

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Facultad de Ingeniería
Villa Corzo**

***Caracterización morfológica de la
comunidad de Hongos Micorrízicos
Arbusculares en plantaciones de
pitahaya (Hylocereus undatus)***

**Tesis profesional
Como requisito para obtener el título de
Ingeniero Agroforestal**

**Presenta
Diana Laura Luna Sánchez**

**Director
Dr. Miguel Prado López
CoDirectora
Dra. Silvia Margarita Carrillo Saucedo**

Villa Corzo, Chiapas; Octubre 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villacorzo, Chiapas.
04 de Septiembre de 2025

C. Diana Laura Luna Sánchez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Caracterización morfológica de la comunidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en
plantaciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*)

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Dr. Rubén Martínez Camilo

Dr. Miguel Prado López

Firmas:

Ccp. Expediente

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme cumplir esta meta de trabajar y culminar este proyecto.

A mis padres Julio Luna Sandoval y Areli Sánchez López por siempre estar presentes dándome su apoyo y amor, motivándome a esforzarme para poder cumplir mis metas y sobre todo que a pesar de las situaciones difíciles ellos han estado presentes para ayudarme a salir adelante.

A mis hermanos por su amor y que me han ayudado con sus consejos y sobre todo dándome ánimos durante este camino.

A mis amigos por sus palabras de aliento, quienes me ayudaron siempre dándome algún consejo en esos momentos en los que sentía no poder continuar y quería dejar todo a la deriva.

A mi director de tesis, Doctor Miguel Prado López por haber confiado en mí y darme la oportunidad de trabajar con este proyecto y sobre todo por siempre darme su apoyo, paciencia y brindarme de sus conocimientos durante esta investigación. Por ser un excelente ser humano, sobre todo un excelente profesor que motiva y guía a sus alumnos para alcanzar sus metas.

A la Doctora Silvia Margarita Carrillo Saucedo por dedicar de su tiempo y brindarme sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto de tesis, agradezco su paciencia al compartirme sus saberes científicos lo cual ha sido fundamental para el éxito de esta investigación.

Al Doctor Martín Hassan Polo Marcial por su invaluable apoyo en la confirmación de las especies de hongos micorrizicos durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y disposición fueron fundamentales para lograr resultados precisos.

Al Laboratorio Nacional de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad (LANIES) y al Laboratorio de Agroecología de la Universidad Autónoma de México (UNAM), Campus Morelia, Michoacán, por brindarme la oportunidad de realizar parte de esta investigación en sus instalaciones.

Agradezco también al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas por la ayuda económica otorgada a través de la beca “Tesis de Licenciatura 2024” este apoyo fue esencial para la realización de la investigación y continuidad de esta tesis, de esta forma se aprecia el compromiso de la institución para fomentar la investigación académica en los estudiantes de nuestro estado.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	2
1.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	3
1.2 Proceso de colonización	4
1.3 Composición y diversidad de la comunidad de HMA	5
1.4 Taxonomía de los HMA: importancia de las esporas	6
1.5 Importancia de las esporas de HMA en cultivos	8
1.5.1 Importancia agroecológica de los HMA	9
1.5.2 Hongos Micorrízicos Arbusculares en pitahaya.....	10
2. Cultivo de <i>Hylocereus undatus</i>	11
2.1 Pitahaya en sistemas agroforestales	12
3. Objetivo General.....	14
3.1 Objetivos específicos.....	14
4. Metodología.....	15
4.1 Sitio de estudio	15
5.3 Diseño de muestreo	17
4.4 Técnicas de identificación de esporas	19
5. Resultados y discusión	27
5.1 Morfotipos de esporas	29
6. Conclusiones	38
7. Referencias	39

Índice de Tablas y Figuras

Figura 1. Ubicación del Predio El Brasil en el municipio de Suchiapa, Chiapas	16
Figura 2. Diseño espacial para la obtención de muestras de suelo en las dos estaciones, los puntos representan las plantas de pitahaya y las x señalan las plantas seleccionadas	18
Figura 3. La imagen muestra la solución de sacarosa al 70% lista para el proceso de agitación durante 30 minutos con un agitador magnético.....	20
Figura 4. Muestra el proceso donde se colocó 40 ml de sacarosa al 70% en los tubos Falcón que contienen el suelo tamizado	22
Figura 5. Muestra el extracto de esporas y materia orgánica recuperado en las cajas Petri cuadriculadas para ser analizadas al microscopio estereoscópico.....	22
Tabla 1. Ejemplo de los tres conteos realizados para cada muestra, así como la suma total de esporas en los 10 cuadros contados en una caja Petri	23
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 6. Estereoscopio AmScope utilizado para la observación y separación de las esporas. También se muestran los materiales utilizados para separar las esporas (pipeta graduada, pinzas de disección, agua destilada, pastillero).....	25
Figura 7. Microscopio óptico OLYMPUS utilizado para la identificación de las esporas, en el cual se tomaron las medidas y fotografías de las esporas	26
Tabla 2. Abundancia de esporas (esp/g de suelo) en muestras compuestas de suelo de rizosfera de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i>) en dos estaciones y dos condiciones ambientales.....	27
Tabla 3. Listado de morfotipos de glomeroesporas de HMA en suelo de rizosfera de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i>) en dos estaciones y dos condiciones ambientales.....	31
Tabla 4. Especies encontradas en la rizósfera de la pitahaya en época de lluvias y secas en dos condiciones ambientales bajo sol y bajo sombra	33
Figura 8. Especies de esporas de HMA encontradas en la rizósfera de pitahaya en época de lluvias y secas en dos condiciones ambientales (bajo sol y bajo sombra).....	35

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son esenciales para la productividad en cultivos agrícolas donde contribuyen a la mejora de la absorción de nutrientes y resistencia a enfermedades. Pocos estudios se han enfocado en investigar las esporas de HMA en cultivos de pitahaya. El objetivo fue caracterizar morfológicamente las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Hylocereus undatus* bajo manejo agroforestal en diferentes estaciones y condiciones ambientales. El estudio se realizó en el predio “El Brasil”, Chiapas. Se seleccionaron 40 plantas en dos estaciones (secas y lluvias) y en condiciones ambientales de sombra y pleno sol. En estación de seca y en condición ambiental bajo sombra la abundancia de esporas es mayor (23 esp./ g⁻¹ de suelo). Se encontraron 4 colores de esporas: naranjas, amarillas, rojizas y blancas. Las primeras tres, se encuentran a lo largo del año y en cualquiera de las dos. Sin embargo, las blancas se encontraron sólo en estación de lluvia y solo a pleno sol. Algunas de las especies identificadas son *Septoglomus constrictum*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Funeliformis geosporum*. Desde el punto de vista ecológico se estaría investigando como los hongos micorrízicos interactúan específicamente con las plantaciones de pitahaya y que especies de HMA son los que se encuentran colonizando en este sistema agroforestal. Este estudio aporta información relevante para mejorar la productividad de las plantaciones con ayuda de estos organismos que forman simbiosis con las raíces de las plantas.

Palabras clave: Diversidad estacional, Esporas, Glomeromycota, Hongos Micorrízicos Arbusculares, Sistemas Agroforestales,

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are essential for plant productivity. In agricultural crops, these fungi make a significant contribution to enhanced nutrient uptake, disease resistance. Few studies have focused on investigating AMF spores in dragon-fruit (pitahaya) crops. The objective was to morphologically characterize the arbuscular mycorrhizal fungal communities in *Hylocereus undatus* plantations under agroforestry management across different seasons and environmental conditions. The research was conducted at the “El Brasil” property in Chiapas, Mexico. Forty plants were selected in two seasons (dry and rainy) and under two environmental conditions (shade and full sun). During the dry season and under shaded conditions, spore abundance was highest (23 spores g⁻¹ soil). Four spore colours were recorded—orange, yellow, reddish, and white. The first three colours were present year-round under both conditions; however, white spores were found only during the rainy season and exclusively in full sun. Some of the species identified were *Septoglomus constrictum*, *Claroideoglomus etunicatum*, and *Funneliformis geosporum*. Ecologically, it investigates how AMF interact specifically with dragon-fruit plantations and which AMF species colonize this agroforestry system.

