg, N. S. Yorou, R. Wijesundera, L. Villarreal Ruiz, A. M. Vasco-Palacios, P. Quang Thu, A. Suija, M. E. Smith, C. Sharp, E. Saluveer, A. Saitta, M. Rosas, T. Riit, D. Ratkowsky, K. Pritsch, K. Põldmaa, M. Piepenbring, C. Phosri, M. Peterson, K. Parts, K. Pärtel, E. Otsing, E. Nouhra, A. L. Njouonkou, R. H. Nilsson, L. N. Morgado, J. Mayor, T. W. May, L. Majuakim, D. J. Lodge, S. S. Lee, K-H. Larsson, P. Kohout, K. Hosaka, I. Hiiesalu, T. W. Henkel, H. Harend, L-D. Guo, A. Greslebin, G. Grelet, J. Geml, G. Gates, W. Dunstan, C. Dunk, R. Drenkhan, J. Dearnaley, A. de Kesel, T. Dang, X. Chen, F. Buegger, F. Q. Brearley, G. Bonito, S. Anslan, S. Abell y K. Abarenkov. 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1256688>
- Teste, F. P., M. D. Jones e I. A. Dickie. 2019. Dual-mycorrhizal plants: their ecology and relevance. *New Phytologist* 225(5): 1835-1851. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16190>
- Toju, H. y H. Sato. 2018. Root-associated fungi shared between arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal conifers in a temperate forest. *Frontiers in Microbiology* 9: 433. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00433>
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11: 2063-2048. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020876316013>
- Tunlid, A., D. Floudas, R. Koide y F. Rineau. 2016. Soil organic matter decomposition mechanisms in ectomycorrhizal fungi. In: Martin, F. M. (ed.). *Molecular Mycorrhizal Symbiosis*. John Wiley & Sons. Nueva York, EUA. Pp. 257-275.
- Van Aarle, I. M., T. R. Cavagnaro, S. E. Smith, F. A. Smith y S. Dickson. 2005. Metabolic activity of *Glomus intraradices* in *Arum*- and *Paris*-type arbuscular mycorrhizal colonization. *New Phytologist* 166(2): 611-618. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01340.x>
- Vanegas-León, M. L., M. A. Sulzbacher, A. C. Rinaldi, M. Roy, M. A. Selosse y M. A. Neves. 2019. Are Trechisporales ectomycorrhizal or non-mycorrhizal root endophytes? *Mycological Progress* 18(9): 1231-1240. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-019-01519-w>
- Wang, J., H. Zhang, J. Gao, Y. Zhang, Y. Liu y M. Tang. 2021. Effects of ectomycorrhizal fungi (*Suillus variegatus*) on the growth, hydraulic function, and non-structural carbohydrates of *Pinus tabulaeformis* under drought stress. *BMC Plant Biology* 21(1): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02945-3>



- Weishampel, P. A. y B. L. Bedford. 2006. Wetland dicots and monocots differ in colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. *Mycorrhiza* 16(7): 495-502. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0064-7>
- Werden, L., B. Waring, C. Smith-Martin y J. S. Powers. 2017. Tropical dry forest trees and lianas differ in leaf economic spectrum traits but have overlapping water-use strategies. *Tree Physiology* 38(4): 517-530. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx135>



Apéndice

Descripción de las micorrizas de Achatocarpaceae, Araliaceae, Boraginaceae, Nyctaginaceae, Polygonaceae, Sapotaceae y de plantas de identidad desconocida, encontradas en el bosque tropical caducifolio en Chamela, Jalisco, México, y costa de Oaxaca, México

Micorrizas de Achatocarpaceae	17
Micorrizas de Araliaceae	22
Micorrizas de Boraginaceae	23
Micorrizas de Nyctaginaceae	24
Micorrizas de Polygonaceae	32
Micorrizas de Sapotaceae	54
Micorrizas de plantas de identidad desconocida	55



Apéndice. Continuación.

Micorrizas de Achatocarpaceae

Morfotipos de ectomicorrizas sin ramificación con mantos incipientes, micelio externo vegetativo, sin red de Hartig; micorrizas arbusculares con penetración del tipo *Paris* con hifas intraradicales, arbuscúlos, ovillos, vesículas y esporas extraradicales.

Ectomicorriza incipiente, no ramificada, recta (Fig. S1A); manto delgado, semitransparente, liso, blanco (Fig. S1B); sin rizomorfos.

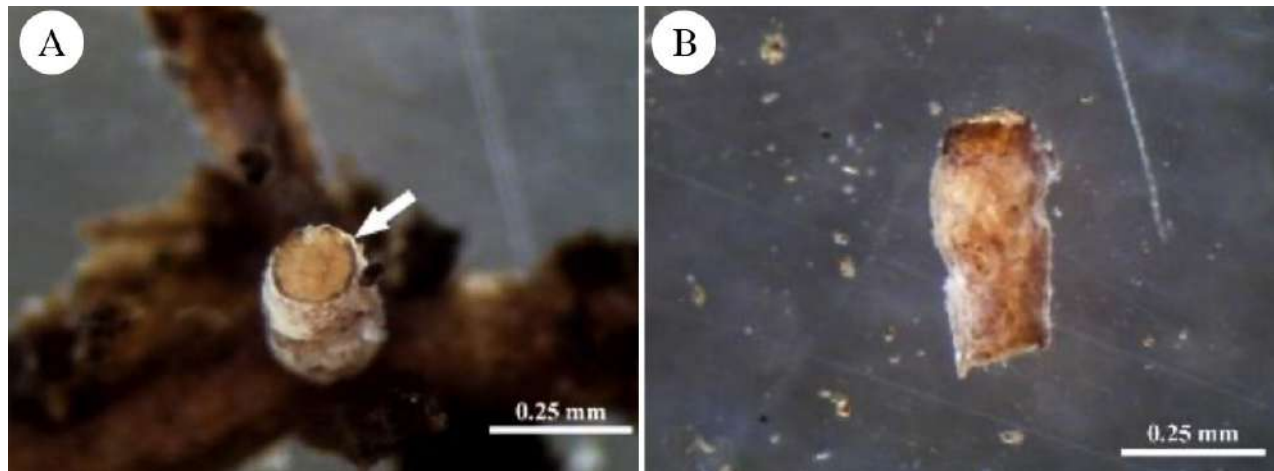


Figura S1: Ectomicorriza de *Achatocarpus* Triana. A. la flecha señala el manto delgado; B. manto semitransparente.

Ectomicorriza que cubre la raíz terciaria y partes de la raíz secundaria (Fig. S2A), irregularmente pinnada, sinuosa, punta claviforme; manto visible, en zonas traslúcido, células de la epidermis de la raíz visibles, lanoso, color café obscuro; hifas emanentes abundantes, sin distribución específica, longitud mediana a larga, color café obscuro (Fig. S2B).



Figura S2: Ectomicorriza de *Achatocarpus* Triana. A. ectomicorriza irregularmente pinnada, sinuosa; B. acercamiento donde se aprecia la porción proximal con manto traslúcido (flecha) e hifas emergentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza no ramificada, sinuosa, puntas redondas no engrosadas (Fig. S3A); manto grueso, opaco, lanoso, café claro a café oscuro; micelio externo muy abundante, agrega numerosas partículas de suelo, color café dorado (Fig. S3B); cordones miceliares color café oscuro.



Figura S3: Ectomicorriza de *Achatocarpus* Triana. A. ectomicorriza sinuosa con abundante micelio externo (me); B. acercamiento donde se aprecian las hifas del micelio externo (flechas blancas), partículas de suelo (ps) y cordones miceliares (cm).

Ectomicorriza no ramificada, sinuosa, punta redonda, no engrosada (Fig. S4A); manto delgado, traslúcido, células epidérmicas vegetales visibles; micelio externo hirsuto, escaso, hifas emanentes largas, distales, color blanco (Fig. S4B); sin rizomorfos.

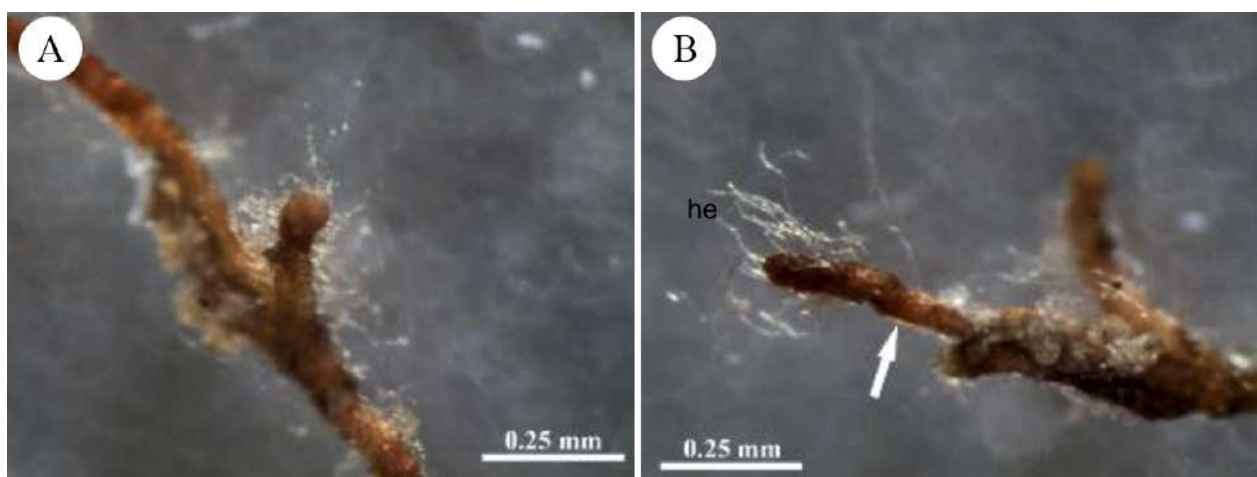


Figura S4: Ectomicorriza de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. A. vista transversal de la ectomicorriza; B. vista longitudinal de la ectomicorriza donde se observan el manto delgado y semitransparente (flecha) e hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza no ramificada, recta o angular (Fig. S5A); manto visible, lanoso, en zonas traslúcido negro; hifas emanentes abundantes, largas y medianas, color negro-rojizo (Fig. S5B); sin rizomorfos.



Figura S5: Ectomicorriza de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. A. diferencia de opacidad entre la micorriza (m) y la raíz (r), la flecha blanca señala las células de la epidermis, que son visibles a través del manto; B. las flechas blancas señalan las hifas emergentes de longitud variable.

Ectomicorriza no ramificada, sinuosa, ápice romo (Fig. S6A); manto visible, hirsuto, color castaño oscuro a negro; hifas emanentes gruesas y cortas en parte proximal, muy largas en la parte distal, transparentes a color café claro (Fig. S6B); sin rizomorfos.



Figura S6: Ectomicorriza de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. A. vista general; B. acercamiento donde se observa su forma sinuosa y la diferencia de tamaño y distribución de las hifas emanentes (he), la flecha blanca señala un agregado de suelo adherido a las hifas emanentes.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza no ramificada, curvada en forma de garra, punta estrecha; manto visible, opaco, lanoso, color negro; hifas emanentes escasas en la parte proximal, largas, negras; sin rizomorfos (Fig. S7).

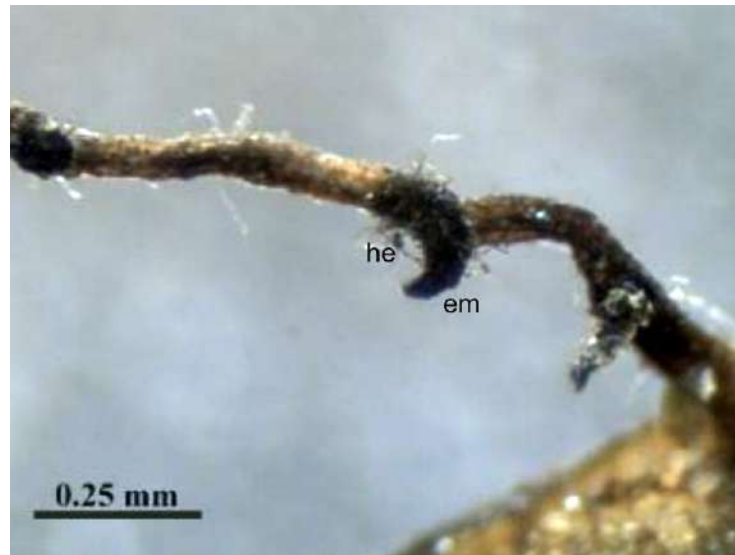


Figura S7: Ectomicorriza (em) de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. Se observa su forma de gancho y escasas hifas emanentes (he).

Ectomicorriza no ramificada, tortuosa, punta clavada; manto visible, lanoso, opaco, color negro; hifas emanentes abundantes, largas y gruesas, excepto en la parte distal, traslúcidas a color rojizo; sin rizomorfos (Fig. S8).



Figura S8: Ectomicorriza de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. Se aprecian las hifas emanentes (flecha blanca).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza no turgente, no ramificada, recta, punta ensanchada y lanceolada; manto visible, opaco, liso, color negro; hifas emanentes cortas, concentradas cerca de la parte distal, blancas; sin rizomorfos (Fig. S9).

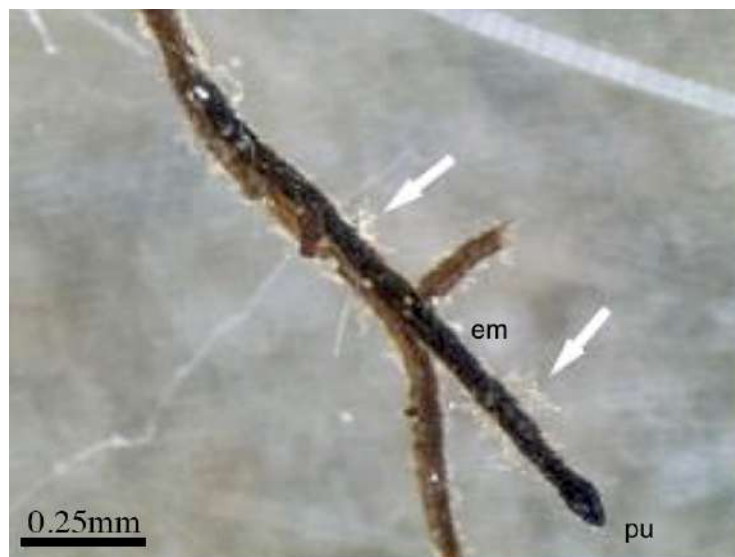


Figura S9: Ectomicorriza de *Achatocarpus* aff. *gracilis* H. Walter. Se aprecia la forma lanceolada de la punta (pu), las hifas emanentes (flechas), y la forma recta de la ectomicorriza (em).

El género *Achatocarpus* también presentó micorrizas arbusculares en sus raíces. Estas se caracterizaron por esporas extraradicales, agrupadas en racimos, asociadas a la rizósfera (Fig. S10A) y estructuras intracelulares como arbúsculos, vesículas y ovillos (Figs. S10B-D).

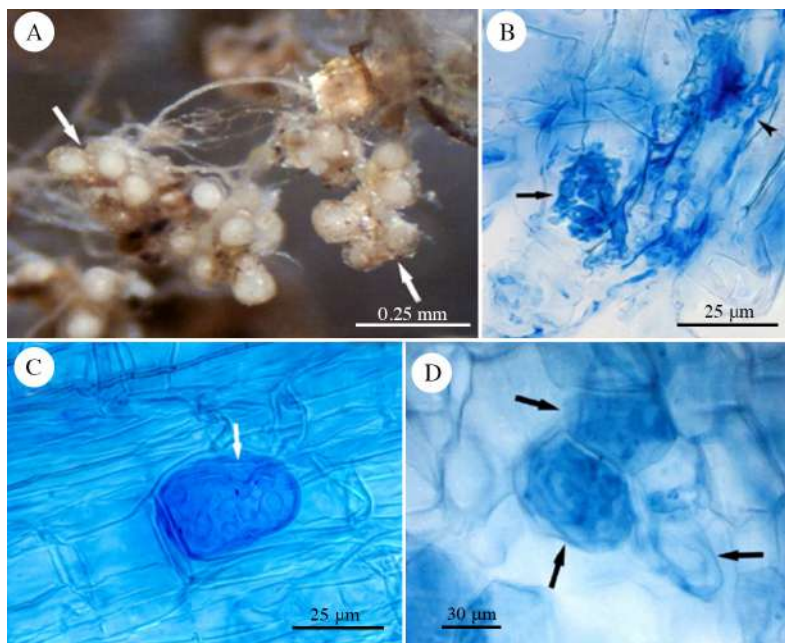


Figura S10: Estructuras de micorrizas arbusculares de *Achatocarpus* Triana. A. esporas extraradicales agrupadas en racimo (flechas blancas); B. arbúsculos (flecha negra larga) y micelio intraradical (punta de flecha negra); C. vesículas (flecha blanca); D. ovillos (flechas negras).

Apéndice. Continuación.

Micorrizas de Araliaceae

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, recta; manto evidente, algodonoso, opaco, color café grisáceo; hifas emanentes abundantes, cortas; con rizomorfos largos emergentes de la raíz y envueltos densamente por micelio externo (Fig. S11).



Figura S11: Ectomicorriza de hongo desconocido asociado a Araliaceae. Se observa la ectomicorriza (em) y un rizomorfo (rm) densamente cubierto por micelio externo (me).

Apéndice. Continuación.

Micorrizas de Boraginaceae

En las raíces de *Cordia elaeagnoides* DC. se encontró colonización (tipo *Paris*) por hongos micorrízico arbusculares (Figs. S12A, B), así como microesclerocios de endófitos oscuros septados (Fig. S12C). Se observaron hifas intraradicales, ovillos y vesículas (Figs. S12D, E).

