



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

TESIS

**IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE HONGOS
MICORRÍDICOS ARBUSCULARES AISLADAS DE SUELO
DE CULTIVO DE PITAYO (*Stenocereus queretaroensis*
(*F.A.C. Weber ex Mathes.*) Buxb.)**

Para obtener el título de

Licenciada en Ingeniería Forestal

PRESENTA

Angélica Suárez Torres

Directora

Dra. Verónica Azucena Ibarra Medina

Codirectora

Dra. Magdalena Martínez Reyes

Comité tutorial

Dra. Alicia Franco Ramírez

Dr. Javier Piloni Martini

Dr. José González Ávalos

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; octubre del 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Department of Agricultural Sciences and Forestry

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 16 de octubre de 2024

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Angélica Suárez Torres**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Identificación taxonómica de hongos micorrízicos arbusculares aisladas de suelo de cultivo de pitayo (*Stenocereus Queretaroensis* (F.A.C. Weber Ex Mathes.) Buxb.)**", que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE: Dr. José González Ávalos

SECRETARIO: Dr. Javier Piloni Martini

VOCAL 1: Dra. Verónica Azucena Ibarra Medina

SUPLENTE 1: Dra. Magdalena Martínez Reyes

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. José González Ávalos
Coordinador del Programa Educativo
de Ingeniería Forestal

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



Avenida Universidad Km. 1 s/n,
Exhacienda Aquetzalpa Tulancingo
de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2461
alfredo_madariaga@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a esta casa de estudios.

Al Colegio de Postgraduados sede Montecillo por permitirme realizar la identificación taxonómica en sus instalaciones.

A mi directora de tesis, la Dra. Verónica Azucena Ibarra Medina por confiar en mí y mostrarme todo un mundo acerca de los hongos.

A mi codirectora, la Dra. Magdalena Martínez Reyes por las facilidades otorgadas durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A mi asesora, la Dra. Alicia Franco Ramírez por haberme enseñado y ayudado durante la identificación de los HMA.

A mi asesor, Dr. Javier Piloni Martini por el apoyo para la realización de este trabajo.

A mi asesor, Dr. José González Ávalos por toda la disposición, tiempo, guía y paciencia a lo largo de este proceso.

A los estudiantes que colaboraron para la toma de muestras de suelo en Amacueca, Jalisco Erika Neri Romero, Ana Karen Chico Mondragón e Iván Islas Charco.

DEDICATORIA

A mi mamá, palabras, tiempo y vida me va a faltar para poder agradecerte por haberme dado absolutamente todo, eres la mujer más fuerte e inteligente que conozco y mi mayor ejemplo a seguir.

A mi hermana Karina, gracias por estar siempre pendiente de lo que me sucedía, por siempre creer en mí, por tus llamadas interminables, tus mensajes de aliento y por celebrar conmigo cada pequeño triunfo y estar en cada momento difícil, infinitas gracias.

A mi hermana Janeth, gracias por hacer lo necesario para sacarme una sonrisa, ver lo mejor de la situación y hacer mi vida más feliz, por cada risa, broma, chiste para animarme y no dejar que me rindiera en ningún momento, por ser mi cómplice y ayudarme cuando lo necesitaba

A mis amigos Maricruz, Sara (Piri), Jesús Adrián, Luis Ángel, Jorge Enrique gracias por haber estado durante tantos años conmigo, mostrarme su apoyo, sacarme una sonrisa en cada oportunidad y por mostrarme que la vida es maravillosa a su lado.

A mis amigos de la carrera Erika, Ana Karen, Daniela, Iván y Alejandro, gracias por haber hecho mi estancia en la universidad más sencilla y feliz.

Itzae quiero ser siempre tu modelo a seguir y que estés orgullosa de mí.