Keywords: Seasonal diversity, Spores, Glomeromycota, Arbuscular mycorrhizal fungi, Agroforestry systems

1. Introducción

1.1 Hongos Micorrízicos Arbusculares

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) forman parte del grupo de las endomicorrizas y pertenecen al phylum Glomeromycota (Devia *et al.*, 2021). Estos organismos forman simbiosis con las raíces de más del 80% de las plantas y se reproducen a través de esporas. Colonizan a las raíces a través de propágulos: esporas, hifas extraradicales o raíces colonizadas, que se encuentran en el suelo cerca del sistema radical (Guadarrama, 2008). Los HMA tienen la función de extender la capacidad de absorción de nutrientes de las raíces de las plantas mediante el sistema de hifas extraradicales que se extienden más allá de la zona de agotamiento de la raíz (Garzón, 2015). De esta manera contribuyen a mejorar la absorción de agua por parte de las plantas, así como a la captación y absorción de nutrientes que se encuentran en el suelo y que no pueden llegar a la planta como el fósforo, cobre, nitrógeno, zinc y hierro (Reyes *et al.*, 2019). Por otro lado Garzón (2015) describe que esta simbiosis también ayuda a las raíces a ser más resistentes a las enfermedades.

La asociación de los HMA y las plantas transforma la estructura y fisiología de la planta a nivel radical, esto ayuda a disminuir las poblaciones de organismos patógenos que se encuentran en el suelo y que el grado de infección sea menor (Ramos & Guadarrama, 2004). Debido a esta asociación, las plantas se vuelven más resistentes ante los patógenos que atacan a las raíces ya que aumentan su estado nutrimental y se activan mecanismos de defensa como la producción de

fitoalexinas para combatir a los patógenos (Ramos & Guadarrama, 2004). De igual forma es importante tener en cuenta que los HMA son organismos heterótrofos que no realizan la fotosíntesis, por lo que dependen de las plantas para obtener carbohidratos a cambio de un intercambio con los nutrientes que estos proporcionan a las plantas (Reyes, 2011).

1.2 Proceso de colonización

La colonización de las raíces, así como la simbiosis inicia con la germinación de las esporas (Aguilera *et al.*, 2007). Para ello, deben existir las condiciones edáficas adecuadas, por ejemplo, de temperatura, humedad y un pH ligeramente ácido; estas condiciones favorecen el crecimiento de microorganismos y de los hongos (Reyes, 2011). Una vez germinada la espora, el hongo comienza el proceso de colonización intracelular, cuando la hifa degrada la pared de la célula y se ramifican en las raíces de las plantas, formando estructuras llamadas arbuscúlos. Aguilera (2007) menciona que estas estructuras funcionan como medio para el intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo. Además de los arbuscúlos, se presentan otras estructuras, como las *vesículas intercelulares*, las cuales son estructuras de reservas de nutrientes; el *micelio intraradical*, que penetra la raíz buscando células dónde establecerse y, el *micelio extraradical*, que crece hacia afuera de las raíces de la planta para entrar en contacto con el suelo (Camarena-Gutierrez, 2012).

1.3 Composición y diversidad de la comunidad de HMA

Una comunidad ecológica está compuesta por poblaciones de distintas especies que interactúan entre sí en un determinado tiempo y espacio. Vega (2024) describe que una comunidad de HMA se refiere específicamente a las morfoespecies de estos hongos presentes en las muestras de suelo de un ecosistema determinado, se habla de morfoespecie porque se utiliza la taxonomía morfológica para identificar o diferenciar a los HMA.

Para analizar la diversidad de una comunidad, es importante considerar tres propiedades fundamentales: la riqueza, que se refiere al número específico de especies presentes; la abundancia, que representa el número de individuos de las especies presentes en la comunidad (Arroyo *et al.*, 2013); y la diversidad, que indica la cantidad total de especies o un índice ponderado que incorpora las abundancias en la comunidad (Vega & Aguilar, 2024).

En el caso de los HMA, la *riqueza* se refiere a la cantidad de especies y/o morfotipos presentes en la comunidad (Chimal *et al.*, 2016). La *abundancia* de HMA se refiere al promedio de esporas presentes en una muestra determinada de suelo, mientras que la *diversidad* indica la variedad de especies de HMA identificados en las muestras de suelo (Bertolini *et al.*, 2018).

La composición de la comunidad de HMA se refiere a las diferencias en las identidades de las especies o morfotipos que se encuentran en condiciones ambientales contrastantes. A partir de esta identificación, podemos clasificar taxonómicamente el conjunto de hongos encontrados (Borda *et al.*, 2020). De esta

manera, podemos determinar el número de individuos, la cantidad de órdenes, familias y géneros de HMA presentes. Esto nos proporciona información sobre la riqueza de especies y nos ayuda a comprender la composición de los hongos en un ecosistema y/o condiciones ambientales determinadas (García *et al.*, 2011). De acuerdo a una clasificación de Glomeromycota se han descrito para México un listado de 160 especies, las cuales se distribuyen en 5 órdenes: Archaeosporales, Diversisporales, Gigasporales, Glomerales y Paraglomerales. Estos órdenes se distribuyen en 13 familias; Archaeosporaceae, Ambisporaceae, Glomeraceae, Entrophosporaceae, Diversisporaceae, Sacculosporaceae, Pacisporaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Scutellosporaceae, Racocetraceae, Dentiscutataceae y Paraglomeraceae. Que incluyen a 34 géneros, algunos de estos son: *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Pasispora*, *Claroideoglossum*, *Funneliformis*, *Septoglossum*, *Rhizophagus*, *Ambispora* (Polo *et al.*, 2022).

Conocer los atributos de la comunidad de HMA resulta importante en este tipo de estudios, porque de esta manera se puede determinar qué tan diferentes son las especies de HMA que colonizan las raíces vegetales e inferir, en parte, la función que estos cumplen en los ecosistemas terrestres (Martínez & Pugnaire, 2009).

1.4 Taxonomía de los HMA: importancia de las esporas

La morfología de las esporas de los HMA es la principal característica que se utiliza para diferenciar y reconocer a las distintas especies. Determinar la diversidad de estos, se basa principalmente en estudiar la morfología de las esporas, aislándolas del suelo. Debido a la amplia distribución de esporas resulta posible hacer

comparaciones con otros estudios (Guadarrama, 2008). Las esporas son las células reproductoras que producen los hongos micorrizicos, que permiten la dispersión y supervivencia durante condiciones adversas. Las esporas no se pueden observar a simple vista debido al tamaño pequeño que presentan, que van de 20 a 1000 μm , por lo que se necesita un microscopio para poder observarlas (Reyes, 2011). La mayoría de las esporas son de forma globosa, aunque algunas especies pueden ser de forma ovalada. De estas, se desprende una hifa de sustento lo cual le da a la espora una apariencia de globo con un hilo colgando. Reyes (2011) describe que dentro de las características de las esporas de HMA, estas se pueden diferenciar por sus colores (amarillas, blancas, pardas etc.) y por el tamaño. Otra de las características de las esporas es que presentan paredes que están formadas por una o varias laminas que van variando en estructura, grosor, apariencia y tinción cuando se le aplican los reactivos, éstas son características que se utilizan para identificar a que especie de hongo pertenecen. La presencia o no de ornamentación también es una carácter morfológico que se debe tomar en cuenta para identificar a las esporas (TWAMF, 2023).

Debido a la relevancia que tienen las esporas para determinar a las diferentes especies de HMA, es importante continuar con estudios morfológicos de las esporas de HMA, Para mejorar nuestro entendimiento sobre su diversidad, el papel ecológico que desempeñan en los ecosistemas, los impactos positivos que estos tienen sobre la salud vegetal y sobre todo la importancia de estos hongos en la restauración de los suelos (Ramos & Guadarrama, 2004).

1.5 Importancia de las esporas de HMA en cultivos

El estudio de las esporas de HMA en los cultivos agrícolas es fundamental, ya que representan el medio de reproducción de estos organismos. A través del análisis de las esporas, es posible identificar las especies potenciales que colonizan las raíces de las plantas en diferentes ecosistemas. De igual manera es importante porque los HMA están asociados con más del 80% de las plantas y son de gran utilidad porque ayudan a las raíces de las plantas a protegerlos de los fitopatógenos que puedan afectarlas, también mejoran la nutrición y el transporte de agua (Urgiles *et al.*, 2020).

Guadarrama (2008) describe en su estudio que al realizar el aislamiento de esporas tomando en cuenta diferentes factores ambientales, la fenología de la planta y diferentes épocas podemos comprender mejor la interacción de la comunidad de HMA. Porque durante la época de secas las esporas permanecen latentes debido a que la actividad metabólica de las plantas es baja, sin embargo durante la época de lluvias las condiciones son adecuadas para comenzar su germinación y necesitan encontrar una raíz para poder completar su ciclo de vida.