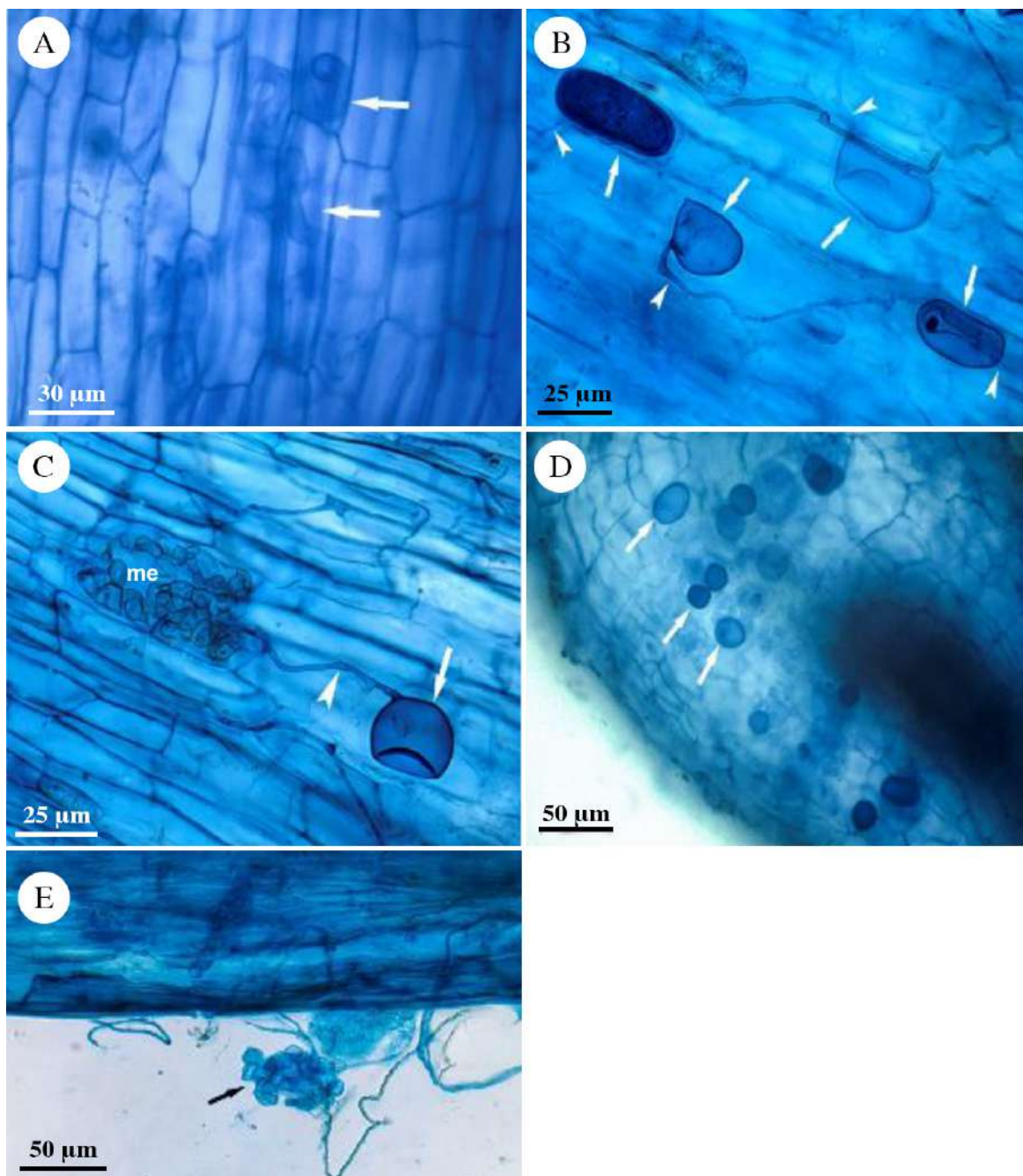


Figura S12: Colonización de hongos micorrízico arbusculares en *Cordia elaeagnoides* DC. A. interfase tipo *Paris*, donde se señalan los ovillos (flechas); B, D. diferentes tipos de vesículas (flechas), junto con sus hifas de soporte (puntas de flecha); C. microesclerocios (me) de endófitos septados oscuros con hifa (punta de flecha) y vesícula (flecha); E. células auxiliares de forma nodulosa (flecha).

Apéndice. Continuación.**Micorrizas de Nyctaginaceae**

Los morfotipos de sus ectomicorrizas no son ramificados, presentan mantos conformados por varias capas de hifas, raras veces con micelio externo vegetativo. La red de Hartig está ausente o es paraepidermal y con hifas intraradicales.

Ectomicorriza no ramificada, ligeramente curva (Fig. S13A); manto denso, ligeramente transparente en las puntas, superficie finamente tomentosa; hifas emanantes escasas, cortas, color blanquecino (Fig. S13B); sin rizomorfos; estructura interna con manto conformado por ocho capas de hifas (117.68-122.22 μm) (Figs. S13C, D); manto externo plectenquimatoso, hifas de pared delgada, algunas hifas emergentes (116.2-121.2 \times 12.04-12.94 μm), terminaciones redondeadas (Fig. S13E); manto medio pseudoparenquimatoso, hifas ovaladas; manto interno ligeramente hialino, transicional entre pseudoparénquima y plecténquima (11.7-13.1 \times 18.1-19.6 μm); sin red de Hartig. Adicionalmente presentó múltiples hifas dentro de las células corticales, aparentemente de hongos micorrízico arbusculares, pero no se observaron arbuscúlos o vesículas (Fig. S13F).

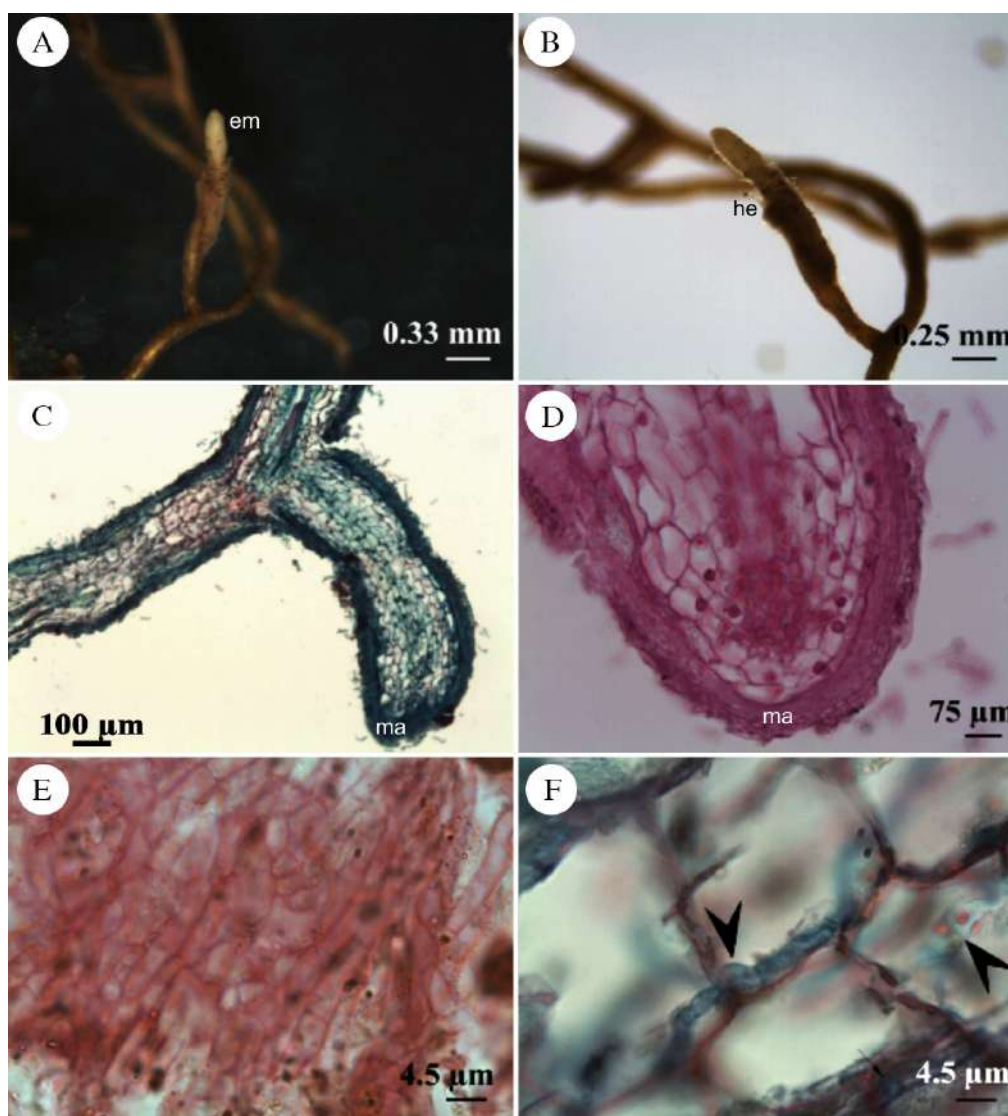


Figura S13: Ectomicorriza de Clavulinaceae asociada a una planta no identificada de Nyctaginaceae. A. ectomicorriza (em) no ramificada; B. acercamiento de ectomicorriza donde se observan hifas emanantes (he) cortas; C. corte longitudinal donde se aprecia en grosor del manto (ma); D. acercamiento de corte longitudinal, se aprecia la estratificación del manto (ma) y la ausencia de red de Hartig; E. manto externo plectenquimatoso; F. hifas intracelulares en las células corticales.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada; manto en la parte media de la raíz secundaria, grueso, tomentoso, color café claro a café oscuro; hifas emanentes erectas, cortas, abundantes; estructura interna con manto con 12 capas de hifas (42 μ m); manto externo conformado por una red de hifas laxas, septadas, fibuladas; manto medio plectenquimatoso, hifas cilíndricas ordenadas, con transición a pseudoparénquima; manto interno es una transición entre un pseudoparénquima y plecténquima; red de Hartig conspicua, paraepidérmica, con grandes lóbulos, infrecuentemente ramificada, hifas septadas (Fig. S14).

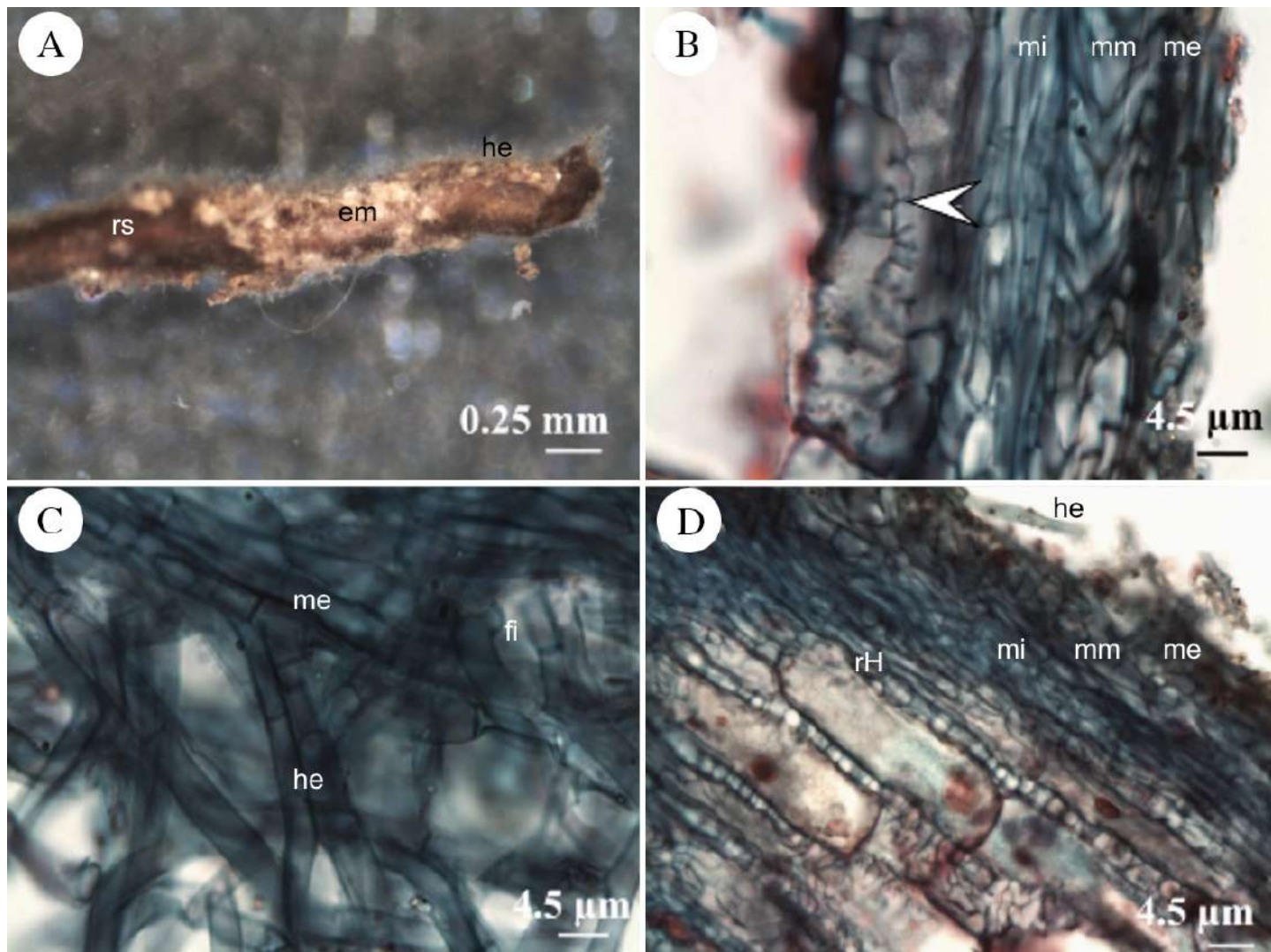


Figura S14: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. ectomicorriza (em) en la raíz secundaria (rs), se observan hifas emanentes cortas (he); B. corte longitudinal en el que se observan el manto externo (me) manto medio (mm), el manto interno (mi) y la red de Hartig paraepidérmica (flecha blanca); C. hifas emanentes (he) del manto externo (me), algunas con fibulas (fi); D. ampliación del corte longitudinal, se observa la red de Hartig (rH) en los espacios intercelulares. manto externo=me, manto medio=mm, manto interno=mi, hifas emanentes=he.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza simple, abundante, no ramificada, sinuosa a tortuosa, parte apical más clara y delgada (Fig. S15A); manto liso, brillante, color café claro a negro; hifas emanentes hialinas, cortas (Fig. S15B); en la parte distal presenta abundantes cistidios aculeados, erectos, de pared gruesa (<1µm) de base cónica (Figs. S15C, G, H); estructura interna con manto conformado por 7-9 capas de hifas (19.53 µm) (Fig. S15D); manto externo plectenquimatoso, hifas ligeramente constreñidas en el septo y más anchas en la parte media (3.5-4 × 6.8-12.62 µm) (Fig. S15F); manto interno pseudoparenquimatoso, hifas epidermoides (2.45-5.44 µm) (Fig. S15E); red de Hartig paraepidermal, abarca únicamente la primera capa de células corticales, infrecuentemente lobulada.

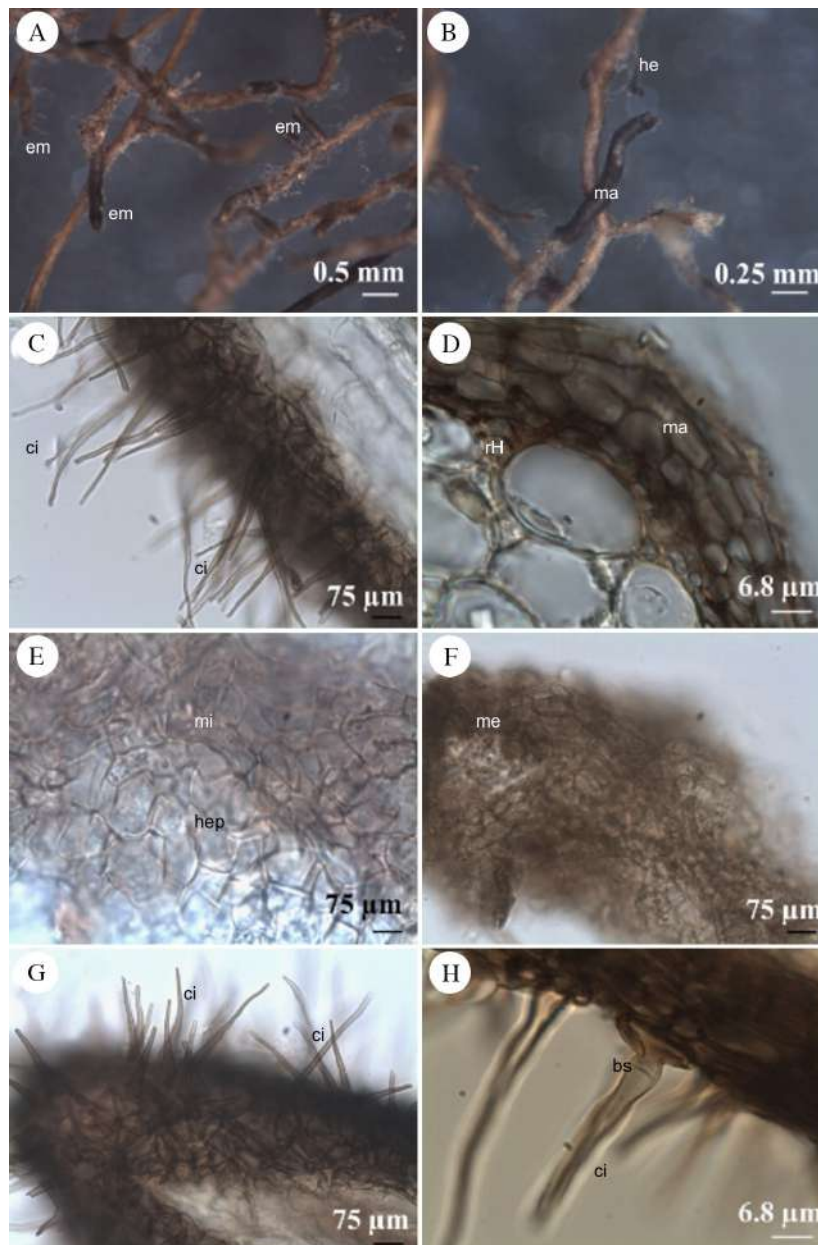


Figura S15: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. ectomicorrizas (em) simples y abundantes; B. ectomicorriza madura con el manto (ma) color negro e hifas emanentes (he); C. corte longitudinal donde se observan cistidios (ci) alargados y agudos hacia la punta; D. corte transversal donde se aprecia el grosor del manto (ma) y la red de Hartig paraepidérmica (rH); E. manto interno (mi) de hifas epidermoides (hep); F. manto externo (me); G. abundantes cistidios (ci) en la parte apical de la ectomicorriza; H. acercamiento a la base septada (bs) de un cistidio (ci).



Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza pequeña, poco abundante, no ramificada (Fig. S16A); manto delgado que abarca toda la micorriza incluyendo la punta, ligeramente viloso, color blanquecino a café claro; hifas emanentes abundantes, muy cortas (Fig. S16B); sin rizomorfos; estructura interna con manto conformado por 6-7 capas de hifas; manto externo es una transición entre plecténquima y pseudoparénquima, hifas cilíndricas de diferente anchos, de apariencia globosa, con pared gruesa ($<1\mu\text{m}$), algunas hifas emergentes septadas, sin fíbulas, cortas, con pared gruesa y terminación redondeada; manto interno pseudoparenquimatoso, hifas globosas pequeñas; red de Hartig paraepidermal, infrecuentemente lobulada (Fig. S16).