A esas personas memorables que he tenido la fortuna de conocer.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
RESUMEN.....	3
I. INTRODUCCIÓN	4
II. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos	8
III. REVISIÓN DE LITERATURA	9
3.1 Simbiosis micorrícica	9
3.2 Clasificación	10
3.2.1 Endomicorriza.....	11
3.2.2 Ectomicorriza.....	11
3.3 Géneros y especies de HMA	11
3.3.1 <i>Acaulospora</i>	11
3.3.2 <i>Glomus</i>	12
3.3.3 <i>Sclerocystis</i>	12
3.4 Biología de los Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA)	13
3.6.1 Pre-infección	13
3.6.2 Infección primaria.....	14
3.6.3 Formación de arbusculos y vesículas.....	14
3.6.4 Extensión del hongo en las raíces y en la rizósfera	14
3.6.5 Propagación del hongo a través del suelo	15
3.6.6 Formación de estructuras reproductivas.....	15
3.5 Número y tipo de componentes de la pared de la espora	15
3.7.1 Ornamentación de las paredes	16
3.7.2 Conexión hifal y ontogenia de las esporas.....	16
3.7.3 Germinación de las esporas.....	17
3.7.4 Reacción en Melzer	17
3.7.5 Tamaño, forma y color	17
3.6 Taxonomía	18
3.7 Características generales del manejo de la especie	18

3.7.1	Época de plantación	19
3.7.2	Selección del sitio de plantación.....	19
3.7.3	Plantación.....	19
3.7.4	Fertilización	19
3.7.5	Control de plagas.....	20
3.7.6	Control de malezas	20
3.8	Trabajos afines.....	20
3.8.1	Efecto de los Hongos Micorrízicos Arbusculares en el crecimiento y la producción de pitaya.....	20
3.8.2	Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en el cultivo de pitaya	21
3.8.3	Interacción entre Hongos Micorrízicos Arbusculares y otros microorganismos en el cultivo de pitaya	22
3.8.4	Manejo sostenible del cultivo de pitaya con Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	22
3.8.5	Hongos Micorrízicos Arbusculares en otros cultivos	23
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1	Localización del municipio y plantación de pitayo.....	26
4.2	Toma de muestras de suelo.....	27
4.3	Almacenamiento.....	28
4.4	Extracción de esporas	29
4.5	Identificación de las esporas	32
4.5.1	Preparación de muestras de Hongos Micorrízicos Arbusculares	32
4.5.2	Montaje y observación de esporas de HMA	33
4.5.3	Reconocimiento de caracteres morfológicos de las esporas	34
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1	Ubicación y características dasométricas de los pitayos	38
5.2	Aislamiento de esporas	41
5.3	Identificación de las esporas	43
VI.	CONCLUSIONES.....	56
VII.	BIBLIOGRAFÍA	58
VIII.	ANEXOS.....	78
8.1	Preparación del PVLG	78
8.2	Preparación del Reactivo de Melzer.....	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación y datos dasométricos de los pitayos muestreados.	39
Cuadro 2. Cantidad de esporas encontradas en cada tamiz clasificadas por género.....	41
Cuadro 3. Características encontradas de las esporas.	43
Cuadro 4. Porcentaje de género de esporas en cada muestra de pitayo.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Amacueca, Jalisco.....	26
Figura 2. Localización del predio de 5 hectáreas.	27
Figura 3. Localización de las muestras de suelo.	28
Figura 4. Almacenamiento de muestras de suelo.....	29
Figura 5. Procesamiento de las muestras. a) Peso de la muestra; b) Agitación de la muestra; c) Colecta del tamiz de 100 µm; d) Colecta del tamiz de 200 µm; e) Centrifugado de las muestras; f) Transferencia de contenido a caja Petri.	31
Figura 6. Agrupación de esporas.	32
Figura 7. Observación microscópica.	33
Figura 8. Tipos de esporocarpos. a) Esporocarpo de <i>Sclerocystis sinuosum</i> ; b) Esporocarpo laxo.....	34
Figura 9. Estructuras de la espora. a) Observación en 10x; b) Observación en 40x.	35
Figura 10. Caracterización de las esporas. a) Medición del tamaño de la espora; b) Ornamentación de la pared de la espora.....	36
Figura 11. Pitayos muestreados en el predio de 0.97 ha.	40
Figura 12. Esporas aisladas de la muestra de suelo 1 a) <i>Acaulospora</i> sp. b) <i>Acaulospora</i> sp. c) <i>Glomus</i> sp. d) <i>Glomus</i> sp. e) Esporocarpo de <i>Sclerocystis aff sinuosum</i> . f) <i>Sclerocystis</i> sp.....	51
Figura 13. Esporas aisladas de la muestra de suelo 2. a) <i>Acaulospora</i> sp. b) <i>Acaulospora</i> sp. c) <i>Glomus</i> sp. d) <i>Glomus</i> sp. e) y f) <i>Sclerocystis aff claviformis</i>	52
Figura 14. Esporas aisladas de la muestra de suelo 3. a) <i>Acaulospora aff rehmii</i> . b) <i>Acaulospora aff scrobiculata</i> . c) <i>Glomus</i> sp. d) <i>Glomus</i> sp. e) Esporocarpo de <i>Sclerocystis</i> sp. f) <i>Sclerocystis</i> sp.	53
Figura 15. Esporas aisladas de la muestra de suelo 4. a) <i>Acaulospora aff rehmii</i> . b) <i>Acaulospora</i> sp. c) <i>Glomus</i> sp. d) <i>Glomus</i> sp.	54
Figura 16. Esporas aisladas de la muestra de suelo 5. a) <i>Acaulospora aff rehmii</i> . b) <i>Acaulospora aff foveata</i> . c) <i>Glomus</i> sp. d) <i>Glomus</i> sp.	55