Las esporas de HMA presentes en los suelos han evolucionado de manera que las funciones ecológicas de los distintos grupos de HMA se complementan entre sí. Por ejemplo, las especies de la familia Glomeraceae desempeñan un papel crucial en la protección de las plantas frente a patógenos, mientras que la familia Gigasporaceae se especializa en el transporte de una mayor cantidad de fósforo hacia las plantas (Martínez & Pugnaire, 2009). En este sentido, una mayor diversidad de familias de HMA en los suelos fomenta beneficios adicionales, ya que

favorece la interacción entre las plantas y los hongos, por ello la producción de frutos será mayor.

1.5.1 Importancia agroecológica de los HMA

Diferentes actividades antropogénicas, como la agricultura y ganadería convencional, la deforestación y el cambio del uso de los suelos, provocan la erosión, disminuyendo la calidad de los suelos (Casanova *et al.*, 2011). Para disminuir los efectos negativos derivados de estas actividades humanas como lo son la erosión de los suelos y pérdida de nutrientes, se buscan soluciones con manejos agroecológicos, los cuales incluyen un conjunto de prácticas para mantener agroecosistemas sustentables. Estas prácticas incluyen el reciclaje de nutrientes, la mejora de la materia orgánica, el uso de compostas y abonos. También se busca diversificar las especies vegetales dentro de un sistema y sobre todo tener en cuenta los cultivos agrícolas a través de policultivos (Toledo & Altieri, 2015). Estos principios agroecológicos ayudan a mejorar las condiciones de los suelos y a generar conciencia en el manejo de los recursos naturales. De igual manera a disminuir los gastos de producción porque ya no se compran productos comerciales como fertilizantes químicos. Por ello, los microorganismos del suelo como los HMA son un grupo clave importante que puede garantizar la sostenibilidad (Ruiz *et al.*, 2015). Los HMA ayudan a la retención del suelo gracias a los mecanismos físicos del hongo que son la producción de micelio. El micelio exuda una proteína llamada glomalina que permite la adhesión de partículas primarias formando los agregados en el suelo contribuyendo a la reducción de los efectos causados por la erosión (Ávila, 2015). Por esta razón es de gran importancia darles

un buen manejo a los suelos como la rotación de cultivos agrícolas, la siembra de cultivos de cobertura, el uso de abonos orgánico y mantener las especies nativas de la vegetación para que las esporas de HMA puedan mantenerse presentes en los sistemas.

1.5.2 Hongos Micorrízicos Arbusculares en pitahaya

La ausencia de estudios detallados y específicos que exploren más el entendimiento de las relaciones entre los HMA y las pitahayas son pocos. Dentro de los cuales se encuentra un estudio experimental de Choez (2021), el cual describe que la asociación de HMA en las plantas de pitahaya ayuda a aumentar el número de frutos de las plantas y de igual forma aumenta el peso del fruto. En este estudio se utilizaron 4 tratamientos, en los cuales se aplicaron por planta: ectomicorrizas 60 g, ectomicorrizas y arbusculares 50 g, arbusculares 60 g y un tratamiento testigo. En el cual se evaluó el número de frutos por planta y peso del fruto. El tratamiento de micorrizas arbusculares tuvo el mayor número de frutos con 22 por planta con respecto al testigo, con 18 frutos por planta. Estos resultados indican que las micorrizas arbusculares si ayudan a las plantas de pitahaya al aumentar el número de frutos. De igual forma el estudio muestra resultados positivos en cuanto al peso del fruto demostrando que el tratamiento de micorrizas arbusculares también aumenta el peso del fruto (Choez, 2021). En un estudio realizado de HMA y cactáceas se encontraron resultados positivos en cuanto al beneficio de esta simbiosis, se ha comprobado que los HMA ayudan a la supervivencia, mejoran el crecimiento de las plantas y favorecen el estado hídrico (González *et al.*, 2005)). Por otra parte, se han realizado investigaciones de HMA

en plantaciones de higo Fegra (*Ficus palmata*) donde el objetivo fue aplicar inóculos de HMA para la adaptación biológica de las plantas de higo, en donde se evaluó el crecimiento de las plantas y el crecimiento de las raíces.

Demostrando que la inoculación de HMA afectó significativamente el crecimiento de las plantas en cuanto a la altura (21.70 cm). También se observó un aumento en el número de hojas con respecto al testigo (plantas no micorrizadas). De igual forma para el crecimiento de las raíces se demuestra que la inoculación con hongos micorrizicos actúan como promotores de crecimiento radicular, lo cual es beneficioso para las plantas (Dewir *et al.*, 2024). Los resultados de esta investigación demuestran que los HMA juegan un papel muy importante para el desarrollo de las plantas.

2. Cultivo de *Hylocereus undatus*

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una planta trepadora perenne, originaria de zonas tropicales de América del Norte, Central y Sur. Pertenece a la familia Cactaceae (Esquivel & Araya Quesada, 2012). Presenta tallos suculentos, verdes y fotosintéticos en forma de costillas gruesas que se extienden de manera longitudinal y flores hermafroditas (Montesinos *et al.*, 2015). Esta planta posee una gran adaptabilidad a condiciones estresantes impuestas por las sequías, suelos empobrecidos y condiciones climáticas adversas. Según Montesinos (2015) estas características de la planta la hacen adecuada como un cultivo en condiciones extremas.

Esta fruta es originaria de México y es cultivada en países como Taiwán, sur de China, Israel, Tailandia y Vietnam en donde la fruta es un cultivo predominante (Verona *et al.*, 2020). En México se cultiva principalmente en los estados de Yucatán, Puebla, Campeche, Quintana Roo y Tabasco, siendo la península de Yucatán el principal productor (Heredia *et al.*, 2023). La demanda de pitahaya ha aumentado considerablemente en mercados nacionales con una superficie de 605.63 hectáreas sembradas, obteniendo una producción de 2,342.53 toneladas (SIAP, 2015). La pitahaya tiene nutrientes fitoquímicos y compuestos antioxidantes en los frutos, que la hacen una fruta atractiva y de gran importancia económica (Oney, 2023).

2.1 Pitahaya en sistemas agroforestales

Los sistemas convencionales de producción intensiva de la pitahaya han sido un problema para los ecosistemas porque esto ha provocado la pérdida de vegetación. La fragmentación de estas áreas para cultivos ocasiona problemas para las especies que habitan estos lugares y debido al manejo que se le da a estos sistemas provocan el deterioro de los suelos (Pech *et al.*, 2022).

Por ello los sistemas agroforestales (SAF) son una alternativa que ayuda a producir alimentos y a mejorar la calidad de los ecosistemas. Ya que son sistemas sostenibles relacionados con el manejo del suelo, que ayudan a aumentar los rendimientos agrícolas al mejorar la fertilidad del suelo, prevenir su erosión, conservar el agua y reducir el desarrollo de plagas (FAO, 2021). Además, contribuyen a restaurar suelos degradados, mejoran la fertilidad de estos, favorecen

la fijación de carbono a través del componente arbóreo mediante la fotosíntesis (Casanova *et al.*, 2011) y mejoran la retención de agua, lo que los convierte en una opción clave para la sostenibilidad ambiental y agrícola.

Los sistemas agroforestales están compuestos por diversos elementos entre los cuales se encuentran especies forestales perennes, animales y la producción de cultivos (Narváez *et al.*, 2020). Las especies de árboles leñosos que se incluyen dentro de los sistemas agroforestales tienen una función importante al mantener o mejorar la productividad del sistema, ya que estos protegen a los cultivos del intenso sol y lluvias, ayudando de esta forma a disminuir la evapotranspiración y aumentando el reciclaje de los nutrientes (Clemente, 2021). Estos sistemas no solo ayudan a mejorar los ecosistemas, también son una alternativa para mejorar la economía, porque de ellos se pueden obtener diversos productos para comercializar. Los sistemas agroforestales de pitahaya están integrados con árboles de *Bursera diversifolia* los cuales sirven de tutores vivos en donde las pitahayas crecen. Además, dentro de la plantación se encuentran árboles nativos dispersos de diferentes especies que proveen sombra, contribuyen a mantener mayor humedad y también son utilizados para obtener leña.

El sistema se maneja con prácticas agroecológicas porque se aplican abonos orgánicos, compostas, bioles y cultivos de cobertura como la calabaza, el chipilín y la canavalia. Es importante mencionar que se realizan podas de saneamiento a las pitahayas para mantener las plantaciones saludables.

3. Objetivo General:

Caracterizar morfológicamente las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de pitahaya bajo manejo agroforestal en diferentes estaciones y condiciones ambientales.