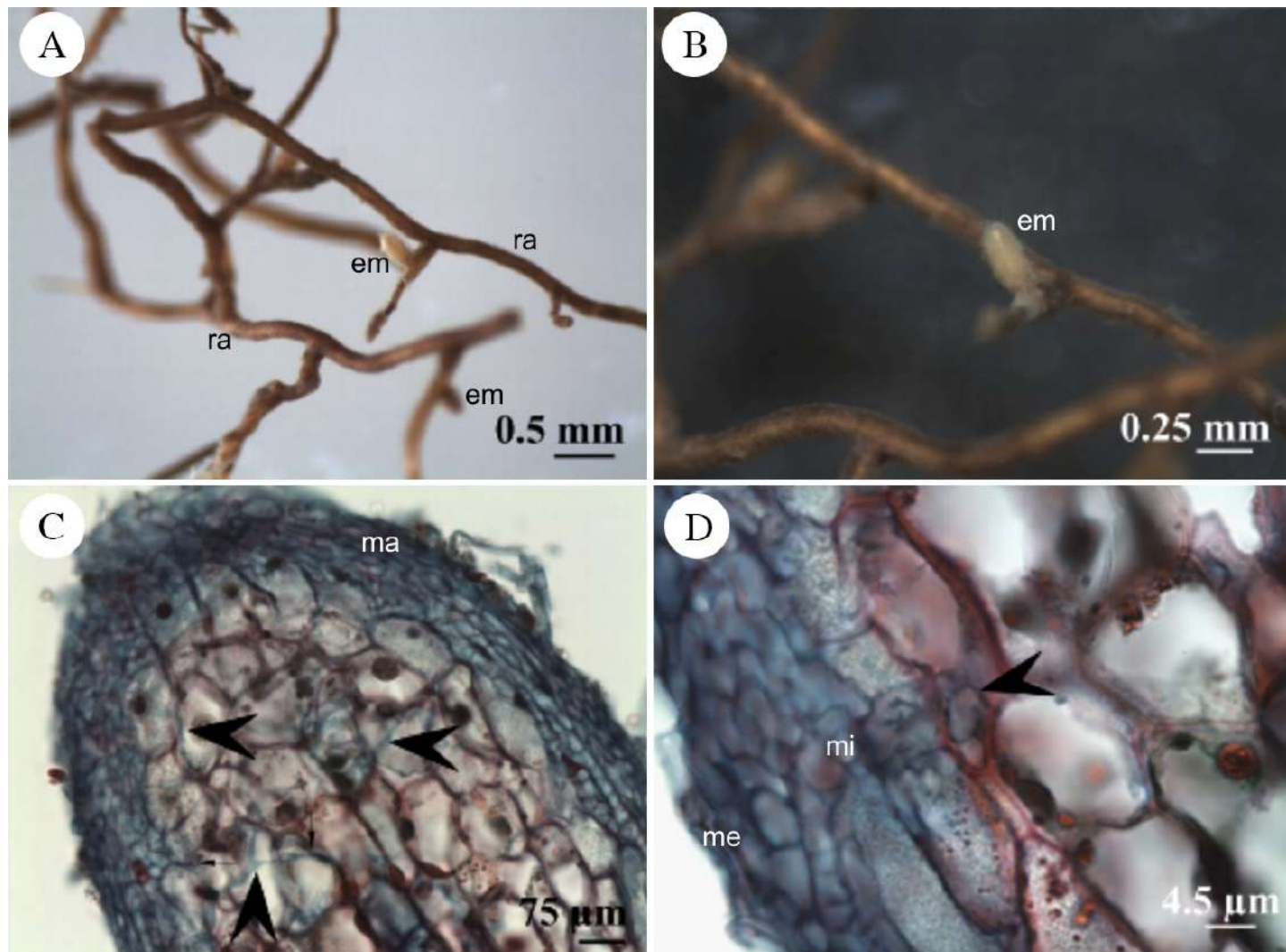


Figura S16: Ectomicorriza de Clavulinaceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. raíz (ra) con ectomicorrizas (em) pequeñas; B. acercamiento de ectomicorriza (em); C. corte longitudinal en el que se observan el manto (ma) y algunas hifas (cabecitas de flecha) entre y dentro de las células corticales; D) acercamiento de corte longitudinal, se observa el manto externo (me), manto interno (mi) y la red de Hartig paraepidermal (cabecita de flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza abundante, larga, ligeramente sinuosa, con ramificación dicotómica irregular de uno o dos órdenes (Fig. S17A); manto grueso, ligeramente viloso, color blanquecino a beige y hasta café; hifas emanentes cortas, hialinas, abundantes (Fig. S17B); sin rizomorfos; estructura interna con manto conformado por 7-10 capas de hifas (25.98-31.41 μm) (Fig. S17C); manto externo plectenquimatoso, hifas cilíndricas, septadas, sin fíbulas (4.6-10.8 \times 3.7-3.8 μm), con algunas hifas emergentes ramificadas, septadas, sin fíbulas; manto interno pseudoparenquimatoso, hifas epidermoides de diámetro variable (3.6-7.9 \times 3.9-11.11 μm); red de Hartig paraepidermal, hifas septadas, oscuras, de tamaño variable (Fig. S17D).

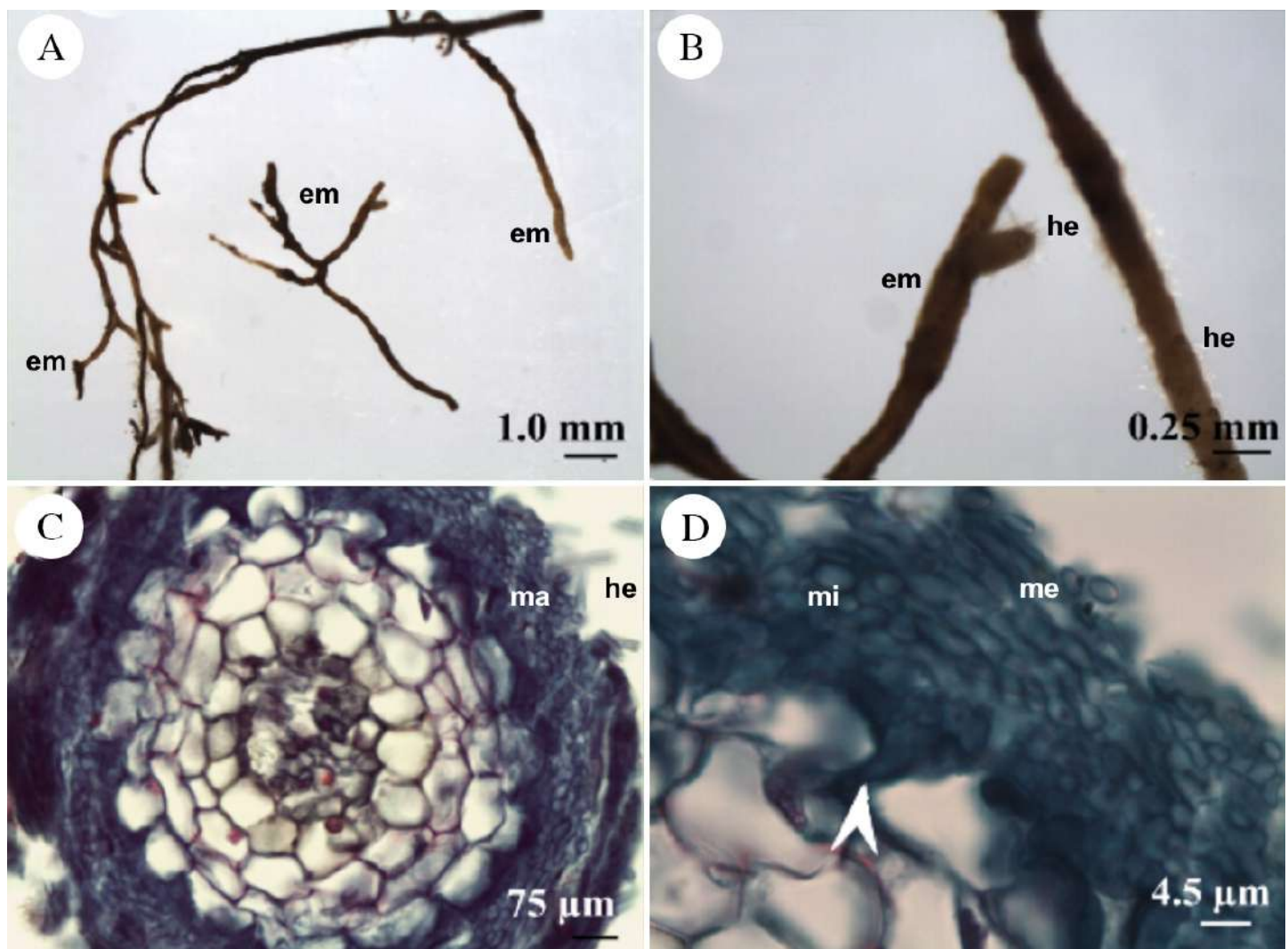


Figura S17: Ectomicorriza de Clavulinaceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. vista general de las ectomicorrizas (em); B. ectomicorrizas con abundantes hifas emanentes (he); C. corte transversal, se aprecian el grosor del manto (ma) y las hifas emanentes (he); D. acercamiento de corte transversal donde se aprecia el manto externo (me), el manto interno (mi) y la red de Hartig paraepidermal (cabeza de flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza simple, no ramificada, sinuosa, poco abundante (Fig. S18A); manto grueso, viloso, ligeramente brillante, color blanco aperlado a crema; hifas emanentes cortas, abundantes, color blanco (Fig. S18B); estructura interna con manto conformado por nueve capas de hifas (Fig. S18C); manto externo plectenquimatoso, hifas cilíndricas ($17.38\text{-}19.3 \times 121.4\text{-}132.62 \mu\text{m}$), septadas, sin fíbulas, de pared gruesa ($<1 \mu\text{m}$), hifas emergentes cilíndricas que se dicotomizan y tienen terminaciones redondeadas (Fig. S18D); manto interno de hifas cilíndricas ($13.28\text{-}15.14 \times 113.9\text{-}115.77 \mu\text{m}$); sin red de Hartig.

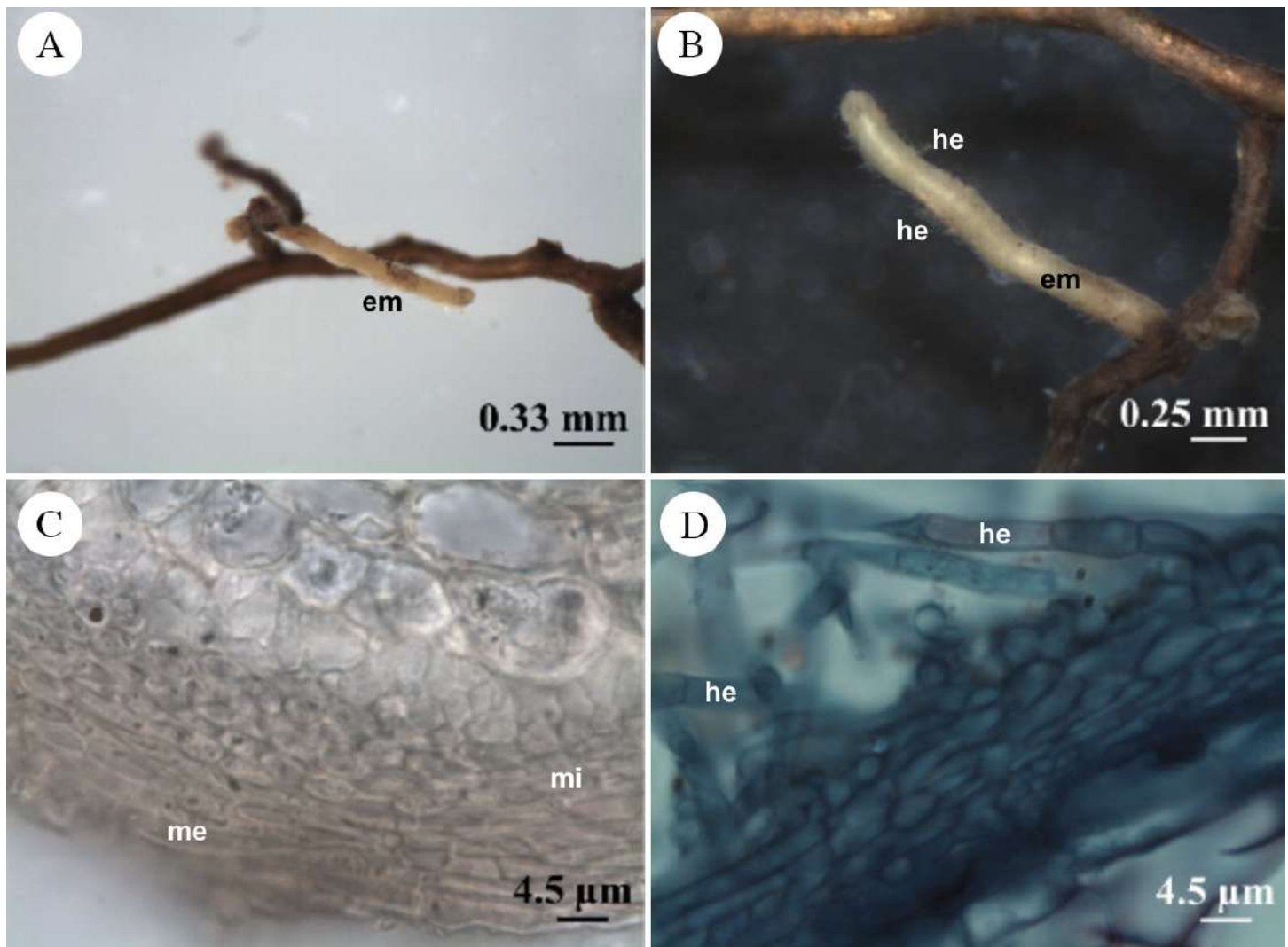


Figura S18: Ectomicorriza de Clavulinaceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. ectomicorriza (em) simple y sinuosa; B. detalle de ectomicorriza con hifas emanentes (he) cortas; C. corte transversal donde se observa el manto externo (me) y el manto interno (mi); D. corte transversal en el que se aprecian numerosas hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial irregularmente pinada, recta a sinuosa (Fig. S19A); manto grueso, semitraslúcido, viloso, color crema a café claro; hifas emanentes cortas, hialinas, erectas (Fig. S19B); sin rizomorfos; estructura interna con manto compuesto por 9-13 capas de hifas ($28.88\text{--}36.9\text{ }\mu\text{m}$) (Fig. S19C); manto externo es una transición entre plecténquima y pseudoparénquima, hifas gruesas, hifas emanentes poco abundantes, de pared gruesa ($<1\text{ }\mu\text{m}$), septadas, sin fíbulas; manto medio conformado por dos capas, primero es plectenquimatoso con hifas cilíndricas ($10.0\text{--}15.2 \times 2.1\text{--}4.2\text{ }\mu\text{m}$), después es pseudoparenquimatoso con hifas redondeadas ($3.0\text{--}5.36 \times 2.7\text{--}5.64\text{ }\mu\text{m}$); manto interno hialino, pseudoparenquimatoso, células angulares ($4.00\text{--}5.24 \times 3.45\text{--}5.41\text{ }\mu\text{m}$); sin red de Hartig.

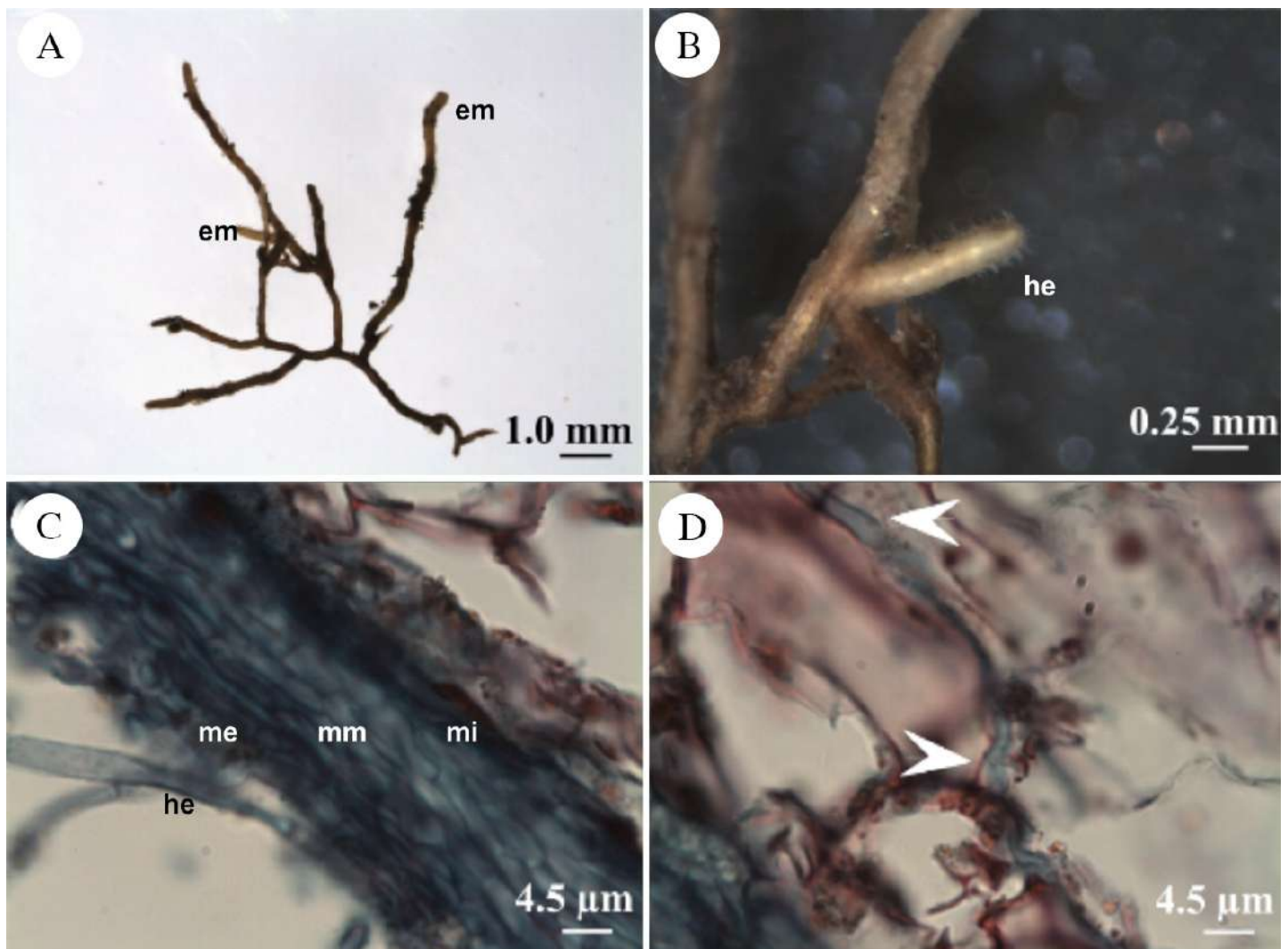


Figura S19: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. detalle de la ectomicorriza con hifas emanentes (he); C. corte longitudinal, se aprecian el manto externo (me), manto medio (mm), manto interno (mi) y algunas hifas emanentes (he); D. acercamiento de una hifa (cabecitas de flecha) penetrando las células corticales.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza poco abundante, simple, sin ramificación, sinuosa, puntas cilíndricas; manto parcial que cubre desde la parte media de la raíz terciaria, liso, brillante, color dorado opaco; hifas emanentes distales; sin rizomorfos (Figs. S20A, B).



Figura S20: Ectomicorriza de hongo no identificado asociado a Nyctaginaceae. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. detalle de la ectomicorriza con hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza larga, monopodial, no ramificada, sinuosa (Fig. S21A); manto melanizado, grueso, tomentoso-granuloso, opaco, color negro; hifas emanentes abundantes especialmente en la parte proximal, muy cortas, color café oscuro (Fig. S21B); sin rizomorfos; estructura interna con manto conformado por 10-17 capas de hifas ($46.23\text{--}71.59\text{ }\mu\text{m}$) (Fig. S21C); manto externo plectenquimatoso, hifas emanentes cilíndricas, rectas, septadas, con fíbulas, color café oscuro ($2.16\text{--}3.85 \times 7.41\text{--}19.06\text{ }\mu\text{m}$), de pared gruesa ($<1\text{ }\mu\text{m}$); manto medio es una transición entre pseudoparénquima y plecténquima, hifas ovaladas ($6.2\text{--}9.7 \times 2.7\text{--}5.8\text{ }\mu\text{m}$); manto interno hialino, hifas epidermoides pequeñas ($3.7\text{--}8.1 \times 3.0\text{--}6.9\text{ }\mu\text{m}$) (Fig. S21D); red de Hartig hialina, infrecuentemente lobulada, paraepidermal en más de una capa de células corticales.