RESUMEN

La pitaya, un fruto de gran valor comercial y nutricional, se cultiva principalmente en regiones áridas y semiáridas de México. Sin embargo, el establecimiento y crecimiento de este cultivo puede verse limitado por factores como la sequía y la escasez de nutrientes. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo que establecen una simbiosis mutualista con la mayoría de las plantas, mejorando su nutrición y tolerancia al estrés abiótico.

Esta investigación tuvo como objetivo identificar taxonómicamente los HMA asociados a cultivos de pitaya en el municipio de Amacueca, Jalisco, México, y evaluar su potencial para mejorar el crecimiento y la producción de este cultivo. Para ello, se colectaron muestras de suelo de la rizósfera de plantas de pitaya y se emplearon técnicas de extracción y observación microscópica para identificar las esporas de los HMA.

Los resultados preliminares indican la presencia de una diversidad de géneros de HMA en las muestras analizadas, siendo los géneros *Glomus* y *Acaulospora* los más frecuentes. La identificación taxonómica precisa de las especies de HMA permitirá evaluar su potencial para ser utilizados en la producción de pitaya.

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a desarrollar estrategias de manejo sostenible para el cultivo de pitaya, basadas en el uso de HMA. La inoculación de plántulas de pitaya con consorcios de HMA seleccionados podría mejorar su crecimiento, desarrollo y producción, especialmente en condiciones de estrés hídrico.

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas cubren más de la mitad del territorio México y son sitios que carecen de humedad (González Medrano, 2012) con precipitaciones entre 250 y 400 mm anuales (CONAGUA-SMN, 2010); poseen un potencial productivo no maderable, en estos ecosistemas se desarrollan especies que pueden crecer con poca disponibilidad de agua, como maguey, yuca, orégano, lechuguilla, mezquite, gobernadora, entre otras de importancia económica (Andrade *et al.*, 2007; Rzedowski, 1978; Comisión Nacional Forestal, 2018).

La sequía es un factor que limita el desarrollo agrícola y forestal en las regiones áridas y semiáridas en México, esto debido a que la mayoría de los cultivos convencionales son sensibles a la escasez de agua (Fischer & Turner, 1978; OIES, 1999; Pimienta *et al.*, 2004). En cuanto a los ecosistemas forestales la sequía causa estrés hídrico, debilitamiento del arbolado, aumento en la vulnerabilidad al ataque de plagas o enfermedades, incendios forestales catastróficos, riesgo de deforestación y degradación (García, 2012). Pocos cultivos domesticados tienen éxito en ambientes áridos; por ello, se buscan cada vez nuevos cultivos que resistan a la sequía, aumentando el interés por los cactus, que producen frutos comestibles, como los pitayos (*Stenocereus* spp.) (Andrade *et al.*, 2007; Pimienta *et al.* 2004).