3.1 Objetivos específicos:

1. Cuantificar la abundancia de esporas de HMA en suelos con plantaciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en dos estaciones y dos condiciones ambientales
2. Describir la riqueza de la comunidad de HMA en suelos con plantaciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en dos temporalidades y dos condiciones ambientales

4. Metodología

4.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en el predio “El Brasil” que se encuentra en el municipio de Suchiapa, Chiapas (Figura 1). El clima que predomina es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una humedad media de 53.78% y precipitaciones anuales de 900 a 1000 mm, con un rango de temperatura que va de los 20 - 26° C (CEIEG, 2015). La vegetación presente en este sitio es de selva baja caducifolia. Dentro de las especies que conforman la vegetación se encuentran el Guajillo (*Acaciella angustissima* Britton & Rose), Nanche (*Byrsonima crassifolia* Steud.), Caoba (*Swietenia humilis* Zucc), Ishcanal (*Acacia collinsii* Saff.), Cupape (*Cordia dodecandra* DC.), y el Guaje (*Lysiloma divaricatum* (Jacq.) J.F. Macbr.) (Villar et al., 2013). El tipo de suelo de mayor presencia son derivados de rocas caliza, que están conformados por Leptosol (67.77%), Vertisol (10.21%), Luvisol (7.38%), Phaeozem (6.42%), Regosol (5.67%) y Fluvisol (0.58%). Dentro de los usos del suelo la mayor parte está destinada a la agricultura (34.04%), pastizal cultivado (14.55%) y zonas urbanas (1.97%) (INEGI, 2010).

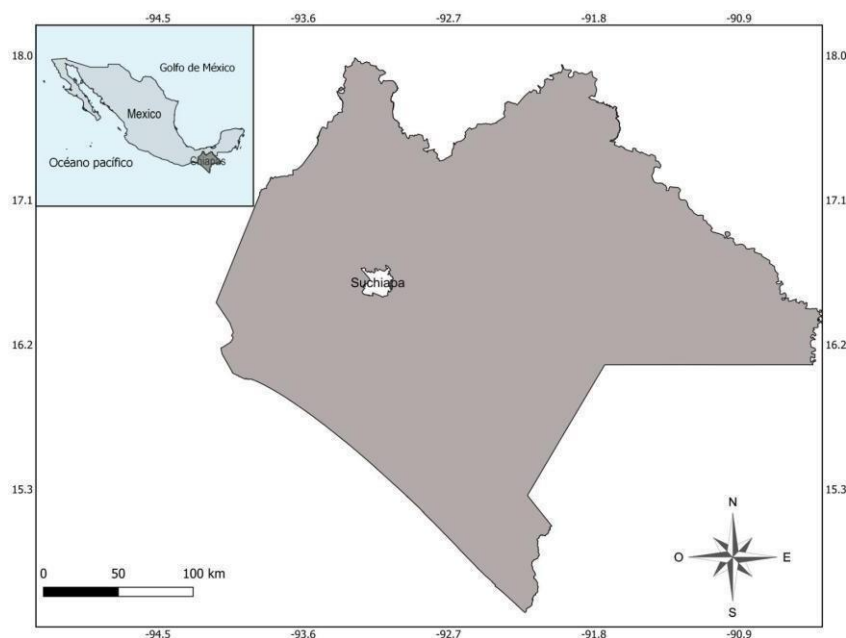


Figura 1. Ubicación del Predio El Brasil en el municipio de Suchiapa, Chiapas.

5.2 Manejo agroforestal del cultivo:

Para la producción de pitahaya se utilizan tres hectáreas del terreno con más de 2000 plantas de pitahaya. Se utilizan como soporte a tutores vivos de la especie *Bursera diversifolia*, dentro del área de cultivo se pueden encontrar algunas especies de árboles nativos dispersos, los cuales forman parte del modelo del sistema agroforestal porque benefician al sistema proporcionando materia orgánica con la caída de sus hojas, ayudan también a la captación de agua y a que el suelo no se erosione. El cultivo de pitahaya en el predio el Brasil se encuentra bajo un manejo agroecológico en el que se cultivan diversas especies como chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.), calabaza y flores de cempasúchil (*Tagetes*

erecta Rumphler), también se siembran cultivos de cobertura como la canavalia (*Canavalia ensiformis* Adans). Además, se aplican abonos orgánicos como el bocashi, composta y abono orgánico líquido (bioles). Es importante mencionar que también se realizan podas de saneamiento en las plantas de pitahaya para cuidar las plantaciones.

5.2 Diseño de muestreo

Para describir la diversidad y composición de la comunidad de HMA en plantaciones de pitahaya se seleccionaron 40 plantas en total para tomar las muestras de suelo (Figura 2). La selección de la muestra tomó en cuenta dos variables categóricas estacionalidad (lluvia y secas) y condiciones ambientales (pleno sol y sombra). El diseño fue: factor 1 temporalidad, con dos niveles lluvias y secas y factor 2 condición ambiental, con dos niveles sol y sombra. La primera visita a campo fue el 29 de septiembre del 2022 en la cual se tomaron muestras de suelo que corresponden a la estación de seca, para la colecta del suelo se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de pitahaya en condición ambiental bajo sombra de árboles y 10 a pleno sol.

X ●	●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●	●	X ●
●	X ●	●	●	●	X ●	●	●	●	X ●	●	X ●	●
X ●	●	X ●	●	●	●	●	●	X ●	●	X ●	●	●
●	X ●	●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●	●	●	X ●
X ●	●	●	X ●	●	●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●
●	X ●	●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●	●	X ●	●
X ●	●	X ●	●	●	X ●	●	X ●	●	X ●	●	●	X ●
●	X ●	●	X ●	●	●	X ●	●	X ●	●	●	X ●	●

Figura 2. Diseño espacial para la obtención de muestras de suelo en las dos estaciones, los puntos representan las plantas de pitahaya y las x señalan las plantas seleccionadas

La segunda visita de campo fue el 5 de Julio del 2023, en la cual se tomaron muestras de suelo que corresponden a la estación de lluvia. Para la colecta del suelo, tanto para la estación de lluvia y seca, se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de pitahaya en condición ambiental bajo sombra de árboles y 10 plantas de pitahaya a pleno sol (Figura 3).

Una vez hecha la selección, con ayuda de una pala se tomó una muestra de 100 g de suelo a una profundidad de 10 a 20 cm, las muestras de suelo se resguardaron en bolsas de ziploc. Una vez en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Unidad Villa Corzo-UNICACH, las muestras de suelo se colocaron en charolas de

aluminio para dejarlas secar a temperatura ambiente durante 1 a 2 semanas. Posteriormente, el suelo se tamizó a una apertura de malla de 850 micras con el fin de eliminar piedras. Para el análisis de las 10 muestras de cada tratamiento, se mezclaron 4 muestras compuestas, luego se guardaron en bolsas ziploc etiquetando cada muestra y se almacenaron a temperatura ambiente.

4.4 Técnicas de identificación de esporas

A) Extracción y separación de esporas

El procesamiento de muestras para la técnica de identificación de esporas se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad (LANIES) en la UNAM campus Morelia, Michoacán. La identificación de las esporas de HMA se realizó a partir de la separación e identificación de las muestras del suelo. Se utilizó el método de extracción y separación de esporas por tamizado húmedo en gradiente de sacarosa y decantación propuesta por Gendermann y Nicolson (1963) y Walker (1997). Esta combinación permite que las esporas floten en la solución final de sacarosa para extraerlas fácilmente.

La solución utilizada se realizó con la preparación de sacarosa al 70%, utilizando un matraz de 250 ml con 70 gr de azúcar comercial en 100 ml de agua destilada (Figura 3), se revolvió en un agitador magnético durante 30 minutos para después meterla en refrigeración a -4°C.



Figura 3. La imagen muestra la solución de sacarosa al 70% lista para el proceso de agitación durante 30 minutos con un agitador magnético.

Para la preparación de las muestras de suelo, se pesaron 20 gr de cada muestra y se colocaron en un bote de plástico con tapa de 1 L. A la muestra se le agregó 1 L de agua y se adicionaron dos gotas de jabón para trastes para separar la materia orgánica. La mezcla se agitó por algunos segundos revolviendo muy bien y luego se dejó reposar 30 minutos. Transcurrido este tiempo, se tapó el frasco y se agitó vigorosamente, luego se pasó por un juego de tamices de 250, 45 y 35 micras lavando muy bien para quitar el jabón. El suelo tamizado se colocó en tubos

Falcón de 50 mL, los tubos deben contener la misma cantidad de suelo (5 mL por tubo). A los tubos Falcón se les añadió 40 ml de agua destilada y se revolvió cuidadosamente. Después se colocaron los tubos Falcón con el suelo tamizado en la centrifuga por 7 minutos a 1000 RPM. Posteriormente, el agua se decantó y se procedió a colocar 40 ml de sacarosa al 70% (Figura 4). Con ayuda de una espátula suave se rompió la pasta de suelo y se revolvió cuidadosamente. Las muestras se colocaron nuevamente en la centrifuga por 3 minutos a 1000 RPM, pasado el tiempo, se recuperó la fase de sacarosa en un tamiz de 20 micras. Lo recuperado se lavó muy bien con agua destilada para quitar la solución de sacarosa y que las esporas no queden pegajosas. Por último, se colocó lo que queda en el tamiz con agua destilada en cajas Petri cuadriculadas (0.5 x 0.5 cm) para llevarlas al estereoscopio para su conteo (Figura 5).



