

## Riqueza de Hongos Micorrícicos Arbusculares Asociadas a Especies Forestales en el Sureste del Estado de Campeche, México Richness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated With Forest Species in the Southeast of the State of Campeche, Mexico

Blanca del Rosario Martín-Canché<sup>1,2†</sup>, Norma Laura Rodríguez-Ávila<sup>1</sup>,  
Karina Verdel-Aranda<sup>1</sup>, Maximiliano Vanoye-Eligio<sup>2</sup>, William Cetzal-Ix<sup>1</sup>,  
Eliezer del Jesús Casado-Ramírez<sup>2</sup> y José Luis Guillen-Taje<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Chiná. Calle 11 s/n entre 22 y 28, Colonia Centro. 24520 Chiná, Campeche. México; (B.R.M.C.), (N.L.R.A.), (K.V.A.), (W.C.I.).

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega. Calle 85 s/n entre 10-B, Colonia Unidad Esfuerzo y Trabajo. 24350 Escárcega, Campeche, México; (B.R.M.C.), (M.V.E.), (E.J.C.R.), (J.L.G.T.).

† Autora para correspondencia: blanca.mc@escarcega.tecnm.mx, norma.ra@china.tecnm.mx

### RESUMEN

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son asociaciones simbióticas del suelo y raíces de una planta. Son una alternativa para la biofertilización, agentes de biocontrol y biorremediación en los sistemas productivos. El trabajo consistió en caracterizar morfológicamente la riqueza y eficiencia de HMA en distintos tipos de vegetación: selva mediana perennifolia (SMP), sistema agroforestal (SAF) y sistema milpa intercalado con árboles frutales (MIAF). En cada tipo de vegetación se obtuvieron las raíces de especies forestales de interés económico para el Programa Sembrando Vida (PSV). Las muestras de raíces se transportaron a los laboratorios de análisis y de biotecnología del TECNM, campus Escárcega y Chiná, Campeche, sometidas al método de tamizado y decantación para aislar esporas. Se emplearon tres medios enriquecidos para evaluar el crecimiento de HMA. La eficiencia, se validó mediante el crecimiento radicular y su relación con la nodulación micorrízica mediante distintas metodologías. Se caracterizaron cuatro HMA del orden *Glomerales* obtenidos de raíces en especies forestales en SMP [(*Astronium graveolens* Jacq. (jobillo), *Lonchocarpus castilloi* Standl. (machiche), *Swietenia macrophylla* King (caoba), *Manilkara zapota* L. (chicozapote) y *Pimienta dioica* L. (pimienta)]. El crecimiento y reproducción de los HMA en laboratorio fue mejor utilizando el medio enriquecido Sabouraud, de los cuales demostraron resultados significativos al aplicarse en una proporción 80/20 en especies de SAF y MIAF. Respecto al crecimiento y la eficiencia en nodulación en especies como *Cedrela odorata* L. (cedro rojo), *Caesalpinia platyloba* S. Watt (chakté-viga) y *Cordia dodecandra* A.D.C. (ciricote), y especies en cultivos de crecimiento rápido como *Zea mays* L. (maíz) y *Pachyrhizus erosus* L. Urban (jícama), mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, según el análisis de varianza de un factor. En conclusión, los HMA son una buena opción como biofertilizante en especies de rápido crecimiento y forestales facilitando la absorción y transporte de nutrientes y agua.

**Palabras clave:** biofertilizantes, endomicorrizas, esporas, nodulación.

### SUMMARY

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are symbiotic associations of soil and plant roots. They are an alternative for biofertilization, biocontrol and bioremediation agents in production systems. The work consisted of morphologically characterizing the richness and efficiency of HMA in different types of vegetation: medium evergreen



#### Cita recomendada:

Martín-Canché, B. R., Rodríguez-Ávila, N. L., Verdel-Aranda, K., Vanoye-Eligio, M., Cetzal-Ix1, W., Casado-Ramírez, E. J., & Guillen-Taje, J. L. (2025). Riqueza de Hongos Micorrícicos Arbusculares Asociadas a Especies Forestales en el Sureste del Estado de Campeche, México. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-11. e2031. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2031>

Recibido: 18 de julio de 2024.  
Aceptado: 18 de diciembre de 2024.  
Artículo. Volumen 43  
Febrero de 2025.

Editor de Sección:  
Dr. Fidel Núñez-Ramírez



**Copyright:** © 2025 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

forest (SMP), agroforestry system (SAF) and milpa system intercropped with fruit trees (MIAF). In each type of vegetation, the roots of forest species of economic interest for the Programa Sembrando Vida (PSV) were obtained. The root samples were transported to the analysis and biotechnology laboratories of TECNAM, Escárcega and Chiná campuses, Campeche, subjected to the sieving and decantation method to isolate spores. Three enriched media were used to evaluate the growth of AMF. Efficiency was validated by root growth and its relationship with mycorrhizal nodulation using different methodologies. Four AMF of the order *Glomerales* obtained from roots of forest species in SMP were characterized [(*Astronium graveolens* Jacq. (jobillo), *Lonchocarpus castilloi* Standl. (machiche), *Swietenia macrophylla* King (mahogany), *Manilkara zapota* L. (chicozapote) and *Pimenta dioica* L. (black pepper)]. The growth and reproduction of AMF in the laboratory was better using the Sabouraud enriched medium, which demonstrated significant results when applied in an 80/20 ratio in SAF and MIAF species. Regarding growth and nodulation efficiency in species such as *Cedrela odorata* L. (red cedar), *Caesalpinia platyloba* S. Watt (chakté-viga) and *Cordia dodecandra* A.D.C. (ciricote), and species in fast-growing crops such as *Zea mays* L. (corn) and *Pachyrhizus erosus* L. Urban (jicama), they showed significant differences between treatments, according to the one-factor analysis of variance. In conclusion, HMA are a good option as a biofertilizer in fast-growing and forest species, facilitating the absorption and transport of nutrients and water.

**Index words:** *biofertilizers, endomycorrhizae, spores, nodulation.*

## INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos del suelo que viven simbióticamente con las raíces de la mayoría de plantas, incluyendo muchos cultivos alimentarios importantes, aportándoles beneficios y ventajas en la absorción de nutrientes, protegiéndolas de otros microorganismos patógenos en la raíz, aumentando la tolerancia de la planta a condiciones de estrés abiótico en el suelo, entre otros beneficios (Barrer, 2009; Camarena-Gutiérrez, 2012; Kokkoris *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2024). De igual forma, los HMA tienen una participación sustancial en la existencia de plantas en condiciones de estrés por metales pesados, por lo que una gran cantidad de estudios han propuesto a los HMA como una herramienta futura para la remediación y revegetación de suelos contaminados con metales pesados (Audet y Charest, 2006; Amir, Lagrange, Hassaine y Cavaloc, 2013; Abu-Elsaoud, Nafady y Abdel, 2017; Akhtar *et al.*, 2024).