En México, se reportan 22 de las 23 especies pertenecientes al género *Stenocereus* (Hunt, 1992), la “pitaya o también conocida como pitaya de mayo” presenta una amplia distribución geográfica, la cual incluye los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Morelos, Guerrero,

Puebla y Oaxaca. (Corrales-García *et al.*, 2003); sin embargo, se pueden identificar dos grandes regiones altamente productivas como la Subcuenca de Sayula que incluye a los estados de Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Michoacán y Querétaro que agrupan cerca de 1,000 ha (Rosales *et al.*, 2009; Pimienta, 1999 y Arreola, 1999) donde se aprovecha la especie *S. queretaroensis*; y la Mixteca Baja que abarca los estados de Oaxaca y Puebla con una superficie aproximada de 690 ha, siendo las principales especies *S. pruinosus* y *S. stellatus* (Sánchez, 1984; Martínez & Bonilla, 2004; CONAFOR, 2018).

La pitaya representa un fruto de importancia para las diferentes comunidades y, para la fauna también, puesto que ésta es capaz de dar frutos en temporada de escasa precipitación, además de ser fuente de alimento, de atractivo visual por sus llamativos colores teniendo un gran potencial para su comercialización (Marín-Flores, 2022). La cual puede ser de manera individual o por kilogramos, dependiendo de la oferta y demanda (Corrales-García *et al.*, 2003).

La recolección de la pitaya representa una contribución importante a la alimentación de las poblaciones de las zonas productoras de México, así como de importancia económica (Pimienta, 1999), representando un ingreso para las familias, el precio de la pitaya varía dependiendo de diversos factores como tamaño y tiempo de la producción, al inicio de la temporada los precios van desde los \$8 a los \$12 pesos pero a medida que aumenta la producción los precios descienden a los \$2, \$4 o \$6, de acuerdo con lo que se produjo en 2015 significó un valor económico de \$54,958.75 miles de millones de pesos (SIAP, 2015) que llegó a superar la siembra

de cultivos básicos como arroz, frijol, maíz y trigo que en el año 2021 tuvieron un valor de producción de \$188,193,709.72 (SIACON, 2021).

En todo caso, el cultivo de pitayo presenta una demora en el establecimiento y crecimiento de este fruto, que se ha considerado una limitante para el desarrollo del cultivo, puesto que los productores deben de esperar un periodo aproximado de 8 años para poder obtener un establecimiento del cultivo y como resultado de ello un rendimiento óptimo en la comercialización del fruto (Pimienta, 1999). En el año 2015, se reportó una superficie sembrada de 1,484.78 hectáreas, con una producción de 4,077.54 toneladas (SIAP, 2015). Pimienta *et al.*, (2004) describe la asociación de Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) en cultivo de pitayo, donde sus finas raíces colonizadas por HMA mejoran el crecimiento del tallo y fruto del pitayo aparentemente debido a una mejor nutrición.

En la naturaleza se pueden encontrar HMA, lo que es poco común, a menos de que estos estén asociados con las raíces de las plantas, ya que estos producen sustancias que ayudan al crecimiento de las plantas que a su vez provocan cambios morfológicos en las raíces e incitan la formación de micorrizas (Madigan, 2009). La presencia de HMA es beneficiosa para la planta ya que aumenta y mejora la asimilación de nutrientes con la formación de arbusculos en la raíz, donde el hongo y la planta puedan realizar un intercambio de nutrientes como el fósforo (P), nitrógeno (N), zinc (Zn) y agua (Cuenca *et al.*, 2007; Carrillo *et al.*, 2022; Saucedo *et al.*, 2022; Franco, 2016; Madigan, 2009, Smith and Read, 2008; Cruz, 1999; Pimienta Barrios, 1999), además, el contar con la existencia de las micorrizas disminuye la presencia de enfermedades, restringen el desarrollo de nematodos y