Figura 4. Muestra el proceso donde se colocó 40 ml de sacarosa al 70% en los tubos Falcón que contienen el contienen suelo tamizado

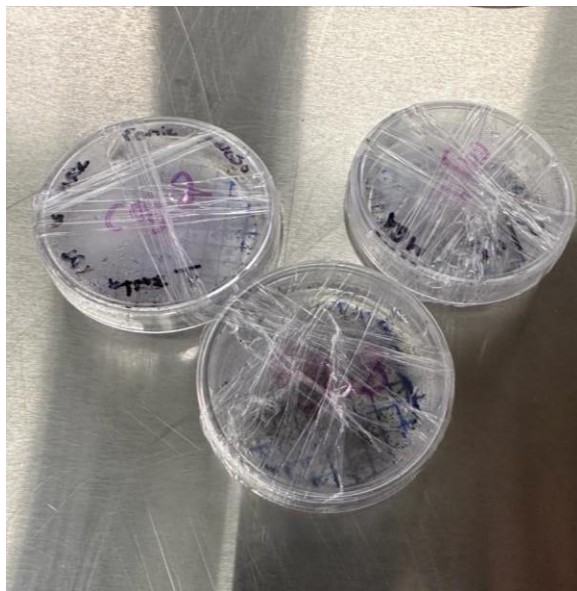


Figura 5. Muestra el extracto de esporas y materia orgánica recuperado en las cajas Petri cuadrículadas para ser analizadas al microscopio esteroscópico

B) Abundancia de esporas

Para el conteo de esporas se utilizaron cajas Petri cuadriculadas a 0.5 cm². Se seleccionaron al azar 10 cuadros y se contó el número de esporas en cada cuadro. El procedimiento se realizó tres veces en la misma muestra (Tabla 1). Antes de cada repetición se revolvía suavemente el contenido de la caja Petri para distribuir la muestra homogéneamente.

Tabla 1. Ejemplo de los tres conteos realizados para cada muestra, así como la suma total de esporas en los 10 cuadros contados en una caja Petri

ID: M (S) SOMBRA (CAJA 1)

#	1	2	3
1	16	7	4
2	8	8	8
3	11	3	7
4	6	8	7
5	13	9	5
6	11	7	4
7	8	12	9
8	13	6	4
9	9	3	4
10	9	16	5
Suma:	104	79	57

Después hacer el conteo de esporas presentes en 10 cuadros de la caja Petri, se sumó el número total de esporas encontradas en las tres repeticiones sacando el promedio y se aplicó una regla de tres para estimar la cantidad total de esporas contenidas en el número total de cuadros de la caja, para ello se utilizó la siguiente formula

Promedio de la suma total de esporas en la caja 1:

$$\bar{x} = \frac{104 + 79 + 57}{3} = 80 \text{ esporas}$$

Esporas totales en una caja Petri:

$$\bar{x} = \frac{65 \times 80}{10} = 520 \text{ esporas}$$

Promedio de esporas:

$$\bar{x} = \frac{520 + 384}{2} = 452 \text{ esporas en } 20 \text{ gr de suelo}$$

$$\bar{x} = \frac{452}{20} = 23 \text{ esporas en cada gr de suelo}$$

C) Separación e Identificación de esporas por morfotipos

Las esporas obtenidas se separaron por colores y tamaños, cada morfotipo se colocó en un pastillero con ayuda de una pipeta graduada (Figura 6). En los portaobjetos, se colocaron por separado una gota de PVLG y otra gota de PVLG+ Melzer. En cada gota se depositó la mitad de las esporas encontradas de un mismo morfotipo y posteriormente se colocó un cubreobjetos. Cada portaobjeto se etiquetó con el nombre de la muestra de suelo de donde fueron sacadas las esporas, con el número de morfotipo asignado, las muestras fueron dejadas en secado durante un día. Para la identificación de esporas de HMA en las muestras compuestas de suelo de rizósfera de pitahayas se utilizó el microscopio óptico OLYMPUS (Figura 7).

Durante la observación se tomaron las medidas para determinar el tamaño de las esporas, se describió el color, la forma de la espora, el tipo de hifa, si había cicatriz y/u ornamentación y el número de paredes. Además se tomaron fotografías de cada morfotipo.



Figura 6. Estereoscopio AmScope utilizado para la observación y separación de las esporas. También se muestran los materiales utilizados para separar las esporas (pipeta graduada, pinzas de disección, agua destilada, pastillero)



Figura 7. Microscopio óptico OLYMPUS utilizado para la identificación de las esporas, en el cual se tomaron las medidas y fotografías de las esporas

En el contexto de los hongos micorrízicos arbusculares el término morfotipos se refiere a la clasificación de las esporas de estos hongos en diferentes tipos morfológicos. Los morfotipos se basan en características visibles de las esporas, como su forma, tamaño, color y la presencia de estructuras específicas. Los investigadores observan los colores de las esporas como un primer paso para asignar un morfotipo, porque los colores de las esporas permiten diferenciar entre distintas especies de HMA. Algunas especies producen esporas de colores muy particulares lo que ayuda a que se clasifiquen correctamente (Brundrett, 2008).

5. Resultados y discusión

En cuanto a la abundancia de esporas de HMA, se encontró que en la estación de secas y bajo sombra, el número de esporas es mayor (con un promedio de 23 esporas g^{-1} de suelo) en comparación con la misma estación, pero en condición de pleno sol (con un promedio de 4 esporas g^{-1} de suelo) (Tabla 2). Estos resultados coinciden con el estudio de Álvarez (2017) quien señala que, durante la estación de sequías, la escasez de agua afecta tanto el desarrollo de las plantas como de los hongos. En este contexto, se favorece la producción de nuevas esporas, las cuales tienen la capacidad de germinar durante la época seca. Este proceso permite que se forme una nueva asociación simbiótica con las raíces de las plantas, funcionando como un mecanismo de supervivencia que les ayuda a enfrentar condiciones adversas y a resistir la sequía. La abundancia de esporas fue mayor durante la estación de secas, lo que respalda la idea de que la estacionalidad es un factor que contribuye al aumento de las poblaciones de HMA. Este fenómeno puede explicarse por estudios previos que indican que, en época de secas, ciertas especies de HMA se adaptan mejor a estas condiciones, lo que favorece una mayor esporulación (Lozano *et al.*, 2015).

Tabla 2. Abundancia de esporas (esp/g de suelo) en muestras compuestas de suelo de rizosfera de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en dos estaciones y dos condiciones ambientales.

Estación	Condición ambiental	
	Sombra	Sol
Lluvia	6	5
Secas	23	4

Algo interesante en estos resultados es que la mayor esporulación se da bajo sombra y no a pleno sol. Eso quiere decir que si bien los HMA se ven favorecidos por la estación de secas sí podrían requerir condiciones ambientales microespecíficas, que posiblemente estén determinados por los niveles de sombra del sitio. Esta situación también podría explicarse por el hecho de que la sombra de los árboles suele coincidir con la proyección de su sistema de raíces, lo cual está relacionado con las 'islas de fertilidad'. Moncayo & Gálvez, (2018) describen que las islas de fertilidad son zonas con una alta concentración de nutrientes, ubicadas bajo ciertos tipos de vegetación y rodeadas por suelos descubiertos.

El papel de los árboles como islas de almacenamiento de esporas en la época de seca, es lo que asegura una proliferación suficiente de hongos cuando las condiciones sean favorables. En este sentido los árboles dispersos en las plantaciones de pitahaya pueden estar jugando un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad de los organismos del suelo que son benéficos para los cultivos. Esto puede confirmar que los árboles dispersos durante la estación de secas funcionan como islas de fertilidad en donde se encuentran los nutrientes esenciales para que las esporas de HMA puedan permanecer latentes hasta que las condiciones sean favorables (Moncayo & Gálvez, 2018). Por otro lado, la presencia de árboles favorece a la comunidad de HMA como se ha observado en otros estudios (Robles *et al.*, 2023), lo que puede ayudar a explicar la mayor abundancia de esporas bajo los árboles.