La clasificación actual de las micorrizas ha sido utilizada por distintos autores (Andrade-Torres, 2010; Lara-Pérez, Zulueta y Andrade, 2017), quienes reconocen siete variedades distintas de micorrizas, examinando tanto sus atributos estructurales como el grupo taxonómico al que pertenecen los hongos o las plantas involucradas. En el área forestal y agrícola, los HMA representan un potencial biotecnológico por los beneficios que aportan a las plantas, sin embargo, el conocimiento sobre las interacciones entre las condiciones edáficas y la ecología de los HMA nativos y la efectiva asociación simbiótica entre las plantas y estos microorganismos aún es pobre (Barrer, 2009).

En los últimos años se han desarrollado diversas tecnologías para la reproducción de los HMA, siendo la más utilizada aquella que involucra a una planta hospedera en un sustrato sólido por su condición de simbioses obligados (Mujica-Pérez, 2012). Los HMA representan uniones simbióticas entre las raíces de las plantas, destacándose por los notables beneficios que aportan al suelo circundante, a las plantas mismas y a los procesos productivos resultantes (Soto, Pinto y Millán, 2022). Sin embargo, aún son necesarios conocimientos y tecnologías aplicadas utilizando HMA para la producción en campo y en vivero de especies forestales en distintas partes del mundo, especialmente para la implementación de nuevas tecnologías que aporten un mayor número de nutrientes, con la finalidad de suplir los agroquímicos tóxicos y brindar alternativas de productos orgánicos con beneficios a corto plazo (Vargas-Vázquez, Sánchez, Hernández y Guevara, 2021).

Una opción son los biofertilizantes enriquecidos con micorrizas, debido a sus múltiples beneficios como agentes de biocontrol en los sistemas productivos (Silva y Montoya, 2022). Los biofertilizantes son formulaciones a base de microorganismos que favorecen la absorción de nutrientes en las plantas, mejoran la fertilidad del suelo y pueden sustituir parcial o totalmente el uso de fertilizantes químicos (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). Los hongos micorrízicos brindan beneficios a las raíces de las plantas, impulsando el desarrollo radicular y mejoramiento de la fijación de la raíz, permitiendo la adhesión de las partículas de nutrimentos, incrementando la capacidad de retención de agua (Chicaiza-Cabezas, 2022<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Chicaiza-Cabezas, S. S. (2022). Evaluación de alternativas de biofertilización para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola en el cantón Huaca-Carchi. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. UPEC. Disponible en <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/1688>

En Campeche, México, se desarrollan distintas actividades pertenecientes al sector primario, como lo es la agricultura, ganadería, pesquera, turismo, entre otros (Ramírez-Rodríguez, 2015). Sin embargo, a raíz de los problemas ambientales que han dejado a su paso dichas actividades, se han impulsado distintos programas entre ellos, el denominado como "Programa Sembrando Vida" (Secretaría de Bienestar, 2023a); presentado el 8 de octubre de 2018 por el presidente de la república, y vigente hasta la fecha (Avalos, Manson y Martínez, 2020). El PSV considera diversas especies forestales maderables y no maderables, utilizadas con distintos propósitos, entre los que sobresale la producción de alimentos (Mize, Centeno y Negreros, 1997). De esa manera también se incorpora la mano de obra excedente de las familias campesinas ocupantes a la producción de alimentos y al manejo forestal basado en un enfoque agroforestal (Espinoza, Torres y Chacón, 2007; Escalante y Guerra, 2015).

El PSV busca aplicar buenas prácticas en el manejo de especies forestales de los sistemas agroforestales de árboles maderables y frutales (SAF) y milpas intercaladas con árboles frutales (MIAF) con la finalidad de contribuir al fortalecimiento de las bases productivas, por lo que el Gobierno Federal ha establecido unidades de producción del PSV en casi todos los estados de México (Secretaría de Bienestar, 2023b; Gastélum, 2024). La Secretaría de Bienestar (2022) presentó resultados de la producción en campo y en vivero de diferentes especies forestales y promovió el uso de buenas prácticas agrícolas, dado que en el sureste Campechano se ha incrementado el uso de productos inorgánicos para manejo en el campo (Rendón-von Osten, Memije y Ek Moo, 2005), resultando difícil adoptar productos orgánicos (Martínez, 2010).

Por lo anterior, se busca brindar a los productores de la región alternativas de productos orgánicos con beneficios a corto plazo, como los biofertilizantes enriquecidos con micorrizas (Argüello, Castellanos y Rincón, 2011), ya que representan una opción con alto impacto ambiental positivo, debido a su fuente natural de origen y fácil aplicación en campos abiertos (Gentili, 2019<sup>2</sup>). Por este motivo, en la presente investigación consistió en caracterizar la riqueza y eficiencia de HMA en distintos tipos de vegetación a través de un biofertilizante enriquecido con micorrizas en especies forestales con doble propósito, incluidas especies forestales SAF y MIAF para contribuir al fortalecimiento de las bases productivas del PSV.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El presente estudio se desarrolló en el TecNM campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega (ITSE) ubicado en el municipio de Escárcega, Campeche. Las muestras, se colectaron en el Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología Forestal "el Tormento" (CITTFOR) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en los viveros del ejido "el Lechugal" y "el Colibrí". En la fase de experimentación las muestras fueron estudiadas en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del TecNM campus I.T. Chiná, ubicado en el poblado de Chiná de Campeche, Campeche.

### Colecta de Campo

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la riqueza y eficiencia de micorrizas arbusculares, las cuales se recolectaron de muestras de suelo en un ecosistema conservado de selva mediana perennifolia, en el CITTFOR, dónde se seleccionaron especies forestales que tuviera la característica de ser especies de doble propósito. En sistemas SAF y MIAF los criterios de selección de especies fueron los mismos utilizados para la selva mediana perennifolia.