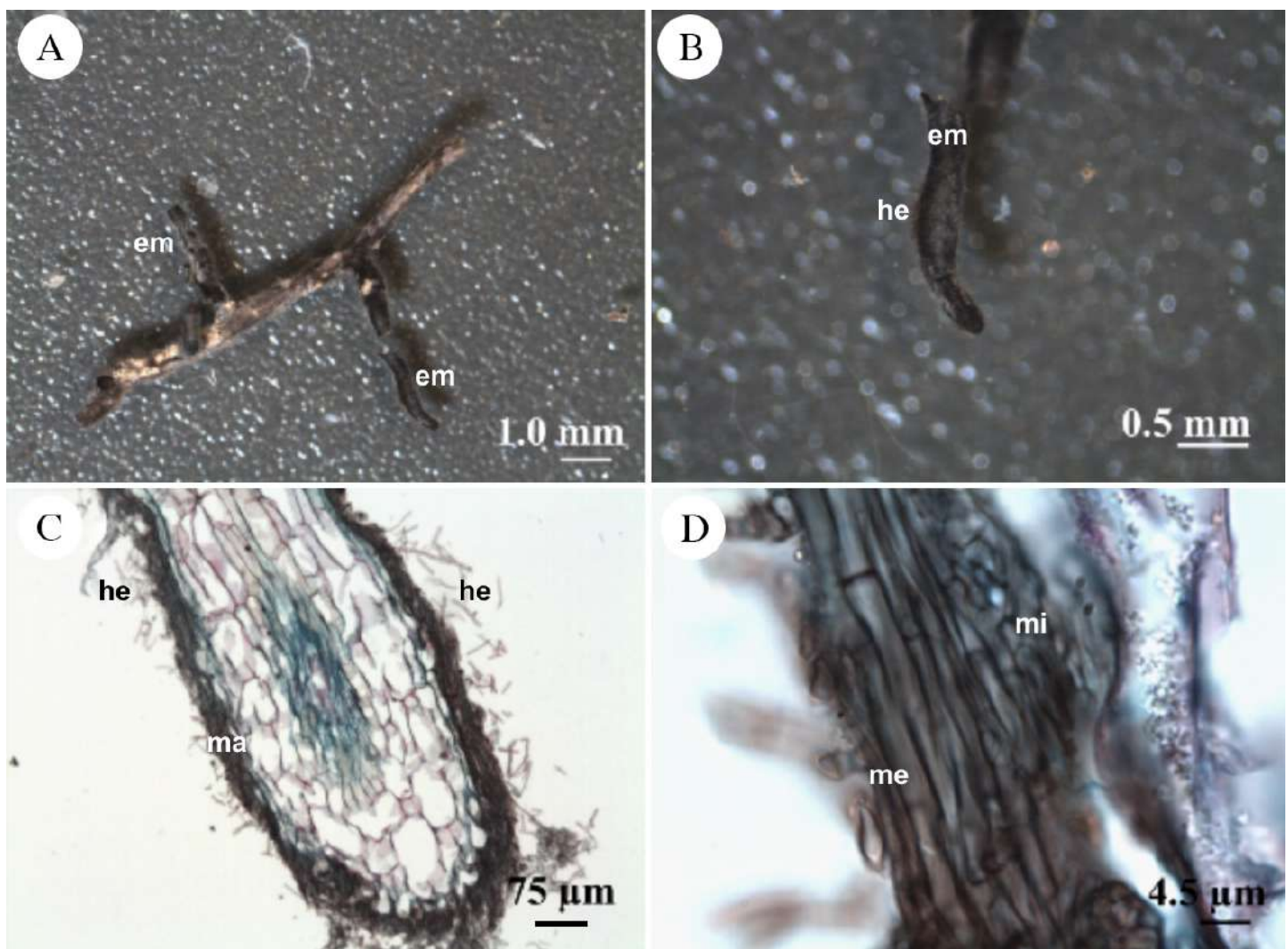


Figura S21: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una especie no identificada de Nyctaginaceae. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. detalle de la ectomicorriza con hifas emanentes (he) cortas; C. corte transversal donde se observa el manto (ma) y las hifas emanentes (he); D. acercamiento del manto melanizado en el que se distinguen el manto externo (me) y el manto interno (mi).

Apéndice. Continuación.

Micorrizas de Polygonaceae

Las ectomicorrizas de *Coccoloba* P. Browne presentan mantos gruesos que, total o parcialmente (zonaciones), recubren la raíz terciaria, en ocasiones también recubren la raíz secundaria; generalmente presentan micelio externo muy abundante y evidente; la red de Hartig es evidente y paraepidermal. En *Ruprechtia* C.A. Mey. se encontraron micorrizas arbusculares que presentan hifas intraradicales, vesículas y ovillos (penetración de tipo *Paris*). Adicionalmente se encontraron hongos endófitos oscuros septados.

Ectomicorriza grande, pinnada dicotómica (Fig. S22A); manto lanoso, color café olivo; micelio externo muy abundante, color café; cordones miceliares color café claro; rizomorfos cilíndricos, lanosos, conectados a la mitad de la ectomicorriza, color café oscuro, envueltos densamente en hifas emanantes color café (Fig. S22B).



Figura S22: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una especie de Polygonaceae. A. ectomicorriza (em), micelio externo (mie), cordones miceliares (cm) y rizomorfos (ri); B. se aprecian la ectomicorriza (em), micelio externo (mie), cordones miceliares (cm) y raicillas no micorrizadas (rnm).

Ectomicorriza muy fina, irregularmente pinnada a dicotómica, ligeramente sinuosa a curvada, se adelgaza desde la base de cada ramificación; manto liso a aracnoide, traslúcido, variable en color, este de blanquecino a café a grisáceo; hifas emanantes cortas de color blanco a hialinas (Figs. S23A, B).

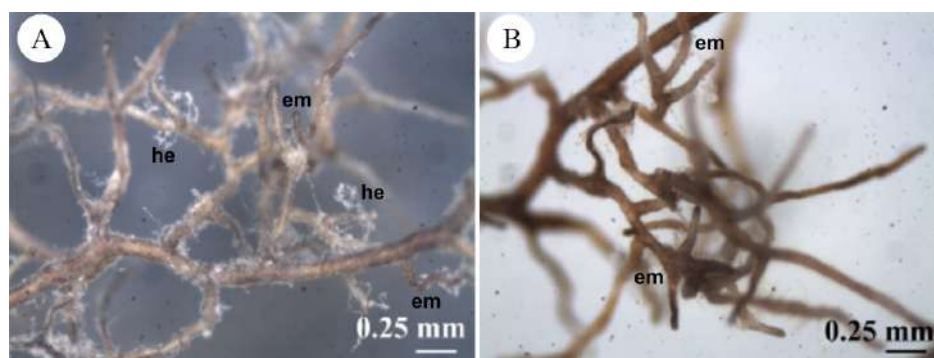


Figura S23: Ectomicorriza de un hongo no identificado asociado a Polygonaceae. A. ectomicorrizas (em) muy finas con hifas emanantes (he); B. ectomicorrizas con manto delgado traslúcido.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza simple, monopodial pinnada, curva (Fig. S24A); manto algodónoso, color café claro con tonalidades amarillentas, las puntas son color café más oscuro que el resto; micelio externo abundante, largo, delgado, color café claro (Fig. S24B); sin rizomorfos.

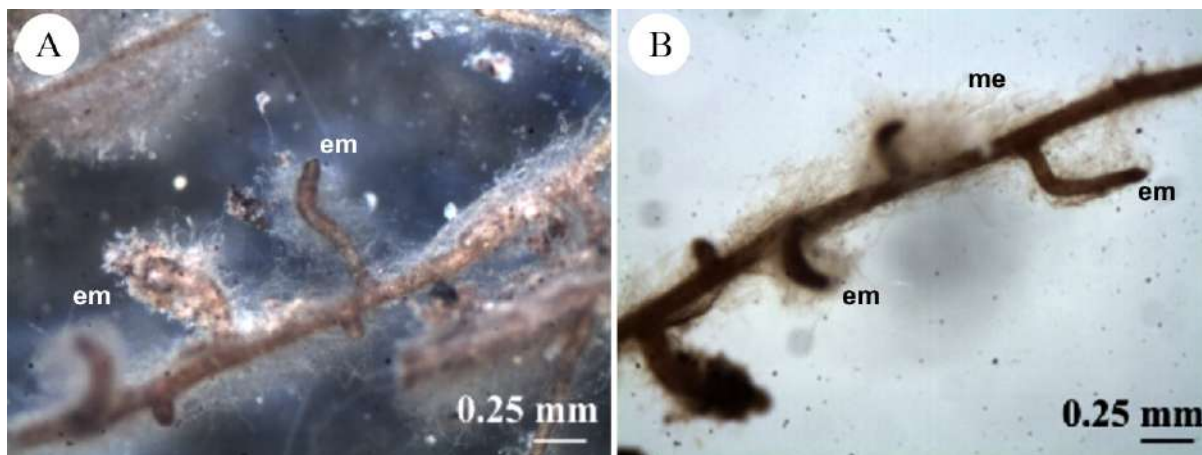


Figura S24: Ectomicorriza de un hongo no identificado asociado a una planta de la familia Polygonaceae. A. vista general de las ectomicorrizas (em) con manto algodónoso; B. ectomicorrizas con abundante micelio externo (me).

Ectomicorriza no ramificada, sinuosa, punta redonda no engrosada; manto opaco, ligeramente lanoso, color café a café oscuro; hifas emanantes abundantes, largas en la parte distal y proximal, cortas en la parte central; sin rizomorfos (Fig. S25).



Figura S25: Ectomicorriza sinuosa (punta de flecha) de *Cocoloba barbadensis* Jacq. con hifas emanantes abundantes (flechas).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza larga, delgada, monopodial pinada; manto lanoso, muy grueso, color café olivo a café; micelio externo muy abundante, hifas emanentes muy largas, color café claro a café rojizo; rizomorfos lanosos, color café claro a café rojizo (Figs. S26A, D); estructura interna con manto muy grueso de incontables capas de hifas; manto externo plectenquimatoso, conformado por seis capas de hifas cilíndricas de pared gruesa, color café rojizo claro, septadas, fíbulas muy evidentes (Fig. S26B); manto interno compacto plectenquimatoso, conformado por 2-3 capas de hifas color café oscuro; red de Hartig epidermal (Fig. S26C).

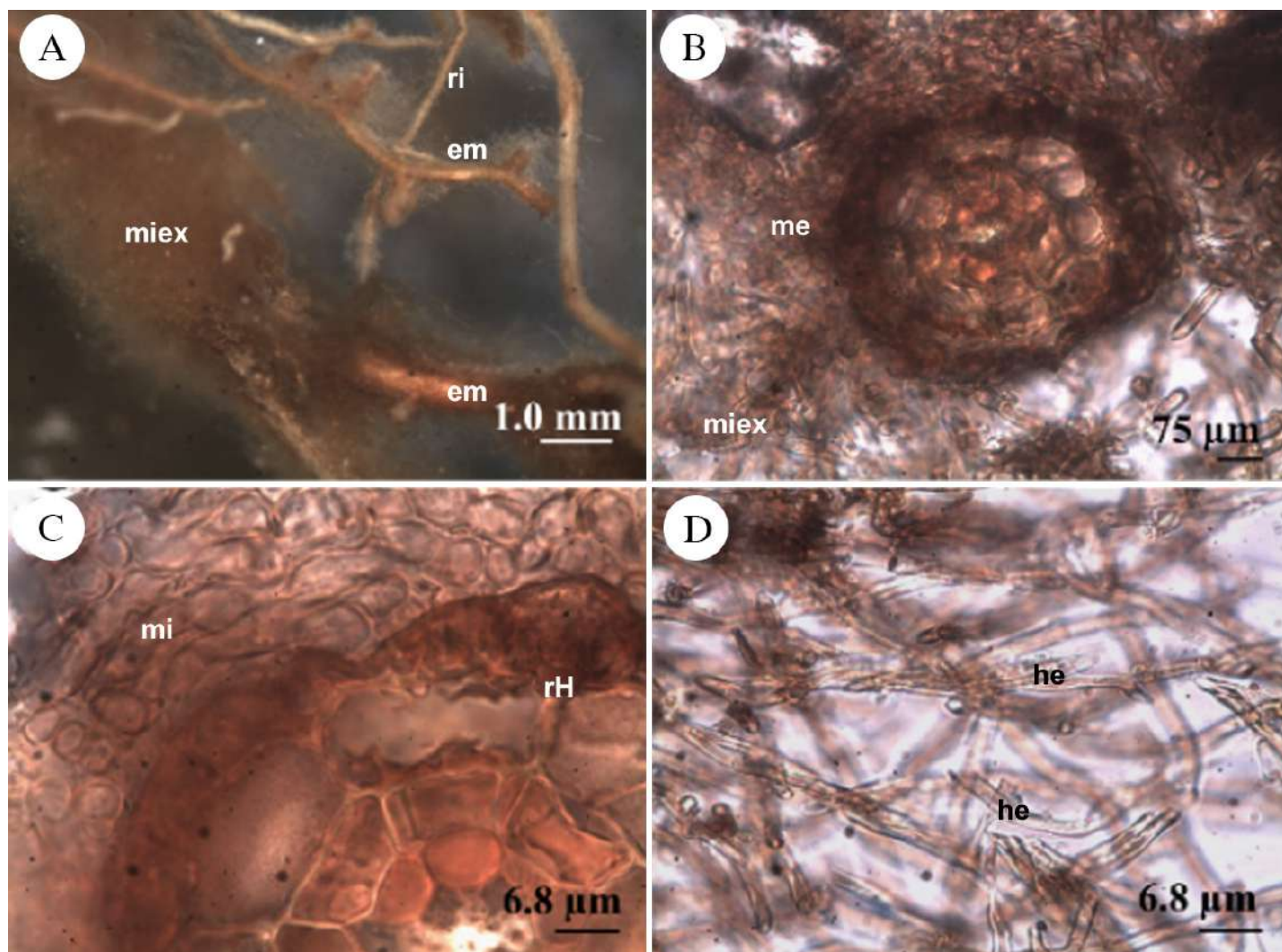


Figura S26: Ectomicorriza de hongo no identificado asociado a Polygonaceae. A. vista general de las ectomicorrizas (em) donde se aprecia abundante micelio externo (miex) y rizomorfos (ri); B. corte transversal en el que se aprecia el manto externo (me) y micelio externo; C. acercamiento de corte transversal donde se aprecia el manto interno (mi) y la red de Hartig (rH) epidérmica; D. hifas emanentes (he) del micelio externo.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, ligeramente ondulada, punta redonda no engrosada; manto opaco, grueso, lanoso, color café olivo a café oscuro; hifas emanentes abundantes, largas en la parte proximal, cortas en la parte distal, color café claro; sin rizomorfos (Fig. S27).



Figura S27: Ectomicorriza lanosa (punta de flecha) de *Coccoloba barbadensis* Jacq. con hifas emanentes abundantes (flecha).

Ectomicorriza no ramificada, curva, punta estrecha; manto grueso, opaco, algodonoso, color ocre a café, blanco en la parte distal; hifas emanentes muy abundantes, entramadas, más abundantes en la parte distal; sin rizomorfos (Fig. S28).



Figura S28: Ectomicorriza de *Coccoloba barbadensis* Jacq. Se aprecia el manto (ma) lanoso y las hifas emanentes (he) más abundantes en la parte distal.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, gruesa, claviforme, punta estrecha; manto grueso, opaco, lanoso, color castaño oscuro; hifas emanantes abundantes, largas, ausentes en la parte proximal, hialinas o color café, con hifas de exploración más gruesas (Figs. S29A, B); sin rizomorfos; hifas emanantes lisas, sinuosas, algunas con ramificación aguda cercana al septo, fibuladas, pared refringente, gruesa y uniforme (Figs. S29C, D).

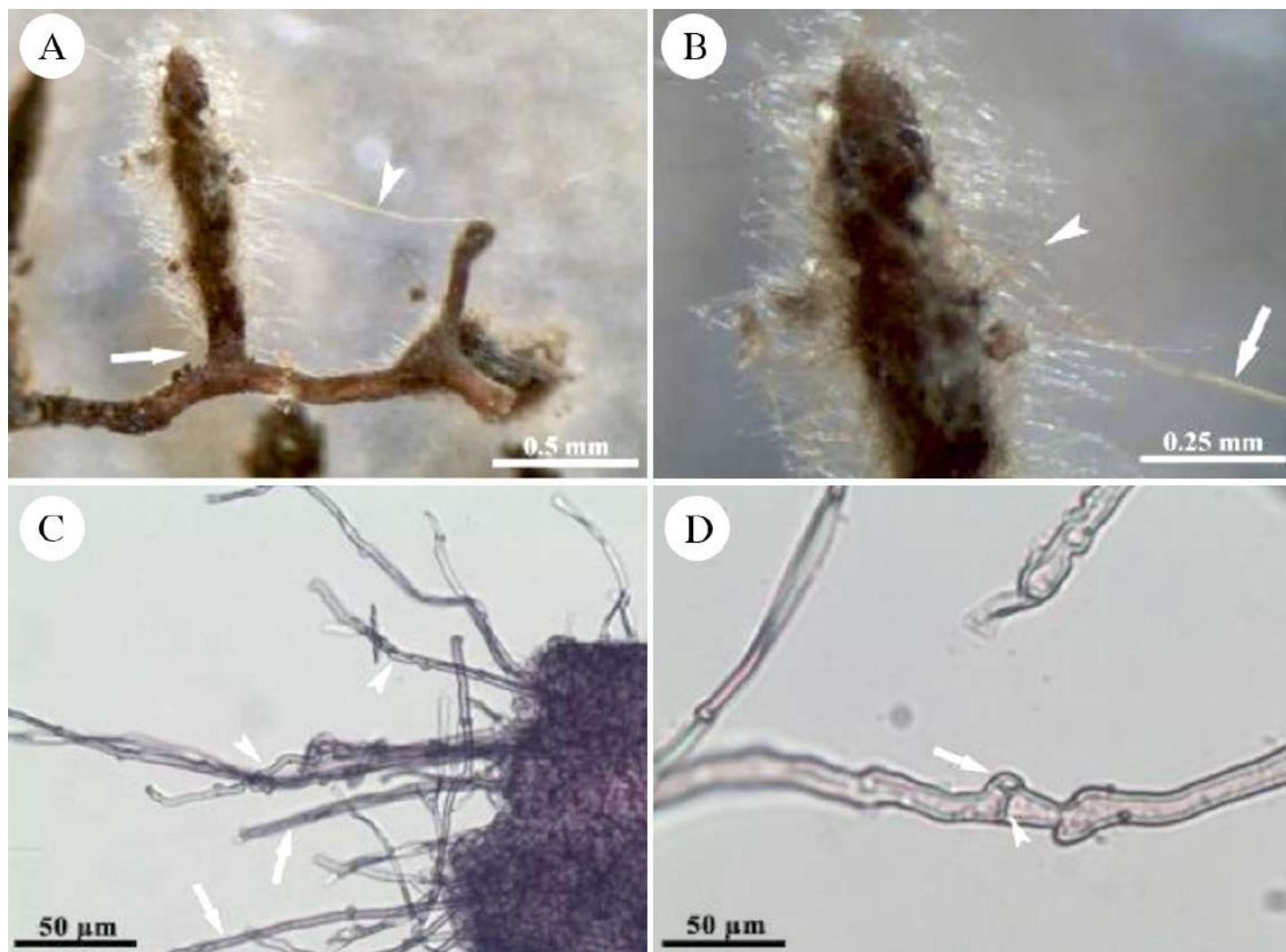


Figura S29: Ectomicorriza de un hongo no identificado en Polygonaceae. A. ectomicorriza (flecha) e hifa de exploración (punta de flecha); B. detalle donde se aprecian las hifas emanantes (punta de flecha) y la hifa de exploración (flecha); C. hifas rectas (flechas) y sinuosas (puntas de flecha); D. hifas refringentes con septo (punta de flecha) y fibula (flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial pinada, larga, sinuosa, ancho heterogéneo, puntas claviformes o redondas (Fig. S30A); manto lanoso, grueso, opaco, color café oscuro; hifas emanentes abundantes, distribuidas por zonas, cortas a medias, color café claro a café olivo; con cordones miceliares color negro (Fig. S30B); sin rizomorfos.