En cuanto a la estación de lluvia, no se encontró una mayor abundancia de esporas con respecto a las condiciones ambientales en sombra (promedio de 6 esporas g^{-1} de suelo) y sol (promedio de 5). La interacción entre hongos y bacterias en ambientes secos muestra que el micelio facilita el crecimiento bacteriano al transferir agua y nutrientes, lo que sugiere que el micelio juega un papel crucial en la sostenibilidad de los ecosistemas bajo estrés ambiental. Esto indica que en condiciones de mayor disponibilidad de agua, como durante la temporada de lluvias, los hongos invierten más sus recursos en el crecimiento del micelio en lugar de la producción de esporas (Hipólito *et al.*, 2024). Esto respalda los resultados de esta investigación porque bajo estas condiciones la disponibilidad de agua es mayor por lo que las plantas favorecen sus procesos metabólicos lo que beneficia también a los hongos e invierten sus recursos para formar micelio y crecer (Ochoa *et al.*, 2009). Por ello, los ciclos de reproducción de estos organismos van en función de los factores ambientales y estacionales. En esta investigación no se contabilizó la longitud de micelio, por lo que podría ser una perspectiva interesante para otro trabajo.

5.1 Morfotipos de esporas

En la primera clasificación se encontraron cuatro colores de esporas de HMA (naranja, amarillas, blancas y rojizas) siguiendo la metodología de Mark Brundrett. Las razones por las cuales solo se encontraron estas esporas es porque son los colores más comunes de los HMA, pero también pueden ser debido a las prácticas del manejo que se le da al cultivo. Dentro de las principales se encuentran la aplicación de abonos orgánicos que funcionan como principal fuente de nutrientes

los cuales favorecen el desarrollo de los hongos (López *et al.*, 2022). Lo cual favorece a que determinados morfotipos se establezcan en este tipo de cultivos agroecológicos. Los HMA son parte del suelo y pueden estar presentes de manera natural en el mismo. Sin embargo, su abundancia y diversidad pueden verse afectadas por las prácticas agrícolas, como el uso de productos químicos (Zhang *et al.*, 2021). Sin embargo, su presencia y efectividad pueden ser potenciadas con la aplicación de abonos orgánicos.

Se encontró que las esporas naranjas, amarillas y rojizas están presentes a lo largo del año y en cualquiera de las dos condiciones ambientales de pleno sol y bajo sombra. Sin embargo, las esporas blancas solo se encontraron durante la estación de lluvias, en condiciones de pleno sol, pero no en sombra. En cambio, durante la estación de secas, solo aparecieron en condiciones de sombra, pero no a plena luz solar (Tabla 3). Esto se puede explicar a que no todas las relaciones de HMA-planta son compatibles (López *et al.*, 2017), algunos hongos llegan a ser más benéficos para un hospedero y la adaptación de los hongos es determinada por las condiciones edafoclimáticas. De acuerdo a Barrer (2009), el pH y la humedad del suelo también influyen en la colonización micorrízica y en el número de esporas. De igual forma Guachanamá (2020) describe que estas interacciones dependen de otros factores como: plantas hospederas que tienen mayor presencia en el área y así también especies de HMA que tienen una mayor esporulación. Anteriormente, en este sitio de estudio se llevó a cabo una investigación para determinar la colonización micorrízica en plantas de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Los resultados principales indicaron que el 100% de las plantas

muestreadas presentaron colonización micorrízica con porcentajes de (25.4% en la etapa de crecimiento y 38.8% en la etapa de reproducción), independientemente de la condición ambiental (Cruz, 2024) lo que sugiere que las plantas de pitahaya son susceptibles a la colonización por HMA.

Tabla 3. Listado de morfotipos de glomeroesporas de HMA en suelo de rizosfera de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en dos estaciones y dos condiciones ambientales

Morfotipos	Lluvia		Secas	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Esporas naranjas	X	X	X	X
Esporas amarillas	X	X	X	X
Esporas blancas		X	X	
Esporas rojizas	X	X	X	X

Los morfotipos que se identificaron en el suelo de pitahaya se encuentran distribuidos en ambas estaciones (Lluvia y secas) y la mayoría en ambas condiciones ambientales (Sol y sombra). Barrer (2009), considera que no solo las condiciones físicas y químicas de los suelos tienen que ver con el desarrollo de los HMA, en los ecosistemas naturales las estacionalidades influyen en la esporulación ya que hay especies de hongos que son fisiológicamente más activas en una temporada estacional y no en la otra, donde otra especie de HMA va a ser fisiológicamente activa.

Para la riqueza de la comunidad de HMA en plantaciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en dos estaciones y dos condiciones ambientales se identificaron 20 especies de HMA que pertenecen a seis familias, nueve géneros y tres órdenes: Archaeosporales, Diversisporales y Glomerales (Tabla 4) (Figura 8). La familia Glomeraceae es la más representada, y según Raya (2019) su dominancia se debe a su capacidad de propagación facilitada por el micelio extrarradical, lo que favorece la colonización, por lo tanto el género *Glomus* es un grupo de especies generalistas que pueden adaptarse a diferentes tipos de suelos, Guachanamá (2020) indica que por la rapidez y facilidad con la que estos hongos colonizan las raíces, demuestran su facilidad para colonizar las raíces de pitahaya. En cuanto a *Rhizophagus intraradices*, Robles (2023) señala que es una especie generalista y que esporula de forma temprana, lo que explica su presencia en las plantas de pitahaya.

Los HMA juegan un papel importante en el sistema de pitahaya porque cada especie tiene cierta función, en un estudio donde se evaluó la calidad de fruto de pimiento (Díaz *et al.*, 2013) se demuestra que *R. intrarradices* promovió el mayor tamaño y peso de los frutos, por lo tanto es importante que esta especie de hongo se encuentre asociada al cultivo de pitahaya porque puede también promover la calidad de los frutos de este cultivo.

Tabla 4. Especies encontradas en la rizósfera de la pitahaya en época de lluvias y secas en dos condiciones ambientales bajo sol y bajo sombra

No.	Orden	Familia	Especie	Lluvias		Secas	
				Sol	Sombra	Sol	Sombra
1	Archaeosporales	Ambisporaceae	<i>Ambispora</i> sp 1				X
2			<i>Ambispora</i> sp 2				X
3	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i> <i>brasiliensis</i>				X
4			<i>Acaulospora</i> <i>scrobiculata</i>				X
5			<i>Acaulospora</i> <i>laevis</i> (afin)			X	
6			<i>Acaulospora</i> sp 1	X		X	X
7		Diversisporaceae	<i>Diversispora</i> <i>spurca</i>	X	X		X
8		Gigasporaceae	<i>Scutellospora</i> sp. 1	X			
9	Glomerales	Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglossum</i> <i>claroideum</i>	X			X
10			<i>Claroideoglossum</i> sp.1			X	
11		Glomeraceae	<i>Funnelformis</i> <i>mosseae</i>				X
12			<i>Glomus</i> <i>rubiformis</i>	X	X	X	X
13			<i>Glomus</i> <i>spinuliferum</i>	X			
14			<i>Glomus</i> sp.1		X		X
15			<i>Glomus</i> sp. 2 (agregada)	X			X
16			<i>Rhizophagus</i> <i>fasciculatus</i>	X	X		X
17			<i>Rhizophagus</i> <i>intraradices</i>				X
18			<i>Septoglossum</i> <i>mexicanum</i>	X	X	X	
19			<i>Septoglossum</i> <i>constrictum</i>		X	X	X
20			<i>Septoglossum</i> sp. 1		X		X
Riqueza por condición				9	7	6	15

En cuanto al género *Acaulospora* solo se identificaron esporas en estación de secas lo cual concuerda con el estudio de Bertolini (2018) el cual describe que los hongos de este género se pueden registrar con mayor frecuencia en las condiciones edáficas que se presentan durante la estación de secas. Así también Pérez (2012),

sugiere que algunas especies del género *Acaulospora* tienen presencia en sistemas con manejo orgánico y en el cual se puede encontrar un nivel bajo de P disponible en los suelos.

Del género *Claroideoglomus* se identificó la especie *Claroideum*, en un estudio realizado con plantas de manzano demuestran que esta especie aumento el crecimiento de las plantas y así también el tamaño de las raíces (Aranguren *et al.*, 2020), esto puede resultar importante ya que en las plantas de pitahaya puede también tener este mismo efecto.