En cada tipo de vegetación, se realizó un muestreo para la obtención de las raíces de especies forestales de interés económico conforme a la clasificación del PSV, excavando a una profundidad de 35 cm de acuerdo a las metodologías reportadas por distintos autores (Muñoz-Márquez *et al.*, 2009). Las muestras de raíces fueron transportadas para su estudio en los laboratorios de análisis y de biotecnología del TecNM, campus Escárcega y Chiná, Campeche, siguiendo los protocolos establecidos para su colecta y manipulación (Covacevich y Consolo, 2014).

### Aislamiento de las Esporas

Las muestras de suelo característica de la región es la denominada como Leptosol Réndzico (LPrz) (Palma-López *et al.*, 2017), recolectadas en los distintos sitios de muestreo fueron procesadas siguiendo las metodologías previamente establecidas en la literatura (Aguilar-Ulloa, Arce, Galiano y Torres, 2016). Para la separación de las esporas, se empleó el método de extracción en húmedo combinado con centrifugación en un gradiente de sacarosa (1N). La separación se hizo en tubos cónicos con 50 ml de H<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> y 250 g de LPrz procesando cinco réplicas por cada muestra. Las mezclas fueron homogeneizadas, centrifugadas a 5000 rpm durante siete minutos, y el sobrenadante se decantó. Posteriormente, las muestras fueron filtradas utilizando solución de sacarosa

<sup>2</sup> Gentili, S. (2019). Micorrización y fertilización de plantines de vivero de *Pappostipa speciosa* (Trin. y Rupr.) Romasch destinados a proyectos de rehabilitación ecológica. Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Saneamiento. Universidad Nacional del Comahue. Disponible en <http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/15438/Tesis%20Gentili%20Sabrina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

para aislar las esporas, las cuales se lavaron con agua destilada a través de una malla de nylon con poros de 53  $\mu\text{m}$ . Finalmente, las esporas recuperadas se centrifugaron nuevamente a 4000 rpm durante cinco minutos para eliminar el sobrenadante, obteniéndose una alícuota final que fue utilizada para su cultivo en medios enriquecidos bajo condiciones controladas de laboratorio.

### Preparación de Medios de Cultivo

Se emplearon tres medios enriquecidos para evaluar el crecimiento y la propagación de hongos micorrícicos en condiciones de laboratorio: Agar dextrosa Sabouraud descritas por MCD-LAB (2022), Papa Glucosado Agar (PGA; Britania, 2021) y Agar Dextrosa y Papa (PDA; MCD, 2023; Britania, 2021). El medio Sabouraud dextrosa Sabouraud (MCD-LAB, Cat No. 7031), se preparó siguiendo la metodología descrita por MCD-LAB (2022), diluyendo la formulación concentrada comercial, utilizando una concentración de 1 N en estado sólido, distribuyéndolo en cajas Petri con triplicados. Las muestras se incubaron en condiciones de aerobiosis a una temperatura de 20-25 °C durante 48 horas para su posterior evaluación. El medio PGA (MCD-LAB, Cat. No. 9011, Lote No. 901117A001), se preparó conforme al protocolo reportado por Britania (2021), mientras que el medio PDA (MCD-LAB, Cat No. 7041 Lote No. 704118F004), este se preparó de acuerdo a las instrucciones del fabricante, Britania (2021). Este último se ajustó a una concentración de 1 N y se sembraron directamente las muestras de ensayo sobre su superficie. Las placas se incubaron durante 72 horas a 30 °C en atmósfera aeróbica antes de su análisis.

### Caracterización Morfológica de HMA

La caracterización morfológica de los HMA se llevó a cabo mediante el conteo de las esporas a nivel de orden, utilizando las claves taxonómicas más reconocidas para este grupo de hongos y complementando el análisis con claves gráficas (Pérez y Schenck, 1990; Walker, 1992; Gómez, Portugal, Arriaga y Alonso, 2007; INVAM, 2017; Restrepo-Giraldo, Montoya, Henao, Gutiérrez y Molina, 2019; Soto *et al.*, 2022). Para esta caracterización, se consideraron aspectos morfológicos como el color, tamaño y forma de las esporas, así como características de la pared, incluyendo su grosor, color y la presencia de ornamentaciones.

### Variables Evaluadas

Para evaluar la eficiencia de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), se midieron diversos parámetros relacionados con el crecimiento radicular y la nodulación de raíces en plántulas de cultivos de rápido crecimiento, como maíz (variedad VS-536; Aguirre-Medina, 2011; INIFAP, 2023) y jícama (Hernández-Guzmán, Aguilar y Salazar, 2022). Los mismos parámetros fueron analizados en plántulas multipropósito de especies forestales, como Chakté-viga, cedro rojo y ciricote (Richter, Silva, Fuentes, Rodríguez y Torres, 2009; Martín-Canché, Eligio, Rangel, Ramírez y Góngora, 2022; CONAFOR, 2001; CONAFOR, 2009).

La evaluación de la nodulación y la colonización micorrícica arbuscular se realizó siguiendo los parámetros propuestos por Nicholson y Schenck (1979), los cuales clasifican la colonización en tres niveles: baja (0-20%), media (21-50%) y alta (>50%) (Restrepo-Giraldo *et al.*, 2019), como de distintas investigaciones previamente establecidas (Rodríguez-López, De León, Arboleda, Valencia y Valle, 2015; Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016; Montañón-Arias *et al.*, 2023). Estas mediciones se realizaron en plantas provenientes de sitios de muestreo incluidos en el PSV, enfocándose en SAF y MIAF. Las plántulas se cultivaron inicialmente en el vivero "El Colibrí del ITSE" y el vivero ejidal "El Lechugal".