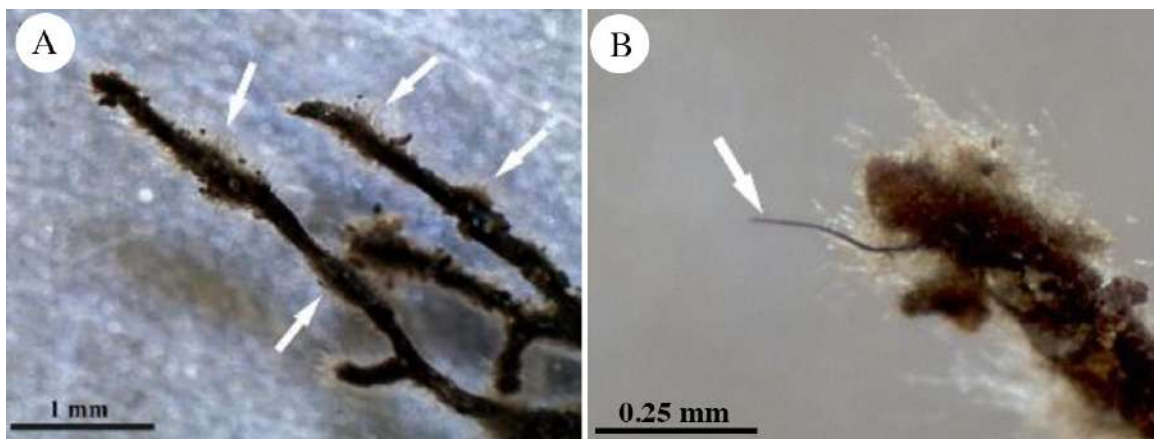


Figura S30: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. A. vista general de la ectomicorriza donde se observa la zonación de las hifas emanentes (flechas); B. cordón micelial en la punta de la ectomicorriza (flecha).

Ectomicorriza no ramificada, recta, punta clavada; manto visible, delgado y semitraslúcido en la punta, sutilmente lanoso, parte proximal color café oscuro, el resto color café claro (Fig. S31); hifas emanentes cortas; sin rizomorfos.



Figura S31: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. Se aprecia el manto lanoso (ma), la punta traslúcida (flecha) e hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial pinada, sinuosa a ligeramente tortuosa, puntas sutilmente estrechas y digitiformes (Fig. S32A); manto grueso, opaco, algodónoso, las zonas maduras son color café y las jóvenes, color crema a café claro (Fig. S32B); hifas emanentes muy abundantes, cortas a medianas, color blanco a café claro (Figs. S32C, D); sin rizomorfos.

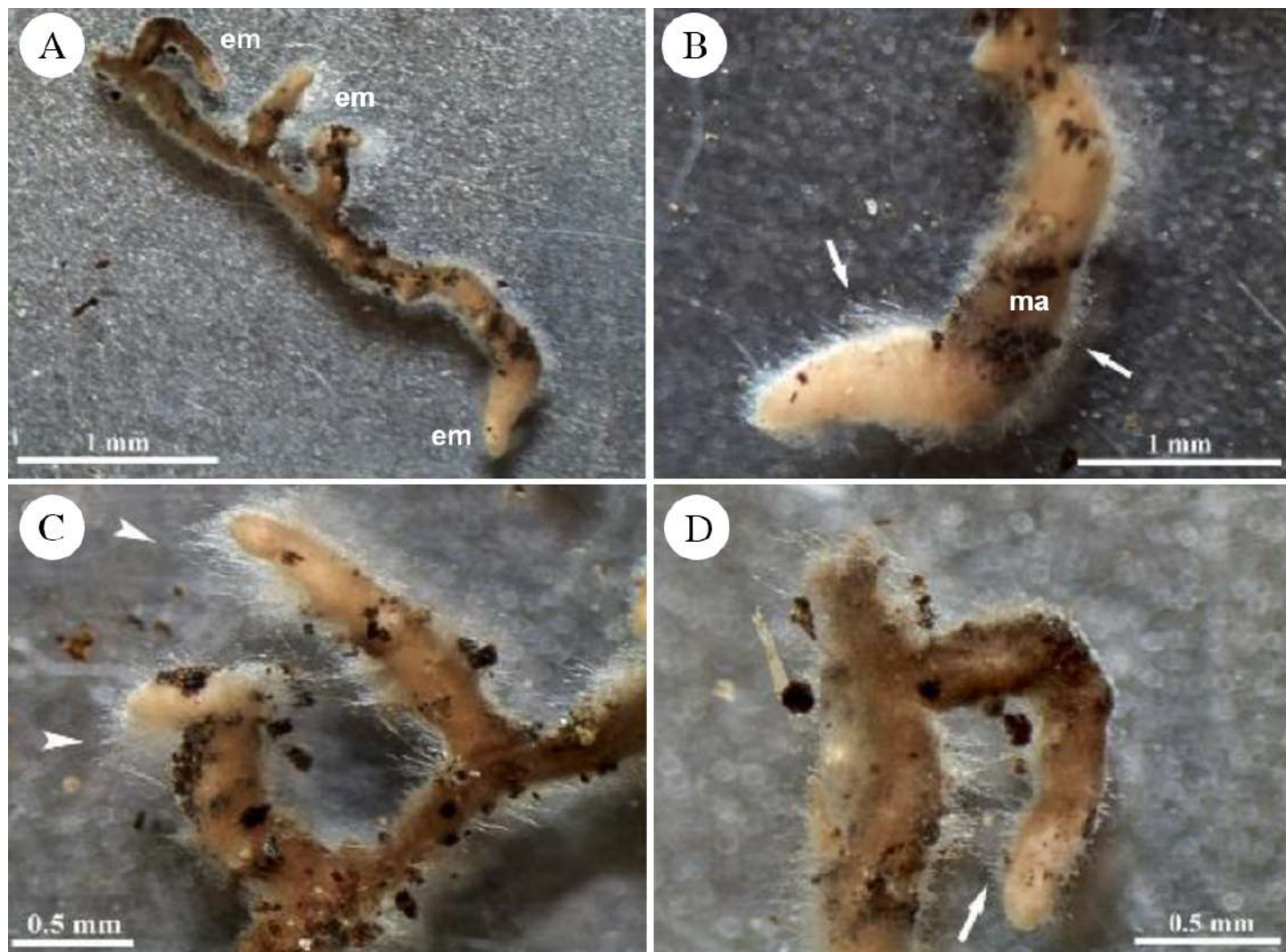


Figura S32: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. acercamiento de la parte apical donde se observa el manto algodónoso (ma) e hifas emanentes cortas (flechas); C. ramificaciones de la parte media con hifas emanentes de longitud media (puntas de flecha); D. acercamiento a la parte posterior con hifas emanentes cortas (flechas).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza no ramificada, curva, punta sinuosa y estrecha; manto grueso, estrigoso, opaco, color café oscuro, con numerosas partículas del suelo adheridas; hifas emanentes abundantes, largas, hirsutas, color café; sin rizomorfos (Fig. S33).



Figura S33: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. Se aprecian la parte apical (pa) estrecha, hifas emanentes medianas (flecha blanca), cortas (punta de flecha) y largas (flecha negra).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, sinuosa, punta roma; manto grueso, opaco, estrigoso, color café oscuro; hifas emanentes muy abundantes, hirsutas, rectas, color café a café olivo, en la parte proximal las hifas son largas rectas (Figs. S34A, B), mientras que en la parte apical son cortas y tortuosas; sin rizomorfos.



Figura S34: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. A. vista general done se observan hifas emanentes largas e hirsutas (flecha blanca) e hifas emanentes cortas y tortuosas (flecha negra); B. acercamiento de la parte proximal, se aprecia el manto (ma) estrigoso y las hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza dicotómica irregular con un solo origen de ramificación, sinuosa, larga, puntas redondas no engrosadas; manto lanoso, delgado, color café, se aprecian las células epidérmicas de la raíz (Fig. S35A); hifas emanentes abundantes, de cortas a largas, zonadas, de dos tipos translúcidas color blanco y café, gruesas (Figs. S35A, B); sin rizomorfos.

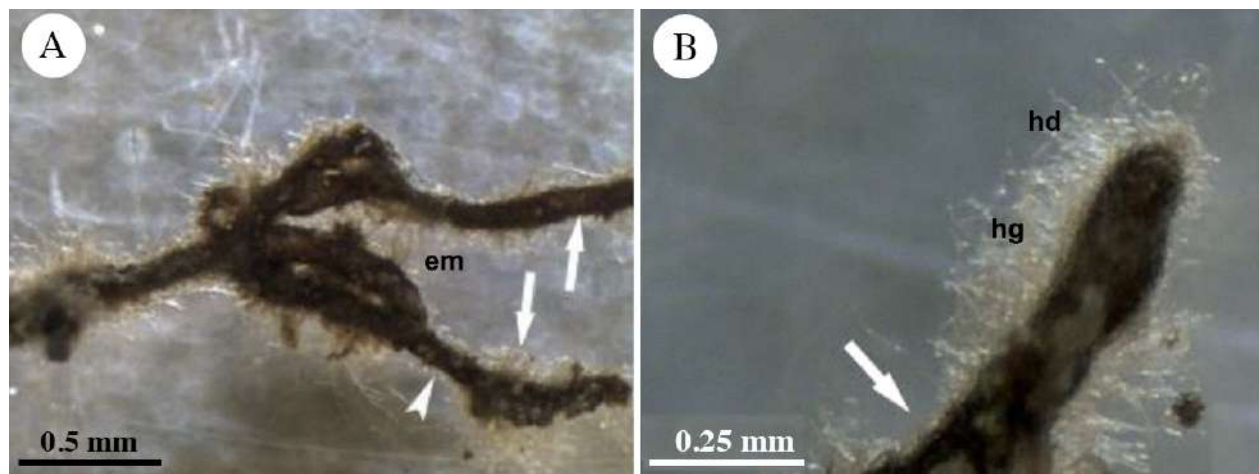


Figura S35: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. A. ectomicorriza (em) con hifas emanentes abundantes (flecha) y zonas sin hifas emanentes (punta de flecha); B. punta de ectomicorriza con zonas sin hifas emanentes (flecha), se aprecian hifas delgadas y translúcidas (hd) e hifas gruesas de color café (hg).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, recta a curvada, puntas redondas no engrosadas; manto opaco, liso, color café a café oscuro; hifas emanentes escasas, cortas y medianas, refringentes; hifas de exploración color rojizo (Fig. S36); sin rizomorfos.

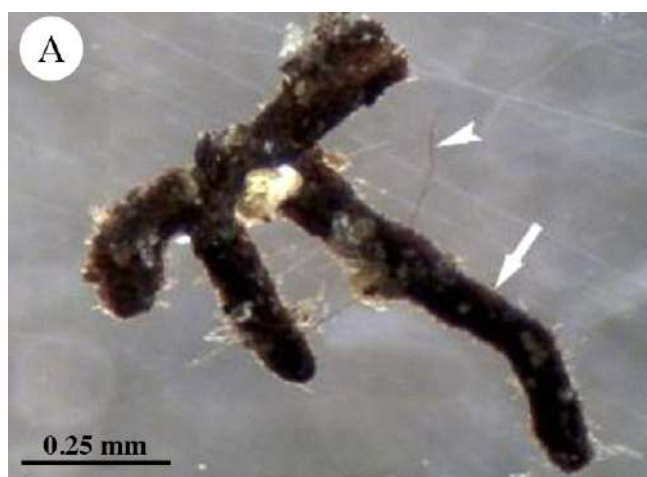


Figura S36: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba barbadensis* Jacq. Se observa el manto liso (flecha) e hifas de exploración (punta de flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza senescente, ramificada, dicotómica, recta a angular, puntas redondeadas; manto lanoso, delgado, laxo, se observan las células de la epidermis de la raíz, color café; hifas emanentes abundantes, uniformemente distribuidas, largas (Fig. S37); sin rizomorfos.

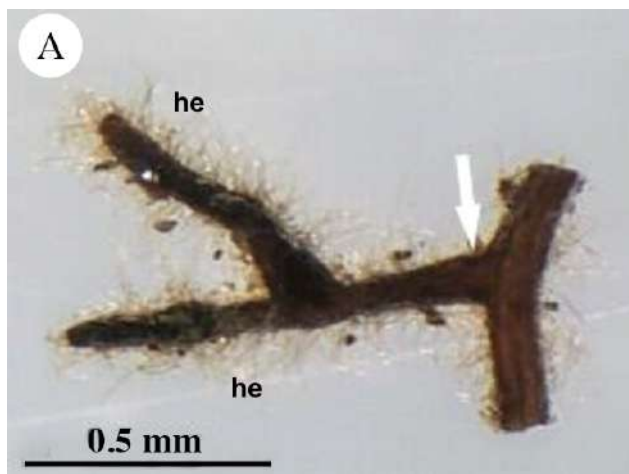


Figura S37: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se aprecian las hifas emanentes (he) y las células de la epidermis a través del manto laxo (flecha).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, recta, extremo distal ligeramente inflado; manto algodonoso, grueso, opaco, color café, un poco laxo y traslúcido en la punta; hifas emanentes abundantes, medianas, tortuosas, más abundantes en la parte distal, color café claro (Fig. S38); sin rizomorfos.

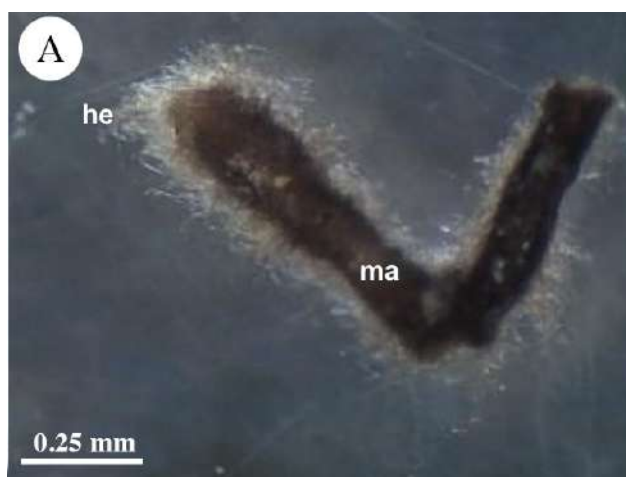


Figura S38: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se aprecia el manto (ma) algodonoso y las hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, recta, tenuemente curvada, punta redonda; manto grueso, lanoso, color marrón amarillento con algunas zonas más oscuras; hifas emanentes abundantes, medianas, tortuosas, entramadas densamente en la parte apical, en la parte proximal son más largas y libres (Fig. S39); sin rizomorfos.



Figura S39: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. En la parte apical se aprecian hifas emanentes tortuosas y entramadas (flecha), en la parte proximal están libres (punta de flecha).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, sinuosa, punta un poco ensanchada; manto lanoso, opaco, con zonas hialinas especialmente hacia la base, la punta semitransparente color café a café olivo (Fig. S40A); hifas emanentes en gradiente, desde cortas en la parte proximal hasta largas en la parte distal, color café claro (Fig. S40B); sin rizomorfos.

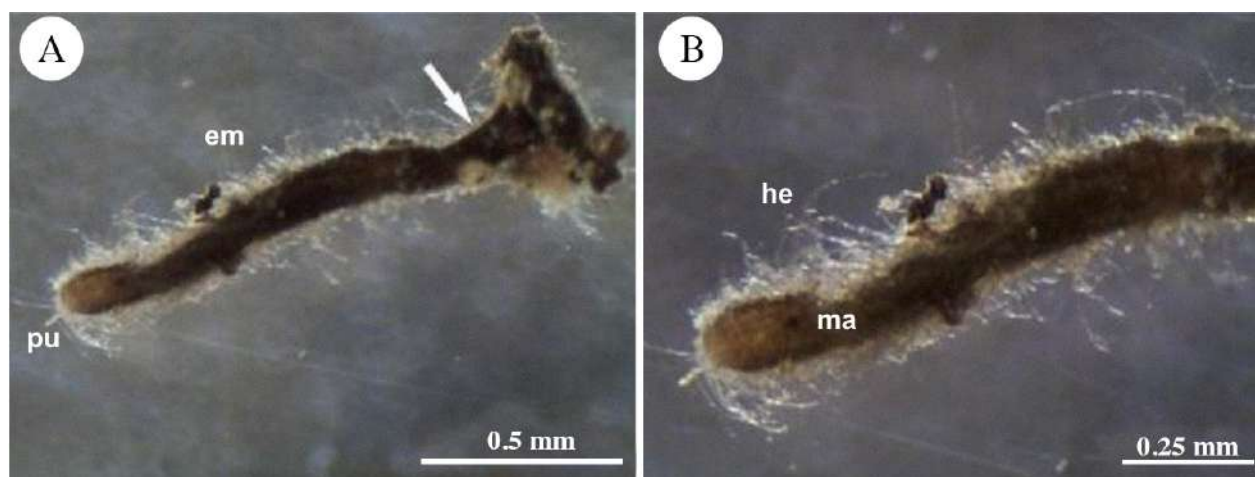


Figura S40: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza (em), se aprecia la punta (pu) ensanchada y una zona con manto hialino en la base (flecha); B. acercamiento a la parte apical donde se observa la punta con manto (ma) hialino y las hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, ligeramente tortuosa, punta clavada; manto algodónoso, laxo, translúcido, no cubre la punta, color crema en la parte próxima y media, y hialino en la parte distal (Fig. S41A); por lo tanto, en esta zona se observan las células de la epidermis de la raíz (Fig. S41B); hifas emanantes abundantes, medianas a cortas, entramadas; sin rizomorfos.

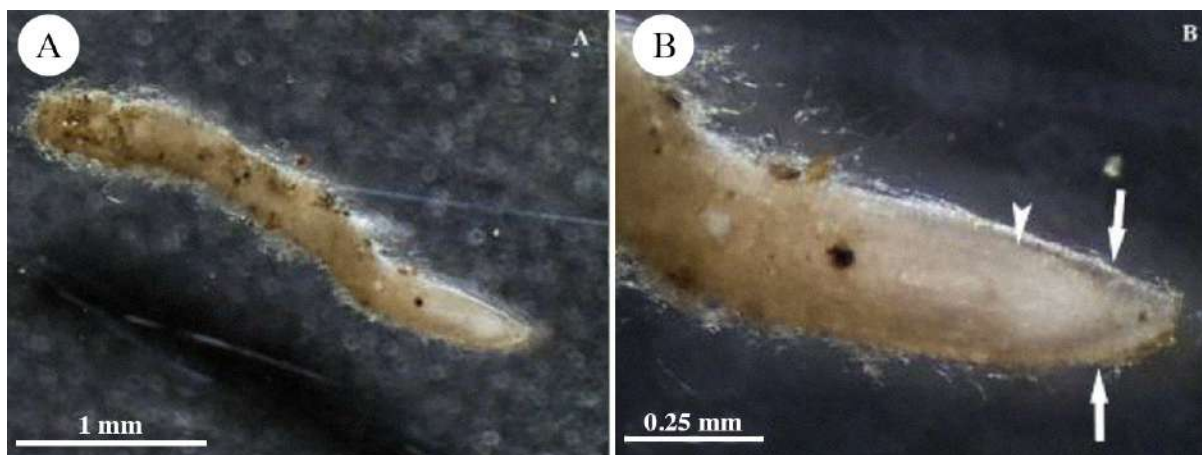


Figura S41: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza; B. acercamiento de la punta donde se observan las células epidérmicas (flecha) y el manto hialino (punta de flecha).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada ligeramente curvada, punta redonda; manto delgado, poco translúcido, ligeramente algodónoso, color café a café oscuro, punta color café claro; hifas emanantes cortas a largas, más abundantes en la parte media (Fig. S42); sin rizomorfos.