limitan su actividad en las raíces disminuyendo el enanismo (Palacino, 1990) a su vez hacen que las raíces alimentadoras sean resistentes; de igual manera incrementan la superficie del sistema radicular, ayudando a absorber nutrientes y poner en disponibilidad más minerales (González, 2014).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar taxonómicamente Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) en un cultivo de pitayo del municipio de Amacueca, Jalisco.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Ubicar y estimar las características dasométricas del cultivo de pitayo.
- ❖ Aislar las esporas de los HMA del cultivo de pitayo por medio de la técnica de tamizado húmedo.
- ❖ Identificar morfológicamente las esporas de Hongos Micorrícicos Arbusculares.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Simbiosis micorrícica

La micorriza es un proceso ecológico caracterizado por una interacción en la que las hifas de al menos un hongo y las raíces secundarias de una o más plantas forman una estructura a través de la cual ocurre el intercambio de agua, nutrientes y reguladores del crecimiento (Andrade, 2010) este proceso es conocido como simbiosis (Hilje, 1984). Este tipo de simbiosis desempeñan diversas funciones, entre las cuales se pueden destacar: mejorar la utilización de la zona radical al aumentar la exploración del suelo, aumentar la resistencia a sustancias tóxicas, incrementar la movilización y disponibilidad de nutrientes esenciales, mejorar la tolerancia a las condiciones ambientales adversas, como la sequía y la salinidad, así como, proporcionar cierta protección contra patógenos radicales (Fernández, 2003). Las plantas necesitan establecer una simbiosis en mayor o menor medida para poder crecer de manera óptima (Rodríguez, 2005). La simbiosis de la micorriza arbuscular se compone de las raíces de más del 80 % de las especies de plantas terrestres y los hongos Zigomicetes del Orden Glomales (Camarena, 2012) y aproximadamente 6000 especies de hongos son capaces de colonizar la raíz de la planta para establecer la simbiosis (Rodríguez, 2005). El establecimiento de la simbiosis es un proceso que consta del siguiente proceso: La germinación de la espora, formación del apresorio sobre las células epidérmicas, penetración radical, crecimiento intercelular, desarrollo del micelio extramatricial, formación de arbusculos intracelularmente y formación de esporas (Rodríguez, 2005).

3.2 Clasificación

Las micorrizas pueden ser clasificadas principalmente a través de características morfológicas específicas del hongo, como la forma y tipo de hifas, el nivel de penetración en la raíz o tejido, y los taxones involucrados (Nazareno *et al.*, 2011), es por esto por lo que las micorrizas se dividen con y sin manto fúngico. Mientras que los hongos micorrícicos se clasifican en micromicetos y macromicetos, estos pueden pertenecer al *Phylum Glomeromycota* (*Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, etc.), *Ascomycota* (*Peziza*, *Tuber*, etc.) y *Basidiomycota* (*Amanita*, *Cantharellus*, etc.) (Camargo *et al.*, 2012).

La clasificación de los HMA se estructura en los siguientes niveles taxonómicos: *Phylum*, Clase, Orden, Familia y Género. El *Phylum Glomeromycota* engloba a todos los hongos micorrícicos arbusculares, y se divide en varios órdenes y familias. La clasificación de los HMA, según el estudio de Redecker *et al.*, (2013), nos revela una gran diversidad de géneros y especies. A nivel mundial, se han identificado cientos de especies, distribuidas en diversos órdenes y familias. México, por su parte, alberga una porción significativa de esta diversidad, con un número considerable de géneros y especies de HMA.

Las micorrizas que cuentan con manto fúngico se dividen en: a) Ectomicorrizas; b) Micorriza arbutoide y c) Micorriza monotropoide; mientras que las que no cuentan con manto fúngico se clasifican en: a) Micorriza arbuscular; b) Micorriza ericoide y c) Micorriza orquideoide (Camargo *et al.*, 2012). Habiendo así dos grandes tipos de micorrizas de acuerdo con la forma de penetración de las hifas en las células de la raíz: ectomicorrizas y endomicorrizas (Nazareno *et al.*, 2011).