### Evaluación de la Efectividad del Biofertilizante

Para evaluar la efectividad del biofertilizante enriquecido con HMA, se implementó un diseño experimental basado en cultivos trampa, siguiendo la metodología descrita por Aguilar-Ulloa *et al.* (2016). Se establecieron cinco tratamientos (T): T1 (control): sustrato estéril sin inoculación de micorrizas, T2: sustrato enriquecido estéril con esporas (90/10), T3: sustrato enriquecido con raíces micorrizadas (80/20), T4: mezcla equitativa de sustrato y raíces micorrizadas (50/50) y T5: raíces micorrizadas con sustrato enriquecido (20/80). Estos tratamientos se aplicaron tanto a cultivos de rápido crecimiento (maíz y jícama) como a especies forestales multipropósito del PSV. Antes de la evaluación final, todas las muestras fueron sometidas a tamizaje y decantación siguiendo las metodologías propuestas por Aguilar-Ulloa *et al.* (2016). La evaluación del inóculo producido en los cultivos trampa se realizó tras un mes y medio, midiendo la longitud de raíz en todas las muestras. Asimismo, se determinó la efectividad del inóculo mediante la cuantificación de esporas producidas y el nivel de colonización radicular, utilizando el protocolo de Aguilar-Ulloa *et al.* (2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies seleccionadas en selva mediana perennifolia por ser consideradas especies de doble propósito fueron *Astronium graveolens*, Jacq (Jobillo), *Lonchocarpus* cf. *Castilloi* (machiche), (Martínez y Galindo-Leal, 2002), *Swietenia macrophylla* King (caoba), (Negreros-Castillo, Apodaca y Mize, 2010), *Manilkara zapota* L. (chicozapote), (Bano y Ahmed, 2017) y *Pimenta dioica* L. Merrill (pimienta), (Martínez-Pérez, Hernández y Martínez, 2013). En sistema SAF se seleccionaron *Cedrela odorata* L. (cedro rojo), *Caesalpinia platyloba* S. Watt (Chakté-viga) y *Cordia dodecandra* A. D.C. (Circote) y en sistema MIAF fue *Zea mays* L. (maíz) y *Pachyrhizus erosus* L. Urban (jícama).

Los resultados del muestreo permitieron registrar cuatro morfoespecies de HMA, con base a criterios morfológicos, los cuales ayudan a reducir los daños causados por erosión y a mantener la estructura mediante la producción de micelio y sustancias adherentes (Lozano, Armbrrecht y Montoya, 2015; Ramos-Zapata y Herrera, 2022) y mejorando la nutrición de las plantas en suelos de baja fertilidad (Peña-Venegas, Cardona, Arguelles y Arcos, 2006). El estudio refleja que en el sur del estado hay un 2.5% de lo que se ha reportado en México (160 especies de HMA) (Ramos-Zapata y Herrera, 2022).

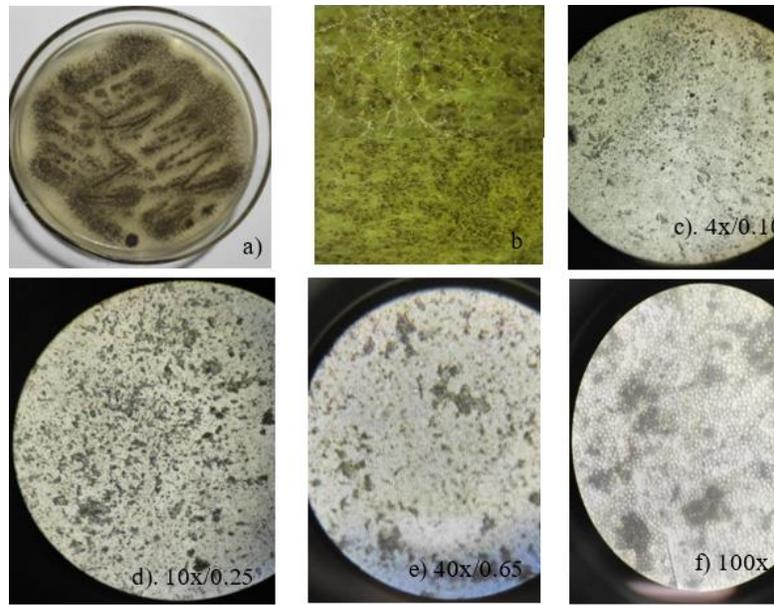
En Yucatán, se han registrado 84 especies (Ramos-Zapata y Herrera, 2022), mientras que en Quintana Roo, los estudios enfocados al uso de HMA solo mencionan el uso de suelo rizosférico para evaluar el factor micorrización, sin identificar el número de HMA que forman parte del mismo (Tejero y Ortega, 2016). Sulub-Mas, Ríos y De la Rosa (2019) para Campeche registraron un total de 36 morfoespecies de hongos micorrícicos arbusculares en cultivos de maíz, siendo este estudio uno de los de mayor número de especies registradas para el estado, por lo que es muy importante mayor número de muestreo en estas áreas, ya que en el estudio solo se presentó el 11% de lo reportado para el estado. En otras partes del país también se han registrado hongos micorrícicos arbusculares, siendo el caso en el estado de San Luis Potosí, en donde se registró un número igual de hongos micorrícicos arbusculares (Tapia-Goné et al., 2008). En Hidalgo se han reportado 29 morfoespecies de HMA, (Chimal-Sánchez, García-Sánchez y Hernández, 2015).

En relación con la eficiencia de la nodulación y la colonización micorrícica arbuscular, se obtuvieron resultados que muestran una alta colonización (> 50%) al utilizar el medio Sabouraud dextrosa. Dichos resultados son congruentes con los parámetros reportados por (Restrepo-Giraldo et al., 2019). Este efecto fue especialmente evidente en muestras de LPrz provenientes de especies forestales como jobillo, machiche, caoba, chicozapote y pimienta. No obstante, las cepas aplicadas en especies SAF y cultivos trampa en sistemas MIAF mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. En particular, al emplear un tratamiento con sustrato y micorrizas en una proporción de 80/20, las especies forestales seleccionadas por su importancia PSV, como cedro rojo, Chakté-viga y circote, presentaron una colonización HMA significativamente alta (> 50%), caracterizadas morfológicamente con las metodologías antes descritas, confirmando su pertenencia al orden *Glomerales* (Figuras 1, 2, 3, 4). Es importante destacar que estas especies fueron tratadas en vivero antes de su reintroducción en campo abierto. En su trabajo sobre el papel de hongos micorrícicos arbusculares, resultan efectivas los medios de cultivo sólido in vitro, además de las cultivadas en campo (Fernández-Suárez, 2012). Según Britania (2011), el medio de cultivo Sabouraud demostró ser el más eficiente para el crecimiento micelial en las especies forestales estudiadas. La eficiencia de las micorrizas arbusculares en especies SAF Y MIAF, destacando de manera significativa las especies forestales: jobillo, machiche, caoba, chicozapote y pimienta. En relación al cultivo trampa, se comprobó que el crecimiento rápido (maíz y jícama), resultan eficientes con el método de inoculación directa (sustrato y micorrizas 80/20), en la que mostró una germinación del 95% y predominancia en la micorrización. A diferencia de las esporas aisladas en las raíces arbusculares estos valores carecen de un estándar de comparación uniforme debido a que la variabilidad en la colonización micorrícica está influenciada por el tipo de especie vegetal y su edad fisiológica (Aravena, 2007<sup>3</sup>; Miranda-Pérez, Vigil y Ravelo, 2021).