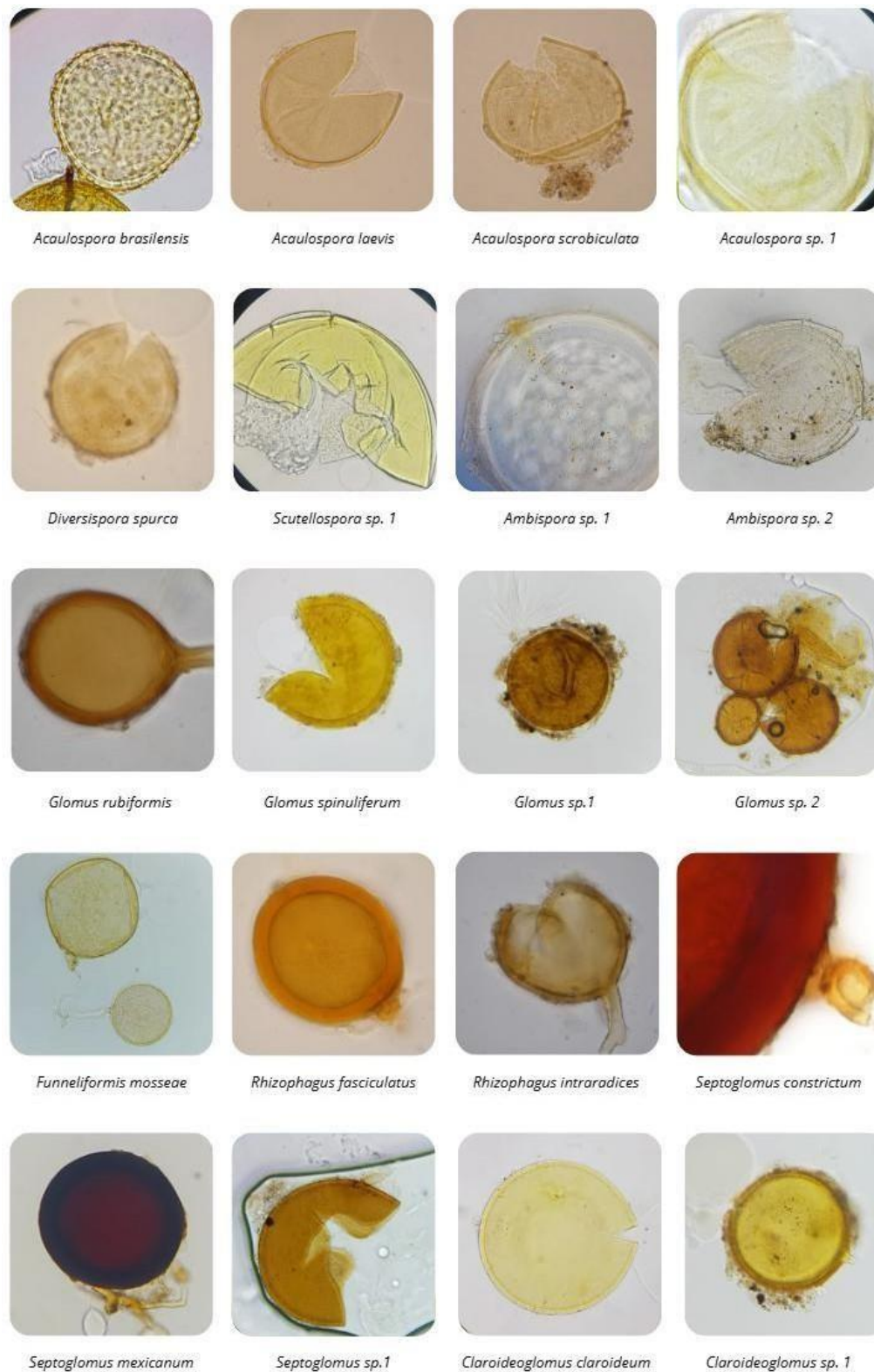


Figura 8. Especies de esporas de HMA encontradas en la rizósfera de pitahaya en época de lluvias y secas en dos condiciones ambientales (bajo sol y bajo sombra)

La diversidad de géneros de HMA encontrados en esta investigación del sistema agroforestal de pitahayas corresponde a un total de nueve géneros, los cuales representan un buen número con respecto a los encontrados por Prieto (2012) en sistemas agroforestales de cacao en donde se muestrearon cinco SAF y solo se encontraron cinco géneros. En este estudio de SAF de pitahaya se encontraron otros géneros, como *Diversispora*, *Funneliformis*, *Septoglomus* y *Rhizophagus*, esto puede ser debido al tipo de suelo y a las condiciones climatológicas.

La mayor riqueza de especies, por condición, se identificó en la estación seca y bajo sombra, con un total de 15 especies. De acuerdo con Álvarez (2017), una alta riqueza de especies está relacionada con la diversidad vegetal presente en un ecosistema, lo que explicaría por qué en este estudio se observó una mayor riqueza de especies bajo la sombra de los árboles. De manera similar, el estudio de Bertolini (2018) en sistemas cafetaleros se encontró que la mayor riqueza de especies en algunos sitios alcanzó las 17 especies. Este hallazgo concuerda con los resultados obtenidos en nuestra investigación, ya que la riqueza total de especies identificadas en el suelo de pitahaya es comparable a la registrada en esos sistemas cafetaleros (Bertolini *et al.*, 2018). El cual también señala que esta alta riqueza de especies puede atribuirse a una baja disponibilidad de fósforo (P) en el suelo, lo que lleva a las plantas a establecer una mayor simbiosis con los (HMA), favoreciendo así el desarrollo de las raíces y mejorando la absorción de nutrientes con baja movilidad en el suelo.

Algunas esporas de HMA solo fueron identificadas a nivel género debido a las condiciones de las muestras de suelo, ya que provenían directamente del campo.

Esto representa un desafío en el análisis de las muestras, ya que las esporas pueden sufrir daños durante la recolección, manipulación y almacenamiento de las muestras de suelo. De igual manera, la exposición a factores ambientales como la temperatura, la humedad o el tiempo de conservación, así como el contacto físico durante el proceso de muestreo, pueden afectar a las esporas, dificultando la identificación precisa de las especies a nivel microscopio. La falta de estructuras completas de las características morfológicas de las esporas impide la identificación detallada de las especies, limitando la clasificación a nivel género (Conde *et al.*, 2024).

6. Conclusiones

Esta investigación es relevante porque busca entender la relación entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las plantas de pitahaya, siendo uno de los primeros estudios en sistemas agroforestales de este cultivo. La asociación de los HMA en los sistemas agroforestales es importante para mejorar la salud del suelo y la absorción de nutrientes. Además estos microorganismos contribuyen a la sostenibilidad del sistema, lo que permite que estos agroecosistemas sean más productivos promoviendo una agricultura amigable con el medio ambiente.

De acuerdo a la literatura consultada este es uno de los primeros estudios donde se evalúa la riqueza y abundancia de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en los sistemas agroforestales de pitahaya. También se demuestra que la abundancia de esporas es mayor en la condición ambiental de sombra en la temporada de secas, y la menor abundancia de esporas se da en la condición ambiental de sol en la misma temporada. Lo que indica la importancia de la cobertura del suelo. En la temporada de secas en condición de sombra se presentó la mayor riqueza (15 especies) con respecto a las otras condiciones.

7. Referencias

- Acoltzi-Conde, M. C., Chimal-Sánchez, E., Tovar-Soto, A., & Díaz-Reyes, J. (2024). Consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en seis cultivos de hortalizas en el Valle de Tepeaca, Puebla, México. Arbuscular mycorrhizal fungi consortia in six vegetable crops in the Tepeaca Valley, Puebla, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 42, 1–11. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1783>
- Aguilar-Chama, A., & Vega-Frutis, R. (2024). Composición de la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares. *Universidad Autónoma de Nayarit*.
- Aguilera-Gómez, L. I., Olalde-Portugal, V. Arriaga, M. Rubí., Contreras-Alonso, R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 300–306. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10414307.pdf>
- Altieri, M., & Toledo, V.M. (2015). La revolución agroecológica en latinoamérica. *SOCLA*, 6.
- Álvarez-Sánchez, J., Sánchez-Gallen, I., Hernández-Cuevas, L., Hernández-Oro, L., & Meli, P. (2017). Diversidad, abundancia y variación estacional en la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Scientia Fungorum*, 45(45), 37–51. <https://doi.org/10.33885/sf.2017.0.1166>
- Ávila-Peralta, O. (2015). Evaluación de micorrizas nativas y comerciales combinadas con lombricomposta en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*,

151, 10–17.