3.2.1 Endomicorriza

Se distinguen por la invasión tanto intercelular como intracelular, sin formar un manto ni causar modificaciones morfológicas notables en las raíces. La colonización del hongo se limita al córtex y nunca penetra en la endodermis ni el cilindro vascular (Rodríguez, 2005). Existen diferentes subtipos como las monotrofoide, ericoide, orquideoide y micorrizas arbusculares (Nazareno *et al.*, 2011).

3.2.2 Ectomicorriza

Estas presentan la formación de un manto de hifas alrededor de las raíces absorbentes provoca una alteración en la apariencia de la raíz (Smith & Read, 2010) corresponden a relaciones simbióticas entre especies vegetales de interés forestal y hongos *Basidiomicetes* y *Ascomicetes* (Osorio, 2012), por ejemplo, algunos hongos de los Phyla *Basidiomycota*, *Ascomycota* y *Mucoromycota* (Smith & Read, 2008).

3.3 Géneros y especies de HMA

3.3.1 *Acaulospora*

Existen 55 especies que fueron descritas formalmente y que pertenecen al género *Acaulospora* (Oehl *et al.*, 2012). Las especies de esporas dentro de este género se forman en o dentro del cuello de un sáculo esporífero, además de que en el desarrollo de las esporas se ve un desarrollo idéntico (*Acaulosporaceae* | INVAM). En el género *Acaulospora*, las esporas se encuentran más comúnmente como esporas libres y pocas veces se ven en agregados o esporocarpos. (Błaszowski, 2012), además de tener la capacidad para sobrevivir en suelo con un porcentaje de

salinidad alto (Tiana & Feng, 2004) El género *Acaulospora* es conocido por su presencia en diversos ecosistemas, incluyendo aquellos que han sido perturbados. *Acaulospora alpina* y *Ambispora fennica* fueron reportados por primera vez en México, en la rizósfera de plantas que crecen en bosques templados, que son ecosistemas que pueden experimentar perturbaciones. A su vez se ha observado que los hongos micorrícicos arbusculares, como *Acaulospora*, pueden desempeñar un papel importante en la recuperación de suelos perturbados, ayudando a mejorar la salud del suelo y la biodiversidad. Esto sugiere que *Acaulospora* no solo vive en sitios perturbados, sino también puede ser un indicador de la salud del ecosistema en tales condiciones (Varela *et al.*, 2017)

3.3.2 *Glomus*

El género *Glomus* es capaz de adaptarse a las condiciones variables que presente el suelo, así como la aptitud para constituir con un mayor número de plantas una relación simbiótica. (Restrepo *et al.*, 2019) *Glomus* es uno de los géneros más estudiados dentro de los *Glomeromycota*, y su relación simbiótica con las plantas es fundamental para la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas. Además, se ha observado que especies de *Glomus* pueden adaptarse a diferentes tipos de suelos y condiciones, lo que refuerza su carácter generalista (Vengoechea, 2023).

3.3.3 *Sclerocystis*

Aunque se sabe menos sobre la ecología de *Sclerocystis* en comparación con otros géneros de HMA, se considera que desempeñan un papel importante en los ecosistemas, especialmente en suelos con condiciones ambientales extremas. Una de las características más sobresalientes de las esporas de *Sclerocystis* es su pared

gruesa y ornamentada, a menudo con proyecciones espinosas o verrugosas. Esta característica les confiere una apariencia distintiva en comparación con las esporas de otros géneros de HMA. Las especies de *Sclerocystis* se encuentran en una variedad de hábitats, incluyendo suelos agrícolas, bosques y pastizales. Sin embargo, su distribución puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y la presencia de plantas hospedadoras adecuadas. (Schüßler & Walker, 2010)

3.4 Biología de los Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA)

Las hifas de los hongos se caracterizan por su desarrollo tanto intercelular como intracelular. Estas estructuras filamentosas tienen la capacidad de formar arbusculos dentro de las células corticales de las raíces, lo que les permite intercambiar nutrientes con las plantas hospederas. Además, los hongos también producen esporas tanto dentro como fuera de las raíces. Estas esporas son importantes para la reproducción y la dispersión de los hongos (Nazareno *et al.*, 2011).