Por otro lado, en cuanto a la presencia de HMA, se observó un impacto positivo en el crecimiento de la longitud radicular de las plántulas de Chakté-viga, cedro rojo y circote de las especies SAF. Según el análisis de varianza de un factor, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En la sexta semana, los tratamientos T3, T4 y T5 registraron valores promedio de longitud radicular de 19.4 cm, 24.0 cm y 26.0 cm, respectivamente, los cuales fueron superiores a los valores obtenidos en los tratamientos sin inoculantes (Control) T1 y T2, que no superaron los 21.9 cm (Figura 5). Estos resultados son consistentes con los reportados por Gimabel-Tamara (2022<sup>4</sup>). Los resultados de esta investigación confirman que los beneficios de los HMA, demostrando su éxito en cultivos a campo abierto, así como en sistemas de cultivo en medios enriquecidos in vitro, aportando significativamente resultados exitosos en distintos tipos de cultivo, como promotoras del crecimiento (Alarcón, Cerrato, Chávez y Monter, 2000).

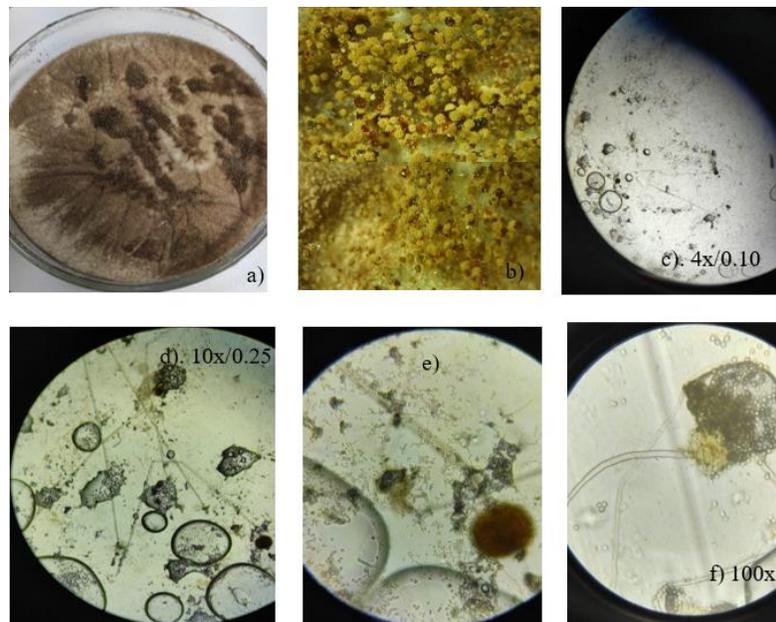
<sup>3</sup> Aravena-Herrera, C. M. (2007). *Efecto de la micorrización en plantas de vivero de palto y cítricos bajo diferentes dosis de fertilización*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en <http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/19969>

<sup>4</sup> Gimabel-Tamara, P. A. (2022). *Producción de plántulas de Gmelina arborea roxb (MELINA) aplicando hongos formadores de micorrizas del género trichoderma como promotores del crecimiento vegetal en el cantón Quevedo provincia de los Ríos*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero. Ecuador. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6925>



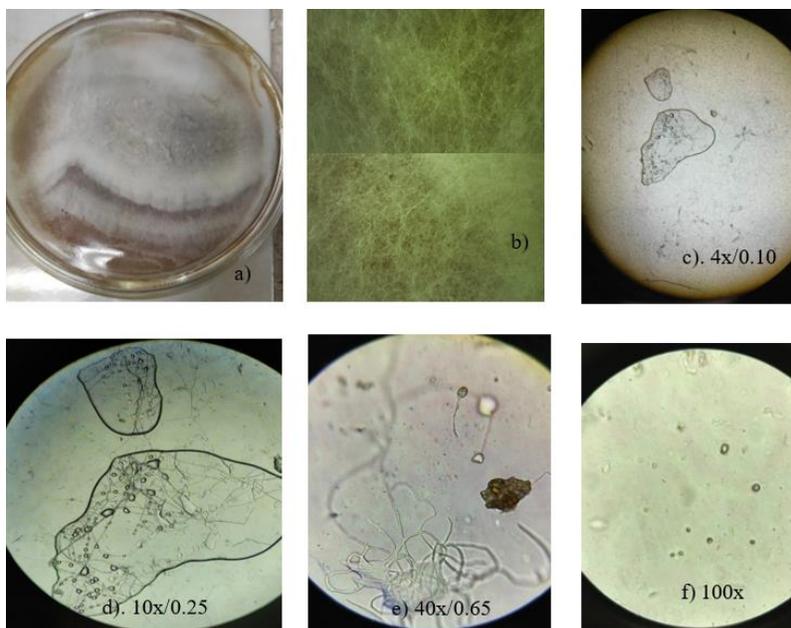
**Figura 1. Caracterización morfológica de un aislamiento de MHA identificado (Glomerales); a) Imagen del aislamiento a simple vista; b) Observación en el estereoscopio 10x; c-f) Observaciones del cultivo en microscopio compuesto (aumentos descritos en cada imagen).**

**Figure 1. Morphological characterization of an identified MHA isolate (Glomerales); a) Image of the isolate with the naked eye; b) Observation in the 10x stereoscope; c-f) Observations of the culture in a compound microscope (magnifications described in each image).**



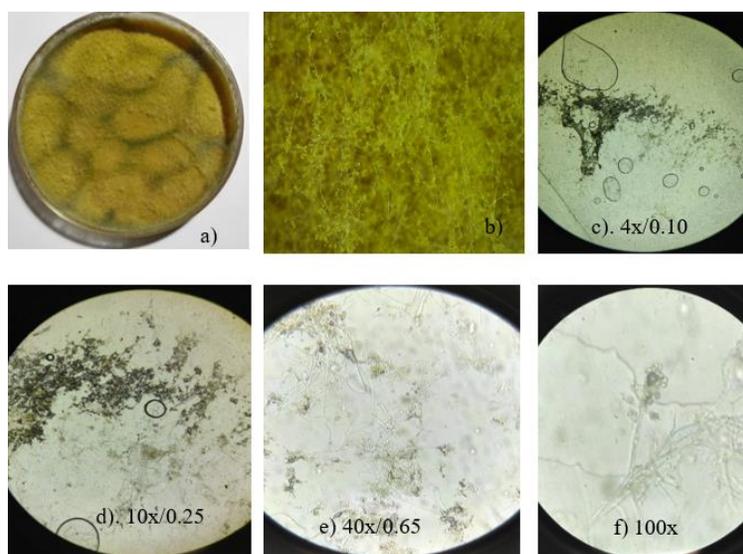
**Figura 2. Caracterización morfológica de un aislamiento de MHA identificado (Glomerales). Imagen del aislamiento = a) simple vista; b) Observación en el estereoscopio 10x; c-f) Observaciones del cultivo en microscopio compuesto, (aumentos descritos en cada imagen).**