Aranguren, Y. A. Castellanos, L., & Escalante, J. C (2020). Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en frutales de Colombia y su comparación con investigaciones internacionales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 27–37. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/794>

Arroyo-Chacón, E., Riechers-Pérez, A., Naranjo, E. J., & Rivera-Velázquez, G. (2013). Riqueza, abundancia y diversidad de mamíferos silvestres entre hábitats en el Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. *Therya*, 4(3), 647–676. <https://doi.org/10.12933/therya-13-140>

Barrer, E. S. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*.

Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal-Sánchez, E., Varela-Fregoso, L., Gómez-Ruiz, J., & Martínez-Vázquez, J. M. (2018). Abundancia y riqueza de hongos micorizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 91–105. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>

Borda, V., Cofré, M. N., Longo, S., Grilli, G., & Urcelay, C. (2020). El “siempreverde” (*Ligustrum lucidum*), ¿Altera la composición de las comunidades de hongos micorrícicos arbusculares en el Chaco Serrano? *Ecología Austral*, 30(2), 282–294. <https://doi.org/10.25260/ea.20.30.2.0.1017>

- Camarena-Gutierrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrizicos arbusculares. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 409–421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- Campos-Navarrete, M. J., Pech-Cutis, C. M., Castillo-Sánchez, L. E., Canul-Solis, J. R., López-Cobá, E. H., & Ruz-Febles, N. M. (2022). Efectos del manejo productivo de un sistema agroforestal en la diversidad de parasitoides asociados (*Hymenoptera: Braconidae*) en Yucatán, México. *Biotechnia*, 24(2), 155–161. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i2.1654>
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en El Trópico Mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII (1), 133–143. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>
- Choez-Holguin, G.G. (2021). Comportamiento productivo del cultivo de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) a la aplicación de micorrizas (Endomicorriza y Arbusculares). *Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias*.
- Chimal-Sanchez, E., Montano, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., Garcia-Sanchez, R., & Hernandez-Cuevas, L. V. (2016). Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 87(1), 242–247.
- Clemente-Arenas, E. R. (2021). Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 36(2), 180–196.

<https://doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1797>

Cruz-Nucamendi, M. (2024). Colonización de hongos micorrízicos arbusculares en raíces de *Hylocereus undatus* bajo un sistema agroforestal. *UNICACH*.

Devia-Grimaldo, L. D., Pérez-Moncada, U. A., López-D, E. O., & Varón-López, M. (2021). Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(177), 1137–1153.

<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1482>

Dewir, Y. H., Al-Aizari, A. A., Al-Obeed, R. S., Alshahrani, T. S., Habib, M. M., Malik, J. A., Al-Qarawi, A. A., & Alwahibi, M. S. (2024). Application of arbuscular mycorrhizal fungi for improved growth and acclimatization of micropropagated febra fig (*Ficus palmata* Forssk.) plantlets. *HortScience*, 59(11), 1674–1681. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18211-24>

Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Ortiz-Chairez, F., & Grageda-Cabrera, O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 315–321.

Esquivel, P., & Araya-Quesada, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Pitahaya (*Hylocereus* sp.): fruit characteristics and its potential use in the food industry.

Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1), 113–129.

<http://www.rvcta.org>

García-Morales, R., Moreno, C. E., & Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: el número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215. <https://doi.org/10.12933/therya-11-47>

Garzón, L. P. (2015). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna Azul*, 42, 217–234. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14>

González-Monterrubio, C.F., Monroy-Ata, A., García-Amador, E.M., & Orozco-Almanza, M.C. (2005). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 8(1), 5–10.

Guadarrama-Chávez, M. P. (2008). Diversidad y funcionalidad de los hongos micorrizógenos arbusculares en comunidades secundarias de selva baja caducifolia T. *Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México* (Pp. 1–88).

López-Gómez, B. F., Alarcón, A., Quintero-Lizaola, R., & Lara-Herrera, A. (2017). Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares en dos sistemas de producción de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1203–

1214. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i6.567>

López-Morales, M. L., Leos-Escobedo, L., Alfaro-Hernández, L., & Morales-Morales, A. E. (2022). Impacto de abonos orgánicos asociados con micorrizas sobre rendimiento y calidad nutraceútica del pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 785–798.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2868>

Loredo-Osti, C., & Castillo-Lara, P. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi related to rosetophyll scrub in Sierra de Catorce, S.L.P. Hongos micorrízicos arbusculares asociados al matorral desértico rosetófilo de la Sierra de Catorce, S.L.P. *Revista Chapingo Serie Zionas Áridas*, 1–14.

Lozano-Sánchez, J. D., Armbrecht, I., & Montoya-Lerma, M. (2015). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronomica*, 64(4), 289–296. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.46045>

Ma, Y., Zhang, H., Wang, D., Guo, X., Yang, T., Xiang, X., Walder, F., & Chu, H. (2021). Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to long-term fertilization in the wheat rhizosphere and root endosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(17), 1–13.

<https://doi.org/10.1128/AEM.00349-21>

Martínez, L.B, & Pugnaire, F.I. (2009). Interacciones entre las comunidades de

hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Revista Ecosistemas*, 18(2), 44–54.
<http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/65>

Moncayo-Riascos, M. C., & Gálvez-Cerón, A. (2018). Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia (Arica)*, 36(1), 115–122. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292018000100115>

Montesinos-Cruz, J.A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M.A., Ruíz-Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus spp.*) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193243640007.pdf>

Narváez-Suárez, A. U., Cruz-León, A., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2020). Servicios ambientales: sistema agroforestal tradicional con plantas de maguey pulquero en la Altiplanicie, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1957–1969. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2750>

Ochoa-Meza, A., Esqueda, M., Fernández-Valle, R., & Herrera-Peraza, R. (2009). Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. En la sierra sonorense, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 189–199. <https://doi.org/10.35196/rfm.2009.3.189-199>

Oney-Montalvo, J. E., Cabal-Prieto, A., & Ramírez-Rivera, E. de J. (2023). La pitahaya (*Hylocereus spp.*) como alimento funcional: fuente de nutrientes y

fitoquímicos. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 21, 5–8.

<https://doi.org/10.35830/mcya.vi21.342>

Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R., & Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana - Botanica*, 69(1), 46–56.

<https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>

Polo-Marcia, M. H., Lara-Perez, L. A., Tomio-Goto, B., Margarito-Vista, X., & Andrade-Torres, A. (2022). Glomeromycota in Mexico, a country with very high richness. *Sydowia*, 74(July), 33–63.

<https://doi.org/10.12905/0380.sydowia74-2021-0033>

Prieto-Benavides, O.O., Belezaca-Pinargote, C.E., Mora-Silva, W.F., Garcés-Fiallos, F.R., Sabando-Ávila, F.A., & Cedeño-Loja, P.E. (2012). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 233–239.

Ramos-Zapata, J., Guadarrama, P. (2004). Los hongos micorrizógenos arbusculares en la restauración de comunidades tropicales. *Universidad y Ciencia*, 0186–2979, 59–65.

Raya-Montaña, Y. A., Apáez-Barrios, P., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Paz Da Silva, R., & Lara-Chávez, M. B. N. (2019). Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 23, 267–276.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2026>

Reyes-Jaramillo, I., Chimal-Sánchez, E., Salmerón-Castro, J. Y., Vázquez-Pérez, N., & Varela-Fregoso, L. (2019). Comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociada con agaves mezcaleros de Oaxaca y su relación con algunas propiedades edáficas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(3), 1–15.

<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2777>

Reyes-Jaramillo, I. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *ContactoS*, 81, 17–23.

Robles-González, K. K., Álvarez-Solís, J. D., Bertolini, V., & Pérez-Luna, Y. C. (2023). Diversidad y propagación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de un cafetal orgánico, en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 147–155. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.147>

Ruiz-Sánchez, M., Santana-Baños, Y., Muñoz-Hernández, Y., Martínez, A. Y., Benitez, M., Vishnu-Bharat, B., & Peña-Chávez, P. (2015). Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronomica*, 64(3), 211–217.

<https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43087>

Urgiles-Gómez, N., Guachanamá-Sánchez, J., Granda-Mora, I., Robles-Carrión, A., Encalada-Cordova, M., Loján-Armijos, P., Avila-Salem, M.E., Hurtado-

Trejo, L., Poma-López, N., Collahuazo-Reinoso, Y., Araujo-Abad., S., & Quichimbo-Saraguro, L. (2020). Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 10(2) (2), 137–145.

Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Villar-Sánchez, B., Tosquy-Valle, O.H., López-Salinas, E., Esqueda-Esquivel, V.A., & Palacios-Pola, G. (2013). Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 497–504.