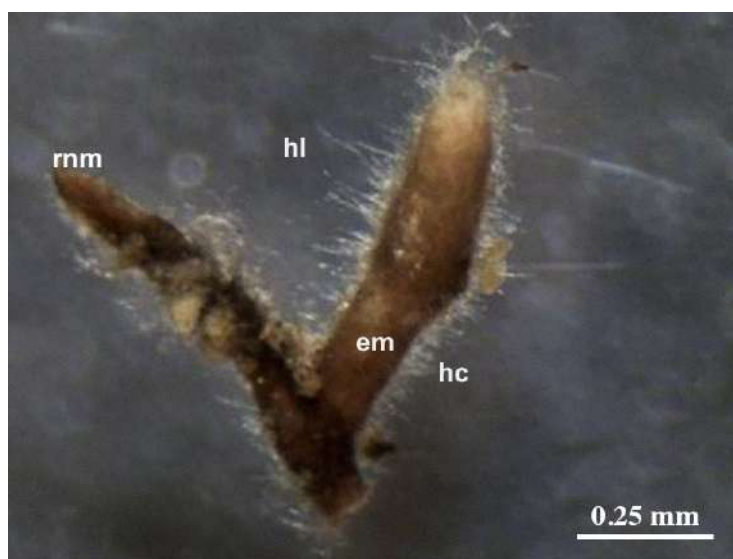


Figura S42: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se observan la ectomicorriza (em) y la raíz no micorrizada (rnm), hifas emanantes cortas (hc) y largas (hl).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, digitiforme, curva, punta engrosada gradualmente; manto evidente, lanoso, opaco, color amarillento en la punta, el resto es color castaño; hifas emanentes abundantes, largas, entramadas, color café claro, envuelven la parte distal (Fig. S43); sin rizomorfos.



Figura S43: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccotheca liebmannii* Lindau. Se aprecia el engrosamiento en la parte apical (pa), manto (ma) lanoso e hifas emanentes (he).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial pinnada, tortuosa, irregular, ramificaciones con puntas redondas, eje principal con punta aguda (Fig. S44A); manto evidente, opaco, ligeramente lanoso, color café a café oscuro; hifas emanentes rectas a onduladas, no ramificadas (Fig. S44B), de pared gruesa, refringente, septadas, fibuladas (Fig. S44C); sin rizomorfos.

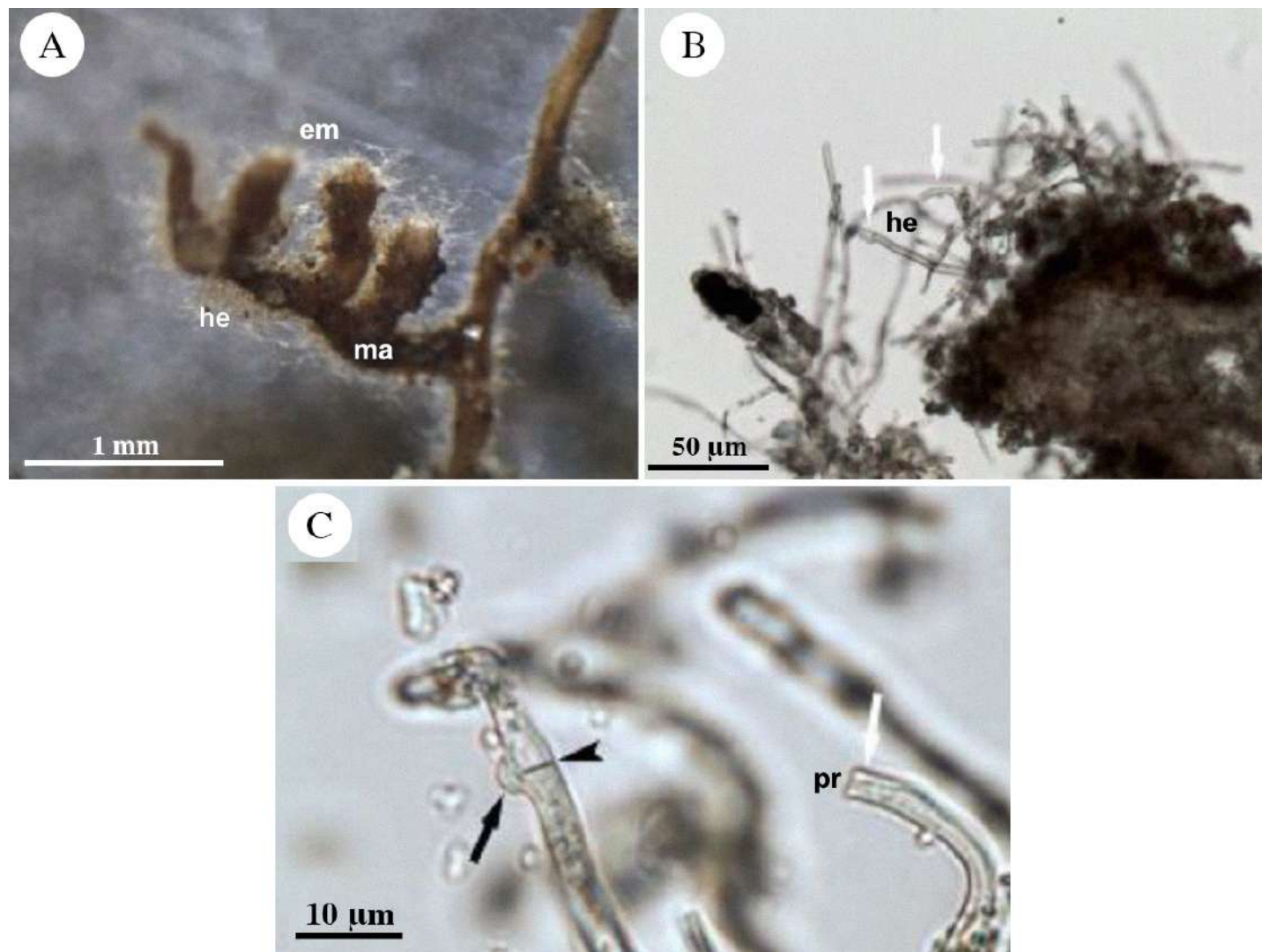


Figura S44: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccoloba liebmanni* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza (em), se aprecia el manto (ma) y las hifas emanentes (he); B. hifas emanentes (he, flechas) rectas a onduladas; C. detalle de las hifas emanentes con fíbula (flecha negra), septo (punta de flecha) y pared refringente (pr) (flecha blanca).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, sinuosa a ligeramente tortuosa, muy larga y delgada, irregularmente ensanchada; manto evidente, opaco, lanoso, cubre desde la parte proximal hasta la parte media de la raíz dejando el extremo proximal no micorrizado, color café oscuro (Fig. S45A); hifas emanentes abundantes, medianas, enredadas, color café claro (Fig. S45B); sin rizomorfos.

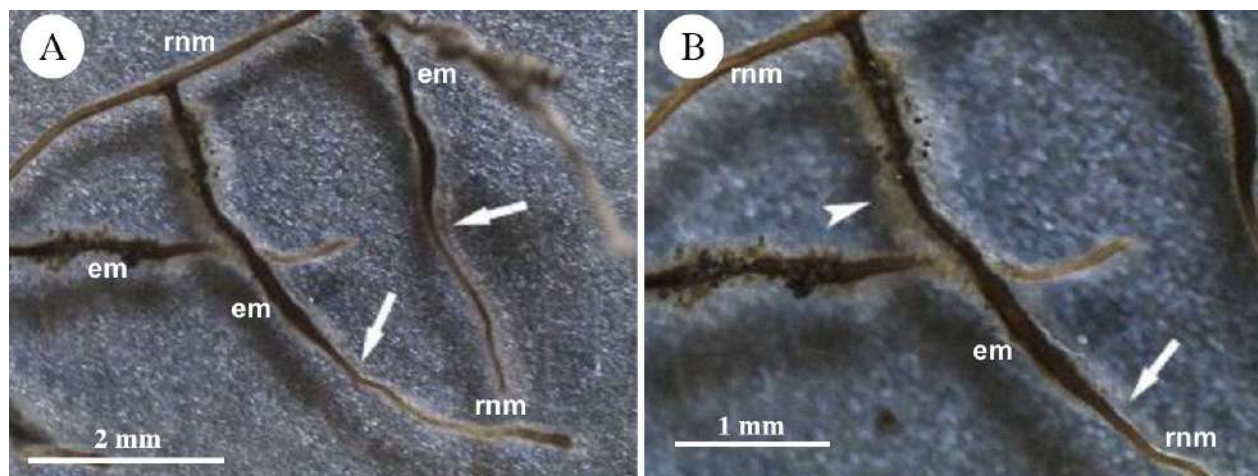


Figura S45: Ectomicorriza de un hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza (em), se observa el límite del manto (flechas) y raíces no micorrizadas (rnm); B. acercamiento donde se aprecian las hifas emanentes enredadas (punta de flecha) y el límite de la micorriza cubierta (flecha).

Ectomicorriza monopodial no ramificada, larga, sinuosa, punta clavada; manto zonado, algodonoso, semitransparente, hialino, más denso en la zona proximal y en la distal sin cubrir la punta de la raíz, las células epidérmicas de la raíz son evidentes especialmente en la parte media, color café claro; hifas emanentes largas en la parte proximal y distal y cortas en la parte media, color blanquecino a café claro (Fig. S46); sin rizomorfos.



Figura S46: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se aprecia el manto (ma) más grueso en las zonas proximal y distal y las hifas emanentes (flechas).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, ligeramente curvada, punta clavada (Fig. S47A); manto lanoso evidente, opaco, no cubre la parte proximal, color café obscuro a negro; hifas emanentes medianas, abundantes en la parte media y ausentes en la punta, algunas de color café claro y otras oscuras (Fig. S47B); sin rizomorfos.

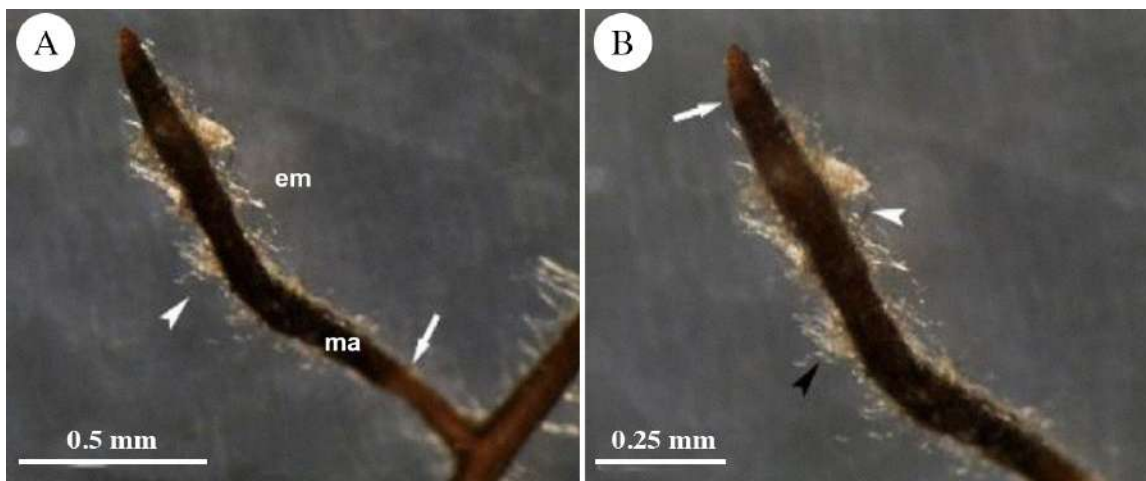


Figura S47: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Cocoloba liebmanni* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza (em), se observa el manto (ma) parcial, raíz no micorrizada (flecha) e hifas emanentes (punta de flecha); B. acercamiento, se observa la punta sin hifas emanentes (flecha), hifas tortuosas claras (punta de flecha negra), e hifas emanentes oscuras (punta de flecha blanca).

Ectomicorriza monopodial no ramificada, larga, sinuosa, punta redonda (Fig. S48A); manto evidente, lanoso con zonas hirsutas, opaco, color café rojizo obscuro y la punta color castaño; hifas emanentes abundantes, medianas y entramadas en la parte media y largas y paralelas en la distal, color café a dorado (Fig. S48B); sin rizomorfos.

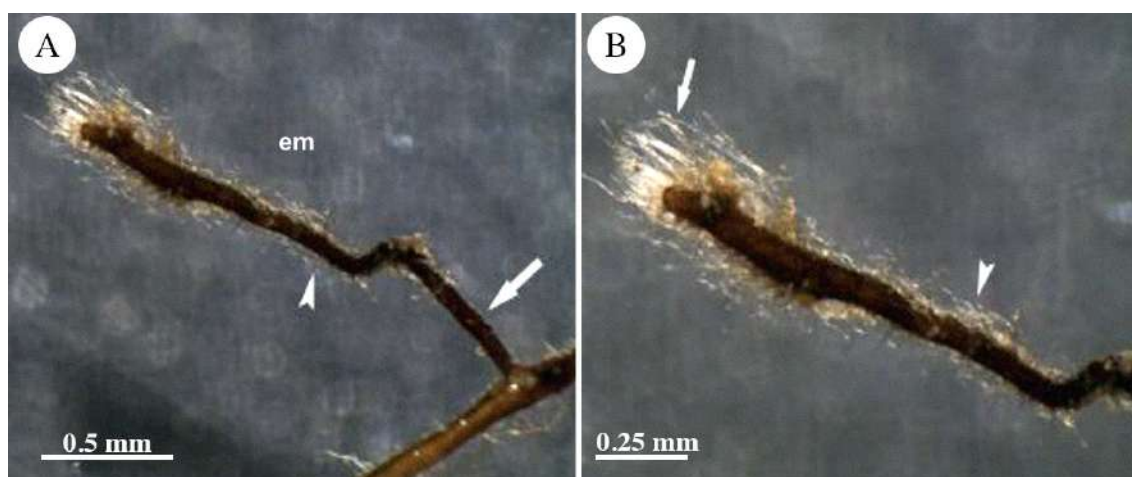


Figura S48: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Cocoloba liebmanni* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza (em) donde se observan hifas emanentes medianas en la parte media (punta de flecha) y la zona proximal sin hifas (flecha); B. acercamiento donde se aprecian las hifas emanentes entramadas (punta de flecha) e hifas emanentes paralelas (flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, recta; manto delgado, hirsuto, traslúcido, se observa a través de él la epidermis de la raíz, color café a café claro; hifas emanentes abundantes, medianas, traslúcidas a color café claro (Fig. S49); sin rizomorfos.



Figura S49: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Cocoloba liebmanni* Lindau. Se observa un manto hialino que permite ver la epidermis de la raíz (flecha).

Ectomicorriza monopodial no ramificada, tortuosa, punta engrosada; manto algodonoso, evidente, hialino, no cubre la raíz en la parte proximal, color café a café claro en la punta; hifas emanentes largas, abundantes, entrelazadas, color café claro (Fig. S50); sin rizomorfos.



Figura S50: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Cocoloba liebmanni* Lindau. Se observan hifas emanentes entrelazadas (punta de flecha blanca), en la parte proximal el manto es hialino (flecha blanca) y no cubre completamente la raíz (flecha negra).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial pinada, ramificación irregular simple, ligeramente sinuosa, puntas infladas (Fig. S51A); manto zonado evidente, grueso, hirsuto a ligeramente algodonoso, cubre parcialmente la raíz dejando libre la parte media, zona proximal color negro, zona distal color café a café rojizo oscuro; hifas emanentes abundantes, cortas y medianas, mayoritariamente rectas (Fig. S51B); sin rizomorfos.

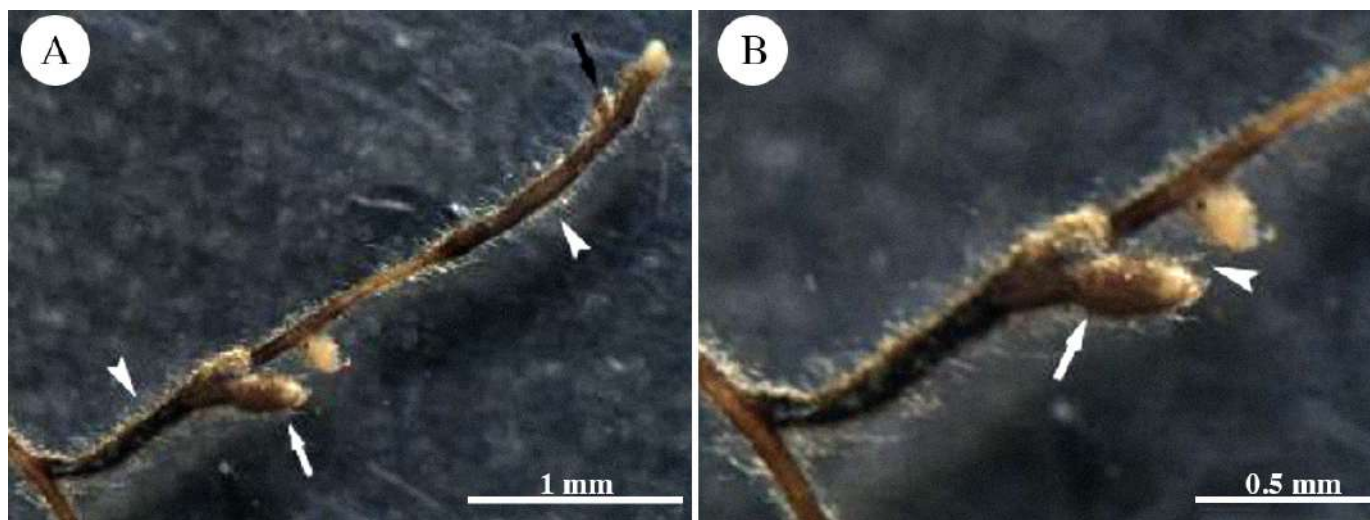


Figura S51: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccotheca liebmannii* Lindau. A. vista general de la ectomicorriza donde se observa manto zonado (puntas de flecha blanca), ramificación (flecha blanca) y punta inflada distal (flecha negra); B. acercamiento a la zona proximal en la que se aprecian hifas emanentes cortas (flecha) e hifas emergentes medianas (punta de flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza dicotómica irregular, no ramificada, ligeramente tortuosa, puntas clavadas (Fig. S52A); manto lanoso, evidente, heterogéneo con zonas hialinas, color castaño oscuro a café; hifas emanentes abundantes, cortas y rectas (Figs. S52B, C) a largas y entrelazadas (Fig. S52D), en ocasiones en mechones, color café claro a café naranja; sin rizomorfos.