**Figure 2. Morphological characterization of an identified MHA isolate (Glomerales). Image of the isolate = a) naked eye; b) Observation in the 10x stereoscope; c-f) Observations of the culture in a compound microscope, (magnifications described in each image).**



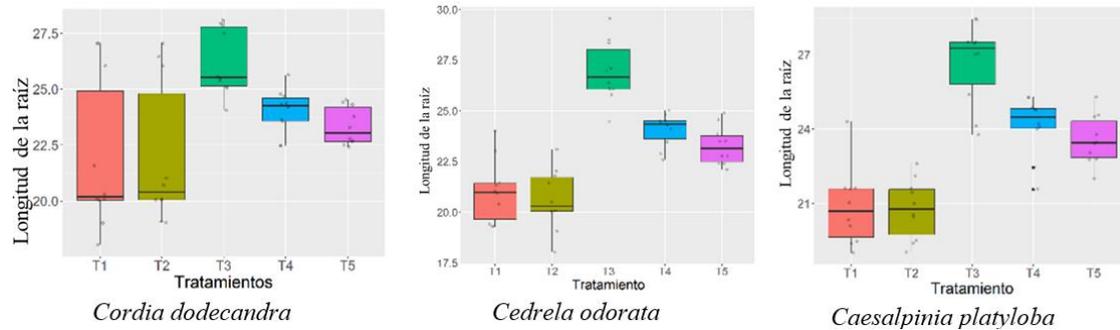
**Figura 3. Caracterización morfológica de un aislamiento de MHA identificado (Glomerales).** Imagen del aislamiento = a) simple vista; b) Observación en el estereoscopio 10x; c-f) Observaciones del cultivo en microscopio compuesto, (aumentos descritos en cada imagen).

**Figure 3. Morphological characterization of an identified MHA isolate (Glomerales).** Image of the isolate = a) naked eye; b) Observation in the 10x stereoscope; c-f) Observations of the culture in a compound microscope, (magnifications described in each image).



**Figura 4. Caracterización morfológica de un aislamiento de MHA identificado (Glomerales).** Imagen del aislamiento = a) Imagen del aislamiento a simple vista; b) Observación en el estereoscopio 10x; c-f) Observaciones del cultivo en microscopio compuesto, (aumentos descritos en cada imagen).

**Figure 4. Morphological characterization of an identified MHA isolate (Glomerales).** Image of the isolate = a) Image of the isolate with the naked eye; b) Observation in the 10x stereoscope; c-f) Observations of the culture in a compound microscope, (magnifications described in each image).



**Figura 5. Efecto de los tratamientos con HMA sobre el crecimiento de raíces de especies SAF.** Abreviaturas: T1 (control) = sustrato estéril sin inoculación de micorrizas; T2 = sustrato enriquecido estéril con esporas (90/10); T3 = sustrato enriquecido con raíces micorrizadas (80/20); T4 = mezcla equitativa de sustrato y raíces micorrizadas (50/50); T5 = raíces micorrizadas con sustrato enriquecido (20/80).

**Figure 5. Effect of AMF treatments on root growth of SAF species.** Abbreviations: T1 (control) = sterile substrate without mycorrhizal inoculation; T2 = sterile spore-enriched substrate (90/10); T3 = substrate enriched with mycorrhizal roots (80/20); T4 = equal mixture of substrate and mycorrhizal roots (50/50) and T5 = mycorrhizal roots with enriched substrate (20/80).

## CONCLUSIONES

Las micorrizas arbusculares representan una alternativa prometedora como biofertilizantes, demostrando su efectividad en mejorar el desarrollo de diversos cultivos. Los resultados obtenidos resaltan su potencial para ser utilizadas en programas de reforestación y recuperación ecológica, especialmente en sistemas agroforestales de árboles maderables y frutales (SAF) y milpas intercaladas con árboles frutales (MIAF), en el contexto del Programa Sembrando Vida. En particular, se observaron resultados significativos en la colonización micorrícica de especies pertenecientes a sistemas SAF y MIAF, lo que favoreció la supervivencia y el desarrollo de plántulas en etapas tempranas, demostrando diferencias significativas entre tratamientos, confirmando su pertenencia al orden *Glomerales*. Esto se atribuye a la capacidad de las micorrizas para facilitar la absorción y el transporte de nutrientes y agua, contribuyendo así al establecimiento exitoso de las plantas y al fortalecimiento de los ecosistemas productivos.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

La investigación reportada, fue financiada por el Tecnológico Nacional de México, con clave asignada 18616.23-PD bajo el registro del Proyecto "Aportación de la biofertilización utilizando micorrizas para la producción de especies forestales con doble propósito en vivero, en el Sureste del Estado de Campeche, México", en la Convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura, preparación del borrador original, edición, administración del proyecto, metodología: B.R.M.C. Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, escritura, revisión y edición: N.L.R.A. y M.V.E. Supervisión, validación, metodología y análisis formal: K.V.A. y W.C.I. Metodología, validación, recursos y análisis formal: E.J.C.R. y J.L.G.T.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos manifestar nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México (TECNM) por otorgar financiamiento a la investigación reportada por el Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, con clave asignada 18616.23-PD bajo el registro del proyecto "Aportación de la biofertilización utilizando micorrizas para la producción de especies forestales con doble propósito en vivero, en el Sureste del Estado de Campeche, México", en la Convocatoria 2023: proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación. También, agradecer las facilidades brindadas para las prácticas de campo al Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología Forestal "El Tormento" de la Comisión Nacional Forestal y a los viveros ejido "el Lechugal" y "el colibrí". Finalmente, pero no menos importante al QBB. Martín Gabriel Chan Palomo, por brindar asesorías especializadas. Asimismo, a estudiantes de la carrera Ingeniería en Energías Renovables de distintos semestres por contribuir en la realización de distintas pruebas de laboratorio y de campo para el logro de los objetivos de dicho proyecto.

## LITERATURA CITADA

- Abu-Elsaoud, A. M., Nafady, N. A., & Abdel-Azeem, A. M. (2017). Arbuscular mycorrhizal strategy for zinc mycoremediation and diminished translocation to shoots and grains in wheat. *PLoS One*, 12(11), e0188220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188220>
- Aguirre-Medina, J. F. (2011). Biofertilizantes a base de micorriza-arbuscular y su aplicación en la agricultura. *Agro Productividad*, 4(1), 3-8.
- Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha*, 29, 5-14.
- Akhtar, O., Pandey, D., Zoomi, I., Singh, U., Chaudhary, K. L., Mishra, R., & Pandey, N. (2024). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Heavy Metals Homeostasis in Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(11), 3971-3985. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11393-w>
- Alarcón, A., Cerrato, R. F., Chávez, M. G., & Monter, A. V. (2000). Hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa CV. Fern obtenidas por cultivo in vitro. *Terra Latinoamericana*, 18(3), 211-218.
- Amir, H., Lagrange, A., Hassaine, N., & Cavaloc, Y. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soils improve tolerance to nickel of endemic plant species. *Mycorrhiza*, 23(7), 585-595. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0499-6>
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia*, 61, 84-90.
- Argüello, A. H., Castellanos, S. D. E., & Rincón, M. J. M. (2011). Biofertilizantes para la producción limpia de hortalizas. Biofertilizantes Para La Producción Limpia De Hortalizas. Bogota, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. ISBN: 978-958-719-734-1.
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Audet, P., & Charest, C. (2006). Effects of AM colonization on "wild tobacco" plants grown in zinc-contaminated soil. *Mycorrhiza*, 16, 277-283. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0045-x>
- Avalos, H. C., Manson, R., & Martínez, J. D. N. (2020). Evaluación de la focalización del Programa Sembrando Vida. Consultada el 15 de julio, 2015, desde <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/294>
- Bano, M., & Ahmed, B. (2017). Manilkara zapota (L.) P. Royen (Sapodilla): a review. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(6), 1364-1371.
- Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 123-132.
- Britania (2011). *Sabouraud Glucosado Agar*. Consultado el 09 de julio, 2023, desde [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_5af08a08a7afe.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_5af08a08a7afe.pdf)
- Britania. (2021). *Papa Glucosado Agar*. Consulta el 09 de julio, 2023, desde [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_60707ad8180cb.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60707ad8180cb.pdf)
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Chimal-Sánchez, E., García-Sánchez, R., & Hernández-Cuevas, L. V. (2015). Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología*, 41, 14-26.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2001). *Circote (Cordia dodecandra A.DC.)* Protocolo para su Colecta, Beneficio y Almacenaje. Consultado el 8 de agosto, 2023, desde <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/906Cordia%20dodecandra.pdf>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2009). *Cedrela odorata L.* Consultado el 8 de agosto, 2023, desde <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1299Cedro%20rojo%20Yucat%20c3%a1n.pdf>
- Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2014). *Manual de protocolos: Herramientas para el estudio y manipulación de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Trichoderma*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata. ISBN 978-987-544-606-9
- Escalante, E., & Guerra, A. (2015). Sistemas Taungya en plantaciones de especies forestales de alto valor comercial en Venezuela. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl (Eds.). *Sistemas Agroforestales* (pp. 52-66). Colombia: CATIE. ISBN: 978-958-9386-74-3