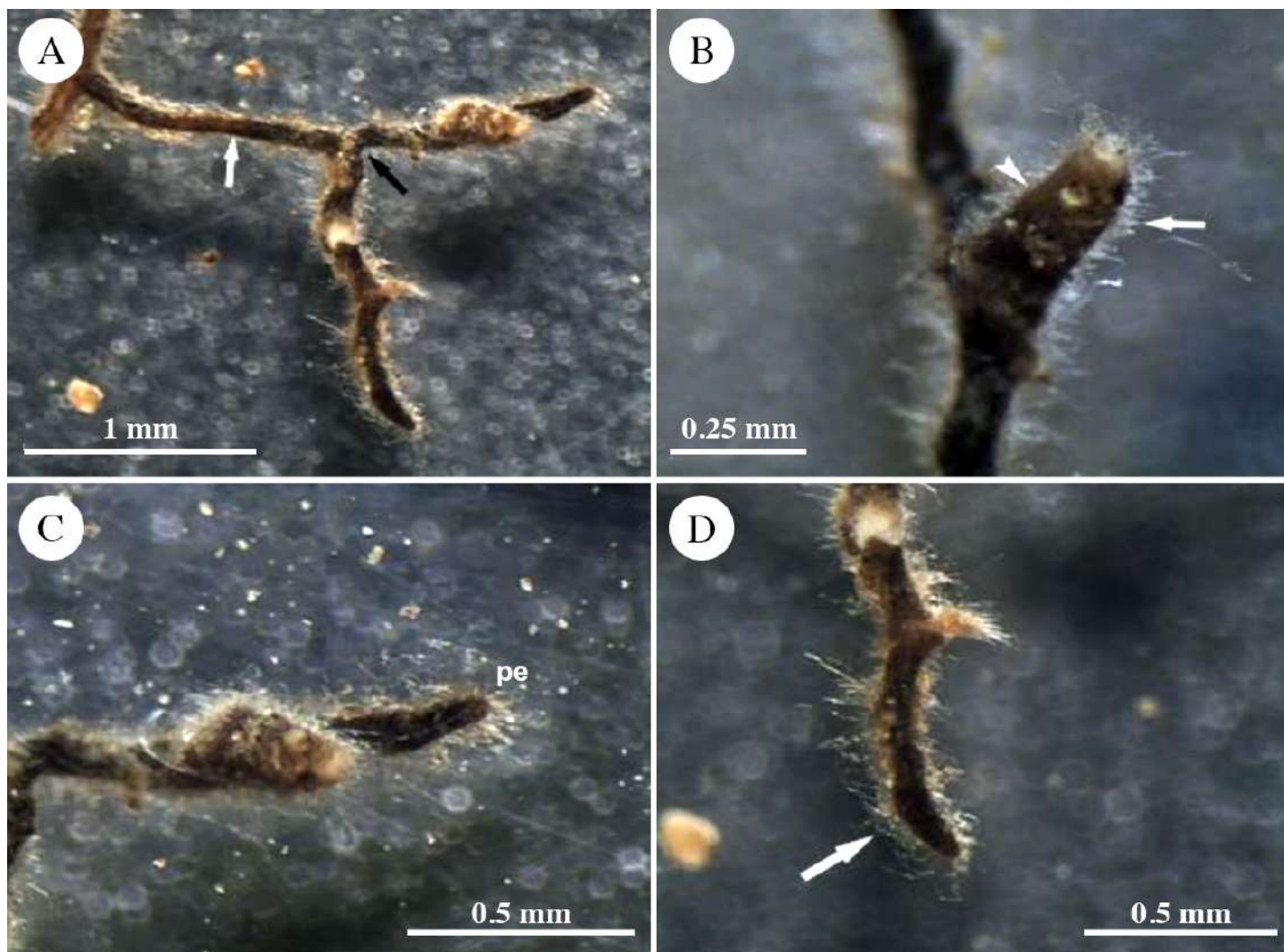


Figura S52: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccoloba liebmanni* Lindau. A. vista general donde se aprecia la dicotomización (flecha negra) y manto hialino (flecha blanca); B. acercamiento donde se observa el manto (punta de flecha) e hifas emanentes cortas (flecha); C. acercamiento donde se observa la punta estrecha (pe); D. hifas largas entrelazadas (flecha).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, tortuosa; manto muy algodonoso, superficie no apreciable por el micelio externo, color café obscuro; micelio externo muy abundante que cubre toda la micorriza, tanto que no deja ver el manto, color café rojizo; sin rizomorfos (Fig. S53).

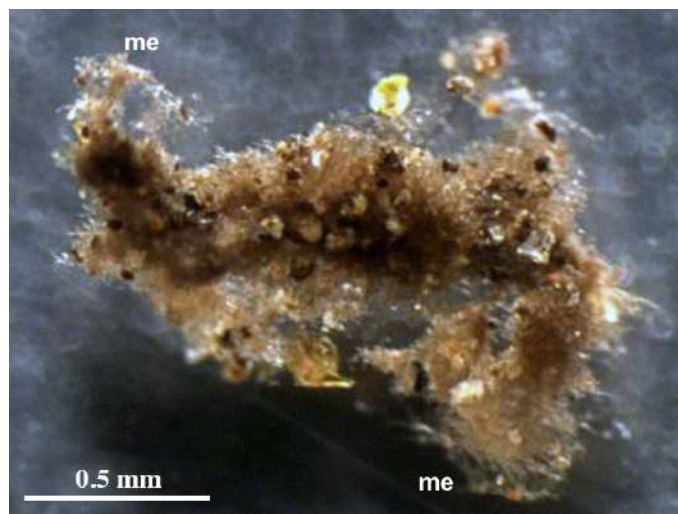


Figura S53: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se observa un abundante micelio externo (me) que no permite ver el manto.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, ligeramente sinuosa, punta clavada; manto evidente, hialino en la parte distal, ligeramente algodonoso, color café a café claro; hifas emanentes medianas, color blanco (Fig. S54); sin rizomorfos.



Figura S54: Ectomicorriza de hongo no identificado con *Coccoloba liebmannii* Lindau. Se observan hifas emanentes (flecha negra) y manto hialino en la parte distal (flecha blanca).

Apéndice. Continuación.

En *Ruprechtia fusca* Fernald (Figs. S55A-C) y *R. aff. pallida* Standl. (Figs. S55D-F) solo se observaron micorrizas arbusculares, con hifas, vesículas y ovillos.

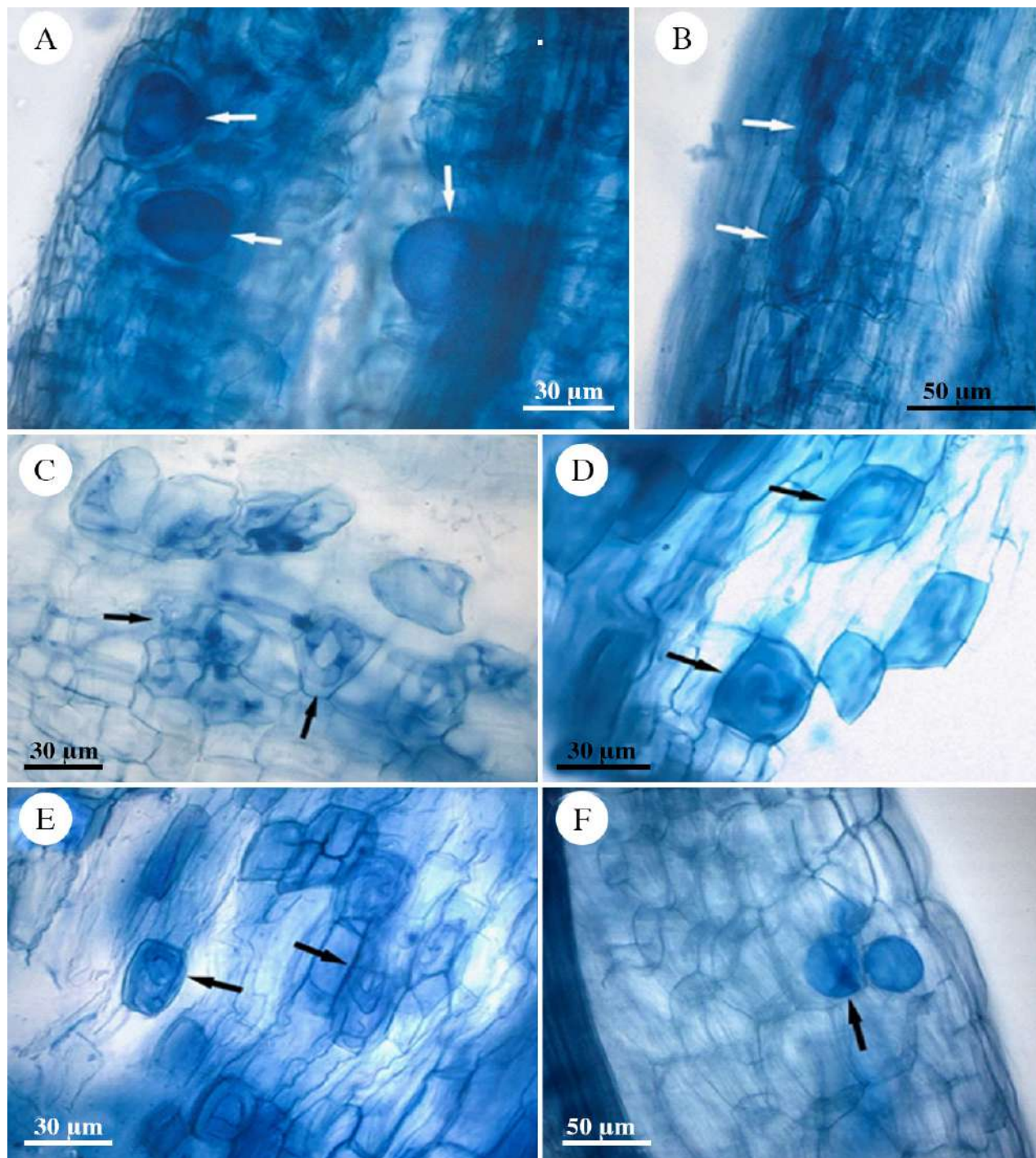


Figura S55: Colonización de hongos micorrizógeno arbusculares en raíces de *Ruprechtia fusca* Fernald y *R. aff. pallida* Standl. A. vesículas (flechas) en raíces de *R. fusca*; B. y C. micorriza con interfase tipo *Paris* en raíces de *R. fusca*, se señalan los ovillos (flechas); D. ovillos (flechas) en raíces de *R. aff. pallida*; E. colonización de tipo *Paris* (flechas) en raíces de *R. aff. pallida*; F. vesículas (flecha) en raíces de *R. aff. pallida*.

Apéndice. Continuación.

Micorrizas de Sapotaceae

Ectomicorriza irregularmente pinnada de apariencia dicotómica; manto algodónoso, superficie no observable por el micelio externo; micelio externo muy abundante y denso, color café olivo (Fig. S56); sin rizomorfos.



Figura S56: Ectomicorriza de hongo desconocido asociado a una planta de la familia Sapotaceae. A. vista general de la ectomicorriza con abundante micelio externo (me); B. detalle del micelio externo (me).

Apéndice. Continuación.

Micorrizas de plantas de identidad desconocida

Ectomicorriza irregularmente pinnada a dicotómica, sinuosa, puntas levemente angostas; manto ligeramente algodonoso, grueso, poco brillante, color amarillento-blanquecino a beige; abundantes hifas emanantes hialinas y cortas (Fig. S57A); rizomorfo delgado, liso, color café claro (Fig. S57B); manto con 9-13 capas de hifas (28 μ m) (Figs. S57C, D); manto externo plectenquimatoso de hifas ramificadas repetidamente (Fig. S57E); presenta hifas erectas (2.69-3.75 \times 11-30.72 μ m), cortas, de pared gruesa (<1 μ m), septadas, sin fíbulas, sinuosas; manto interno pseudoparenquimatoso de hifas epidermoides (Fig. S57F); red de Hartig paraepidermal penetrando solo la primera capa de células corticales, palmeada.

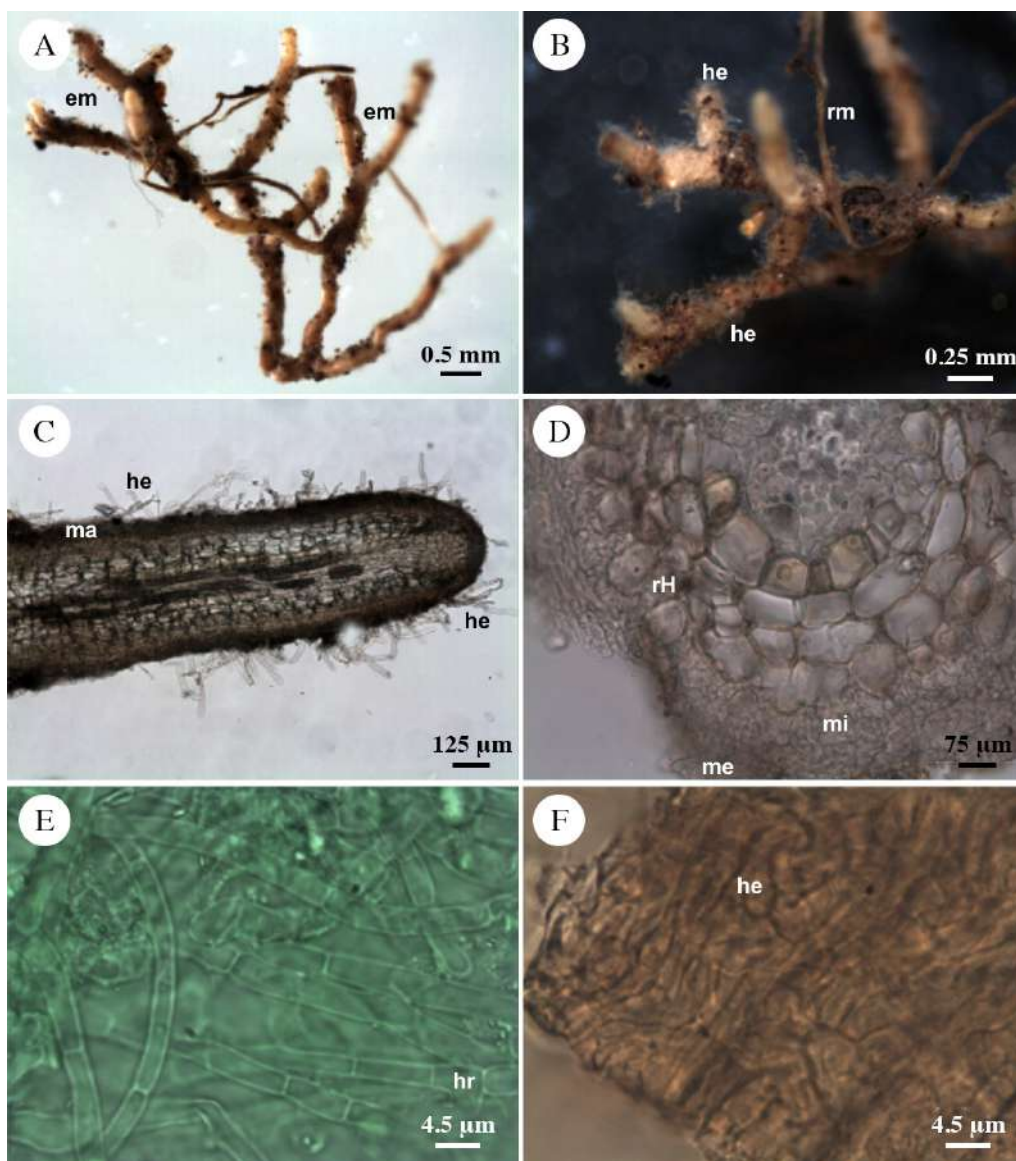


Figura S57: Ectomicorriza de Clavulinaceae en hospedero no identificado. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. acercamiento donde se observan las hifas emanantes (he) y el rizomorfo (rm); C. corte longitudinal donde se observa el manto (ma) e hifas emanantes (he); D. corte transversal en el que se aprecia el manto externo (me), manto interno (mi) y red de Hartig (rH); E. hifas ramificadas (hr) del manto externo; F. hifas epidermoides (he) del manto interno.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, abundante, de recta a ligeramente sinuosa, puntas clavadas (Fig. S58A); manto ligeramente algodonoso, en zonas grueso, en zonas delgado y traslúcido, cubre completamente la punta, de color blanquecino a café claro a café oscuro; hifas emanentes escasas, más abundantes en la punta (Fig. S58B); sin rizomorfos; estructura interna con manto compuesto por 8-12 capas de hifas; manto externo plectenquimatoso de hifas cilíndricas, pared gruesa, se ramifican repetidamente formando una red; hifas emanentes de pared gruesa ($<1\ \mu\text{m}$), septadas, sin fíbulas (Fig. S58C); manto interno plectenquimatoso de hifas cilíndricas de menor diámetro que las del manto externo; red de Hartig paraepidermal en la primera capa de células corticales, hifas en los espacios intersticiales uniformes (Fig. S58D).

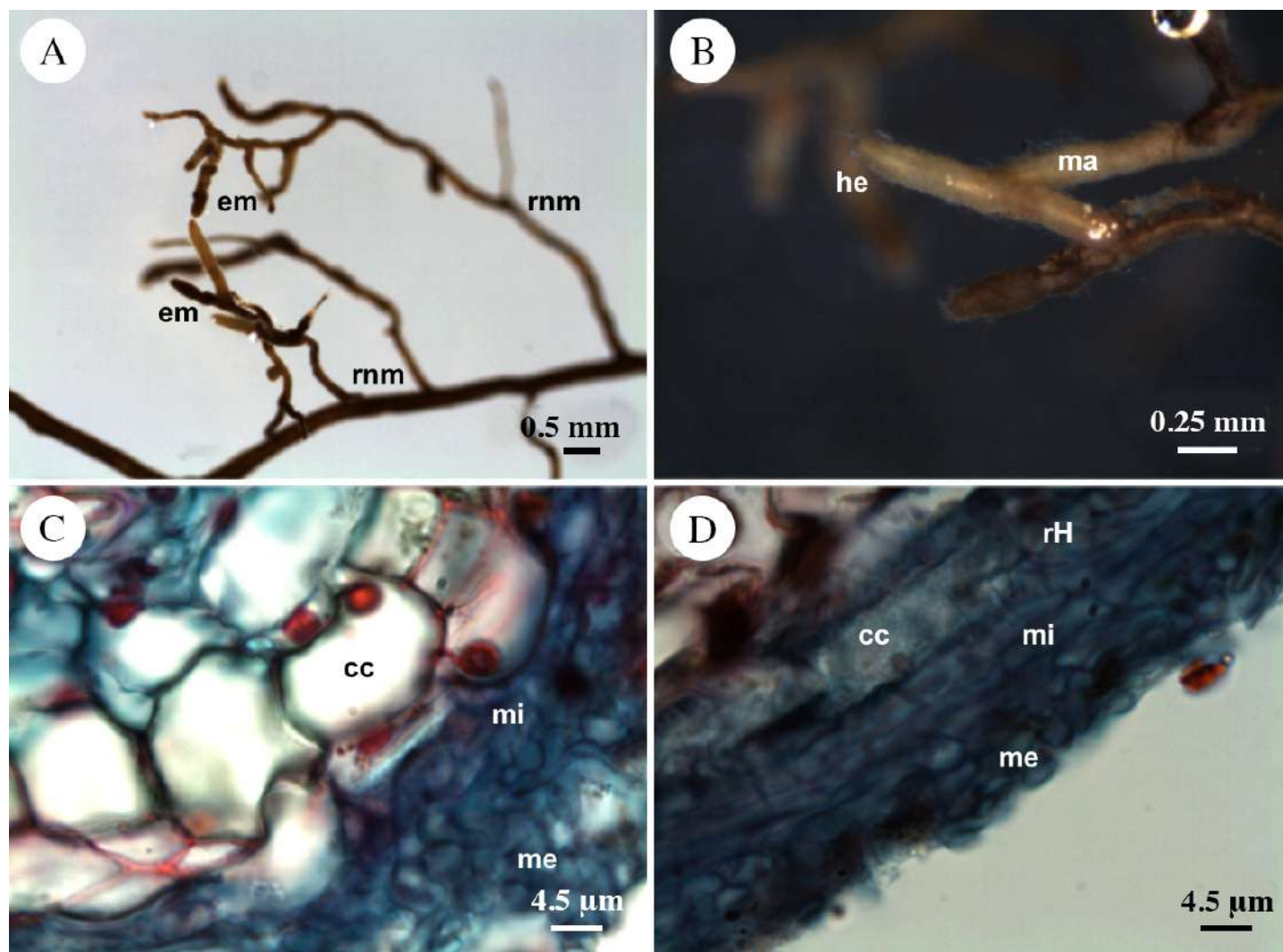


Figura S58: Ectomicorriza de *Clavulinaceae* en hospedero no identificado. A. vista general, se aprecian las ectomicorrizas (em) y raíces terciarias no micorrizadas (rnm); B. acercamiento donde se observan las hifas emanentes (he) y el manto (ma); C. corte transversal en el que se aprecia el manto externo (me), manto interno (mi) y las células corticales (cc) de la raíz; D. corte longitudinal donde se aprecia el manto externo (me), manto interno (mi), red de Hartig (rH) y las células corticales (cc) de la raíz.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada, curvada, punta constreñida por el manto (Fig. S59A); manto evidente, ligeramente algodonoso, grueso, con zonas brillosas, color bronce a café oscuro, puntas blanquecinas; hifas emanentes cortas, color blanquecino a café claro; con cordones miceliares delgados color negro; con rizomorfo grueso, liso, color café; estructura interna con manto conformado por 11-16 capas de hifas; manto externo plectenquimatoso, reticular; con algunas hifas emanentes, laxas, cilíndricas, septadas, sin fíbulas, algunas sinuosas, otras bifurcadas; manto interno es una transición entre pseudoparénquima y plecténquima (Fig. S59D); red de Hartig paraepidermal, infrecuentemente lobulada, hifas septadas (Fig. S59B); presencia de hifas intracelulares en las células corticales (Fig. S59C).

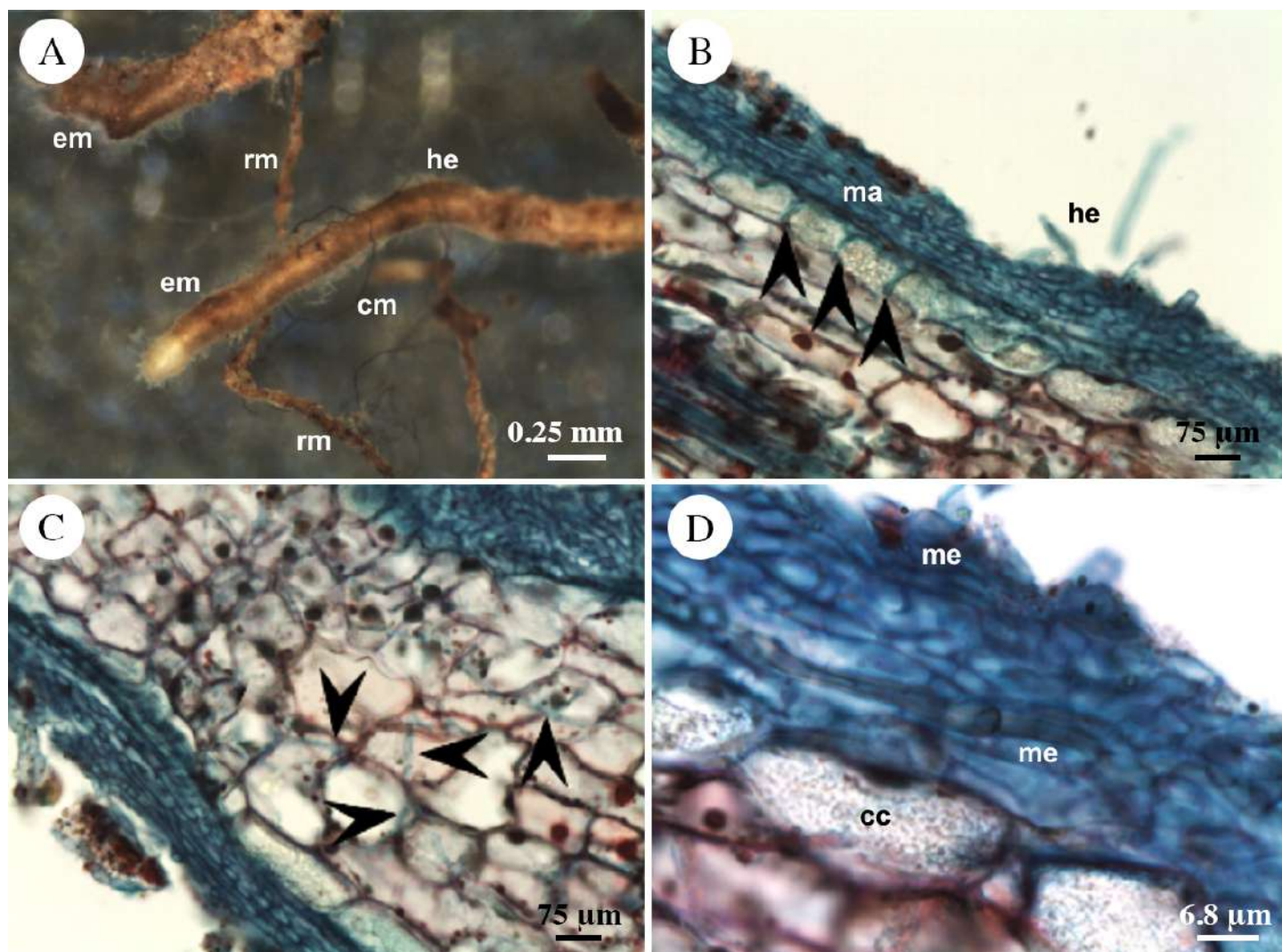


Figura S59: Ectomicorriza de Clavulinaceae en hospedero no identificado. A. vista general en la que se aprecian las ectomicorrizas (em), hifas emanentes (he), rizomorfo (rm) y cordones miceliares (cm); B. corte longitudinal, se observa la red de Hartig paraepidermal (puntas de flecha), manto (ma) e hifas emanentes (he); C. corte transversal en el que se observan hifas intraradicales (puntas de flecha); D. acercamiento donde se observa el manto externo (me), manto interno (mi) y las células corticales (cc) de la raíz.

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, sinuosa (Fig. S60A); con manto densamente algodonoso, color anaranjado a café grisáceo; micelio externo muy abundante, denso, de corta distancia (Fig. S60B); rizomorfos frecuentes, cilíndricos, de grosor variable, con hifas emanantes abundantes (Figs. S60C, D).

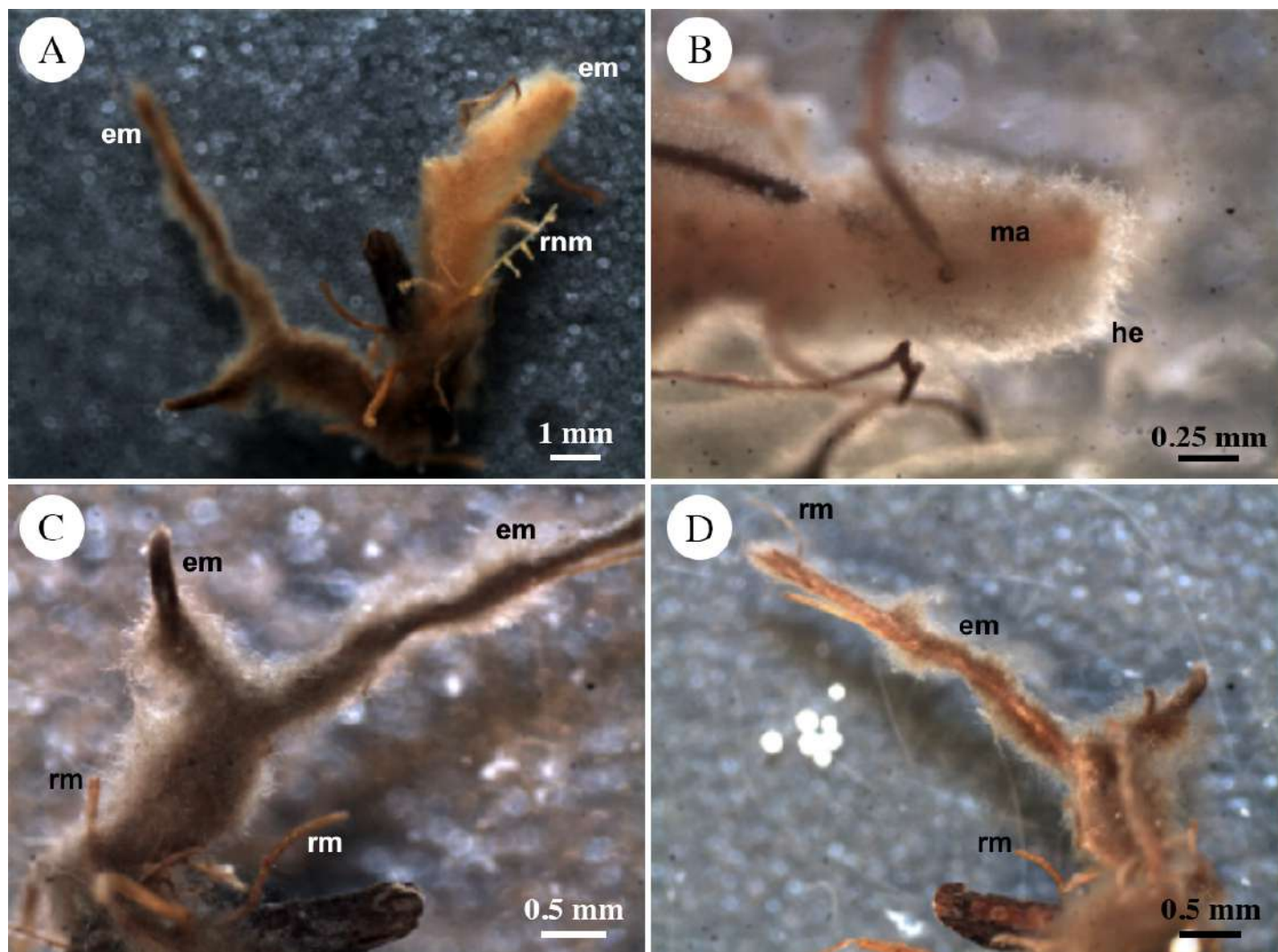


Figura S60: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una planta no identificada. A. vista general, se aprecian las ectomicorrizas (em) y raíces terciarias no ectomicorrízicas (rnm); B. acercamiento en el que se aprecian el manto (ma) e hifas emanantes (he); C y D. se observan las ectomicorrizas (em) y los rizomorfos (rm).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial pinada, tortuosa, puntas infladas a clavadas; manto evidente, liso, color café amarillento, hifas emanentes escasas, hialinas, cortas (Fig. S61); sin rizomorfos.



Figura S61: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una planta no identificada. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. acercamiento donde se observa manto (ma) e hifas emanentes (he).

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, recta; manto evidente, densamente algodonoso, color salmón a café; micelio externo abundante, laxo, distancia media, hifas color café claro a café (Fig. S62A); rizomorfos cilíndricos de algodonosos a lanosos, con micelio externo abundante y laxo; cordones miceliares gruesos, color blanco (Fig. S62B).

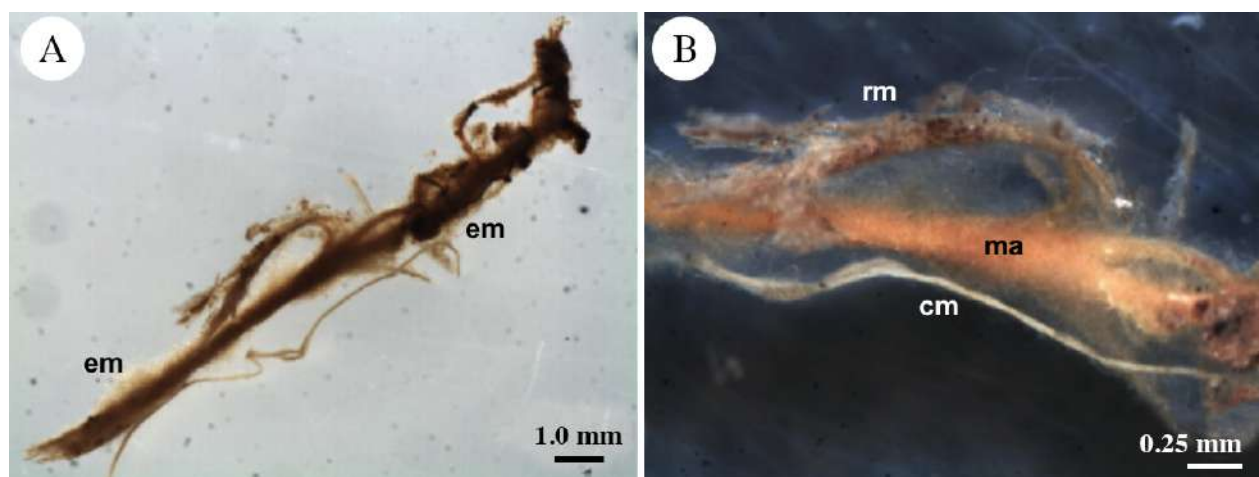


Figura S62: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una planta no identificada. A. vista general de ectomicorriza (em); B. detalle de rizomorfo (rm), manto (ma) y cordón miceliar (cm).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial no ramificada en una raíz secundaria poco modificada (Fig. S63A); manto muy laxo, no modifica el grosor de la raíz; micelio externo muy abundante, densamente algodonoso, color café olivo (Fig. S63B); rizomorfos delgados, largos, emergen de la parte media de la ectomicorriza, conexión oblicua al manto, color café claro (Fig. S63A).

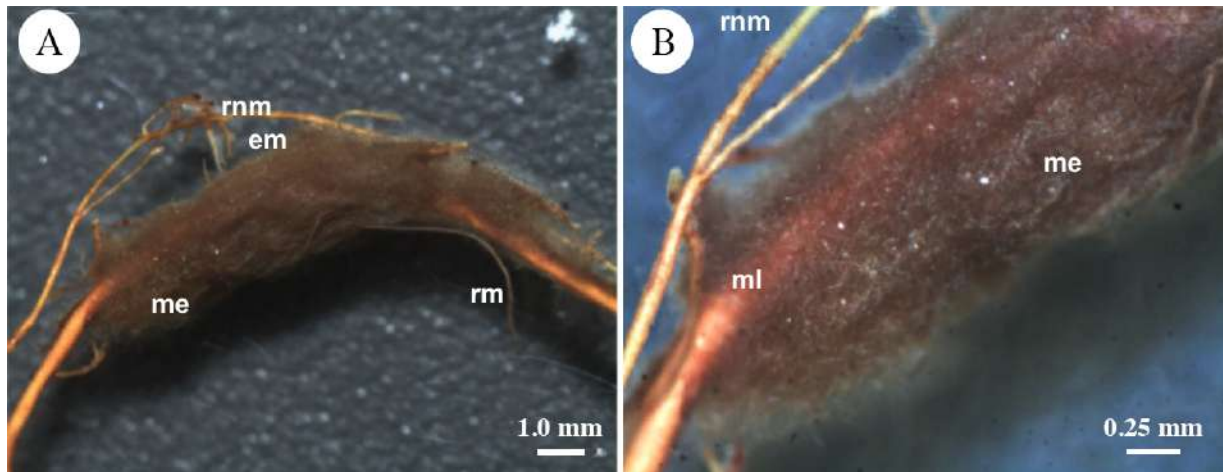


Figura S63: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una planta no identificada. A. vista general de la ectomicorriza (em), se observa abundante micelio externo (me), raíces no micorrizadas (rnm) y rizomorfos (rm); B. acercamiento donde se observa el manto laxo (ml).

Apéndice. Continuación.

Ectomicorriza monopodial, no ramificada, tortuosa, en una raíz secundaria (Fig. S64A); manto evidente, grueso, estrigoso, heterogéneo, con zonas color café oscuras y otras color blanco; hifas emanentes abundantes, erectas; no ramificadas (Fig. S64B); estructura interna con manto conformado por 11-31 capas de hifas (Fig. S64C); manto externo pseudoparenquimatoso, hifas ramificadas repetidamente conformando una red; hifas emergentes con diferentes grosores; manto interno plectenquimatoso, hifas cilíndricas de diferentes grosores, septadas, sin fíbulas; red de Hartig infrecuentemente lobulada, septada, llega hasta la segunda o tercera capa de células corticales, hifas gruesas $3-6 \times 3-6 \mu\text{m}$ (Fig. S64D).

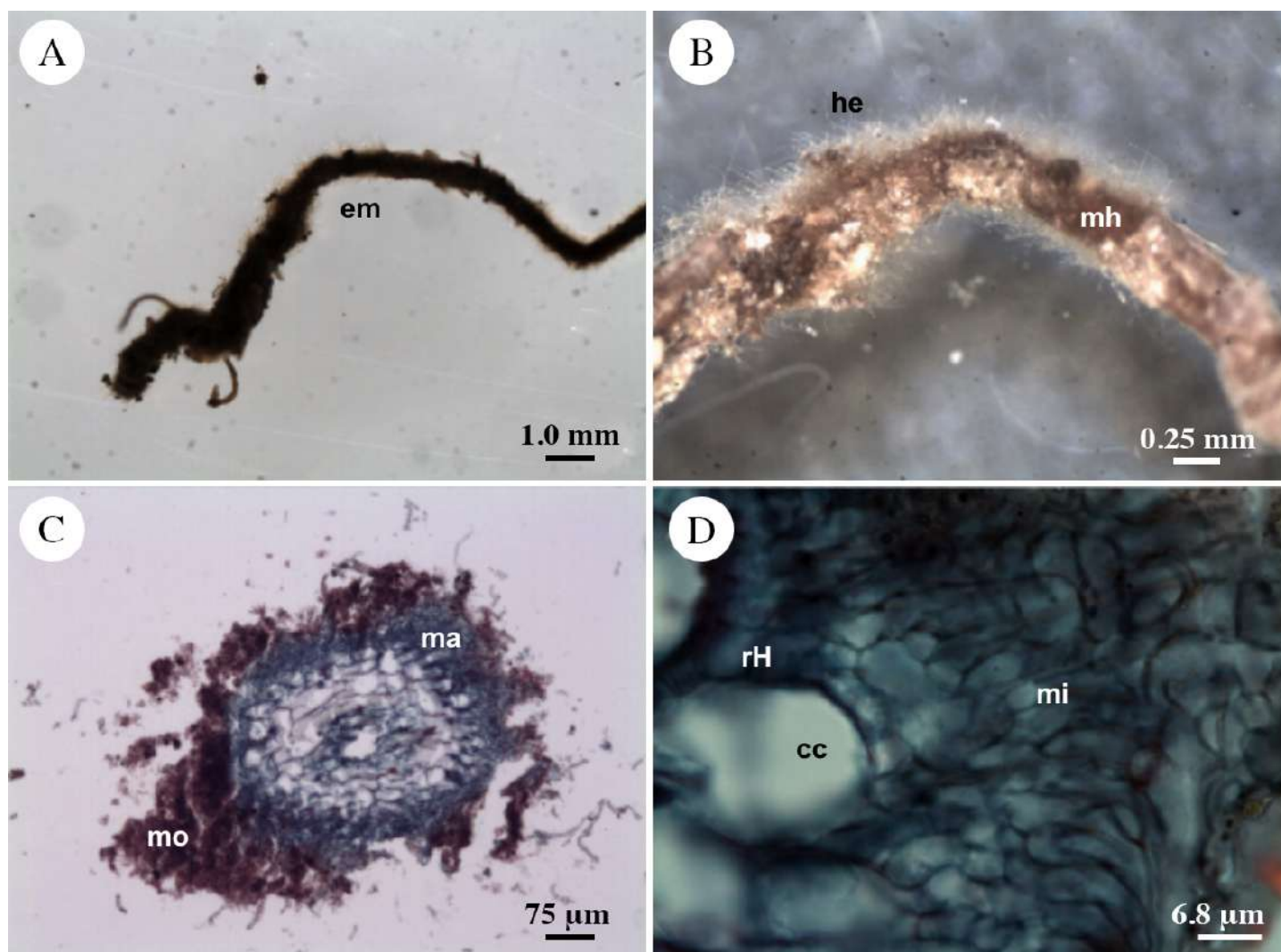


Figura S64: Ectomicorriza de Thelephoraceae asociada a una planta no identificada. A. vista general de la ectomicorriza (em); B. acercamiento, se aprecia el manto heterogéneo (mh) y las hifas emanentes (he); C. corte transversal de la ectomicorriza, se aprecia el manto (ma) grueso y materia orgánica agregada en la periferia (mo); D. acercamiento del corte transversal, se observa el manto interno (mi), la red de Hartig (rH) y células corticales (cc) de la raíz.