- Espinoza, F., Torres, A., & Chacón, E. (2007). Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Cuji (*Acacia macracantha* y *Mimosa tenuiflora*) como aporte de proteína económica en los sistemas doble propósito. *Recursos Agroalimentarios*, 1(1), 47.
- Fernández-Suárez, K. (2012). Los sistemas de cultivo in vitro aplicados al estudio de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). *Cultivos Tropicales*, 33(2), 33-43.
- Gastélum, R. G. (2024). Perspectiva del programa sembrando vida. Un enfoque de política pública y marco lógico. *Brazilian Journal of Business*, 6(2), e70066.
- Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., & Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300-306.
- Hernández-Guzmán, H., Aguilar-Cordero, W. D. J., & Salazar Gómez-Varela, C. (2022). Uso y manejo de raíces y tubérculos comestibles nativos en una comunidad maya de Yucatán, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 1-27. <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1177>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2023). Mejoramiento de la variedad sintética de maíz VS-536. Consulta el 20 de junio, 2023, desde <https://www.gob.mx/inifap/articulos/mejoramiento-de-la-variedad-sintetica-de-maiz-vs-536?idiom=es>
- INVAM (International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi). (2017). Species descriptions from reference cultures. Consulta el 20 de junio, 2023, desde <https://invam.ku.edu/species-descriptions>
- Kokkoris, V., Banchini, C., Paré, L., Abdellatif, L., Séguin, S., Hubbard, K., ... & Stefani, F. (2024). Rhizophagus irregularis, the model fungus in arbuscular mycorrhiza research, forms dimorphic spores. *New Phytologist*, 242(4), 1771-1784. <https://doi.org/10.1111/nph.19121>
- Lara-Pérez, L. A., Zulueta-Rodríguez, R., & Andrade-Torres, A. (2017). Micorriza arbuscular, Mucoromycotina y hongos septados oscuros en helechos y licófitas con distribución en México: una revisión global. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1062-1081.
- Lozano-Sánchez, J. D., Armbrecht, I., & Montoya-Lerma, J. (2015). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronómica*, 64(4), 289-296. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.46045>
- Martín-Canché, B. R., Eligio, M. V., Rangel, H. A. D., Ramírez, G. A., & Góngora, J. A. A. (2022). Sobrevivencia de plantas nativas forestales para la reforestación en áreas perturbadas por actividades agropecuarias en el ejido de Arellano, Champotón, Campeche, México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(6), 11041-11059. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.4184](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4184)
- Martínez-Boza, S. (2010). Desafío del desarrollo: la agricultura orgánica como parte de una estrategia de mitigación de la pobreza rural en México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 19(37), 92-111.
- Martínez-Pérez, D., Hernández-García, M. A., & Martínez-González, E. G. (2013). *Colección Trópico Húmedo. La pimienta gorda en México (Pimenta dioica L. Merrill): avances y retos en la gestión de la innovación*. México: Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 978-607-12-0325-0
- Martínez, E., & Galindo-Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: Clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71, 7-32. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1660>
- MCD (2023). Agar Dextrosa y Papa. Consulta el 5 de noviembre, 2023, desde [https://mcd.com.mx/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=22661](https://mcd.com.mx/index.php?controller=attachment&id_attachment=22661)
- MCD-LAB, F. P. (2022). Agar Dextrosa Sabouraud. Consulta el 20 de marzo, 2023, desde <https://www.milsainstrulab.com/wp-content/uploads/2022/10/FT-Agar-Dextrosa-Sabouraud.pdf>
- Miranda-Pérez, D., Vigil-García, P. A., & Ravelo-Pimentel, K. (2021). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la fase inicial de crecimiento de *Zea mays* L. *Avances*, 23(3), 1-10
- Mize, C., Centeno-Erquera, R., & Negreros-Castillo, P. (1997). Crecimiento de ocho especies forestales en selvas secundarias de Campeche, México. *Revista Forestal Centroamericana*, 6(19), 26-31.
- Montaño-Arias, S. A., Montaño, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., Grether, R., Montaño-Arias, G., & Chimal-Sánchez, E. (2023). Crecimiento y asignación de biomasa de ocho especies de Mimosa (Leguminosae) y su relación con la nodulación y micorrización arbuscular. *Botanical Sciences*, 101(4), 978-994. <https://doi.org/10.17129/botsoci.3295>
- Mujica-Pérez, Y. (2012). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) por dos vías diferentes en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(4), 71-76.
- Muñoz-Márquez, E., Macías-López, C., Franco-Ramírez, A., Sánchez-Chávez, E., Jiménez-Castro, J., & González-García, J. (2009). Identificación y colonización natural de hongos micorrízicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 355-361.
- Negreros-Castillo, P., Apodaca-Martínez, M., & Mize, C. W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques*, 16(2), 7-18.
- Nicolson, T. H., & Schenck, N. C. (1979). Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. *Mycologia*, 71(1), 178-198. <https://doi.org/10.1080/00275514.1979.12020997>
- Palma-López, D., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Morales-Garduza, M., López-Castañeda, A., Shirma-Torres, E., ... & Tinal-Ortiz, S. (2017). Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad*, 10(12), 71-78.
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G. I., Arguelles, J. H., & Arcos, A. L. (2007). Micorrizas arbusculares del sur de la amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica*, 37, 327-336. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000300003>
- Pérez, Y., & Schenck, N. C. (1990). A unique code for each species of VA mycorrhizal fungi. *Mycologia*, 82(2), 256-260.
- Ramírez-Rodríguez, M. (2015). La pesquería de camarón en Campeche: Desarrollo histórico y perspectiva. *Ciencia Pesquera*, 23(1), 73-87.
- Ramos-Zapata, J. A., & Herrera-Parra, E. (2022). Contando lo minúsculo: riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en Yucatán. *Bioagrobiencias*, 15(2), 33-41.
- Rendón-von Osten, J., Memije-Canepa, M., & Ek Moo, N. A. (2005). Plaguicidas orgánicos persistentes (POPs) en sedimentos de la costa sur de Campeche, México. En J. Botello, R. von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias* (pp. 249-260). México: Universidad Autónoma de Campeche-Universidad Autónoma de Campeche-Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología. Campeche.
- Restrepo-Giraldo, K. J., Montoya-Correa, M. I., Henao-Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina-Guzmán, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>
- Richter, H., Silva, J., Fuentes, F., Rodríguez, R., & Torres, P. (2009). *Fichas de Propiedades Tecnológicas de las Maderas. México: Departamento de Madera, Celulosa y Papel. CUCEI. Universidad de Guadalajara*. Consultado el 24 de mayo, 2023, desde [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2596/Technical/Capitulo%207%20Fichas%20Tecnol%C3%B3gicas%20de%20las%20Especies%20de%20Madera.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2596/Technical/Capitulo%207%20Fichas%20Tecnol%C3%B3gicas%20de%20las%20Especies%20de%20Madera.pdf)

- Rodríguez-López, C. P., De León, A. N., Arboleda-Valencia, J. W., Valencia-Jimenez, A., & Valle-Molinares, R. H. (2015). Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* L. en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Agronomía*, 23(1), 20-34.
- Secretaría de Bienestar (2022). Galería del Programa Sembrando Vida. Consultado el 13 de marzo, 2023, desde <https://www.gob.mx/bienestar/galerias/galeria-del-programa-sembrando-vida>
- Secretaría de Bienestar (2023a). Mapa de unidades de producción del Programa Sembrando Vida. Consultado el 19 de abril, 2023, desde <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/823072/MapaUnidadesProduccionSV.pdf>
- Secretaría de Bienestar (2023b). Programa Sembrando Vida. Consultado el 30 de junio, 2023, desde <https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>
- Silva, H. D. D., & Montoya, L. V. G. (2022). Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(2), 2-14. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15196>
- Soto, S. J. E., Pinto, L. J. E., & Millán, R. E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *Tecnológicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>
- Sulub-Mas, M. E., Ríos, A. M., & De la Rosa, S. D. C. (2019). Efecto de la quema en el cultivo de maíz sobre los hongos micorrízicos arbusculares. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 23(2), 7-13.
- Tapia-Goné, J., Ferrera-Cerrato, R., Varela-Fregoso, L., Rodríguez Ortiz, J. C., Lara Mireles, J., Soria Colunga, J. C., ... & Cisneros Almazán, R. (2008). Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Micología*, 26, 1-7.
- Tejero, C. P. M. M., & Ortega, I. O. (2016). *Producción de plántulas de caoba (Swietenia macrophylla King) inoculadas con suelo rizosférico nativo de selva mediana en el Sur de Quintana Roo*. México: ITZM.
- Vargas-Vázquez, V. A., Sánchez-Rangel, N. I., Hernández-Cuevas, L. V., & Guevara-Guerrero, G. (2021). Riqueza de especies de hongos micorrízicos asociados a plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 16(1), 6-19. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1527>
- Walker, C. (1992). Sistemática y taxonomía de los hongos endomicorrízicos arbusculares (*Glomales*): un posible camino a seguir. *Agronomie*, 12(10), 887-897.
- Xu, Y., Tu, Y., Feng, J., Peng, Z., Peng, Y., & Huang, J. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi mediate the acclimation of rice to submergence. *Plants*, 13(14), 1908. <https://doi.org/10.3390/plants13141908>