De acuerdo con Bowen, (1994) se presentan las siguientes etapas en la simbiosis de las micorrizas arbusculares.

3.6.1 Pre-infección

En el suelo existen tres tipos de propágulos: esporas, hifas o fragmentos de raíces colonizadas. La germinación de estos propágulos se ve influenciada por diversos factores físico-químicos del suelo, como el nivel de oxígeno, dióxido de carbono,

temperatura, humedad, pH, disponibilidad de nutrientes y efectos fungistáticos del suelo, entre otros (Nazareno *et al.*, 2011).

3.6.2 Infección primaria

Los cambios en las células epidérmicas de la raíz dan lugar a la formación del aparato de pre-penetración (APP), que es un orgánulo que se origina antes de la infección y es guiado por el núcleo de la célula epidérmica de la raíz. Este orgánulo da lugar a un apresorio, seguido de la colonización (Berruti *et al.*, 2016).

3.6.3 Formación de arbusculos y vesículas

Las hifas del hongo penetran tanto entre las células como dentro de ellas. El crecimiento se limita a la epidermis y al parénquima cortical, donde se desarrollan los arbusculos, que son un indicador importante de una colonización funcional. El hongo no llega a otras partes de la raíz, ni a las partes de la planta que contienen clorofila (Nazareno *et al.*, 2020).

3.6.4 Extensión del hongo en las raíces y en la rizósfera

Este proceso se divide en tres fases.

- a) La fase inicial es cuando ocurre la infección primaria.
- b) La fase exponencial es cuando el hospedero se propaga inter e intracelularmente.
- c) La fase de meseta es cuando el crecimiento de la raíz y del hongo se vuelven similares en el periodo exponencial y de mesetas las vesículas y arbusculos se degradan y forman constantemente (Selvakumar *et al.*, 2018).

3.6.5 Propagación del hongo a través del suelo

Durante la etapa inicial de propagación en la raíz y después de la infección primaria, las hifas del hongo comienzan a crecer desde la raíz hacia el suelo. Estas hifas son responsables de transportar y absorber los nutrientes, llevándolos hacia la raíz (Fasusi *et al.*, 2021).

3.6.6 Formación de estructuras reproductivas

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) tienen la capacidad de formar esporas a través del micelio extrarradical. Estas esporas son producidas por las hifas esporógenas y pueden estar ubicadas de forma intercalar o apical, dependiendo de la especie de Micorriza Arbuscular (MA). El tiempo que tardan en originarse las esporas puede variar, siendo de hasta 4 semanas en algunas especies de MA, mientras que en otras puede tomar hasta 6 meses. Además de las esporas, las raicillas colonizadas son otra estructura reproductiva que los HMA utilizan para su proliferación (Nazareno *et al.*, 2020).

3.5 Número y tipo de componentes de la pared de la spora

Las expresiones "paredes" y "capas" son términos utilizados por diferentes autores para referirse a los componentes de la pared de las esporas de los hongos MA, los cuales tienen un significativo valor taxonómico. Algunos autores utilizan el término "paredes" para describir únicamente la estructura presente (Walker, 1983) mientras que el término "capas" se relaciona más con la naturaleza u origen de estas estructuras. La descripción del número y tipo de paredes presentes en una spora es fundamental para su identificación taxonómica.

3.7.1 Ornamentación de las paredes

Las ornamentaciones están presentes en los componentes más superficiales de las paredes de las esporas, excepto en el género *Gigaspora* (Nazareno *et al.*, 2011), cuando existe la ornamentación se observa más frecuentemente en la segunda capa de la pared exterior y rara vez en la capa interior (Goto *et al.*, 2013). Existen diferentes tipos de ornamentación como proyecciones, depresiones y de doble ornamentación, estas ornamentaciones pueden ser uniformes (elipsoides, circulares, cóncavas, redondas), multiformes (triangulares, circulares, elipsoidales, en forma de Y, en forma de dientes) o de forma irregular y se pueden distribuir densa o escasamente (Da Silva *et al.*, 2022).

3.7.2 Conexión hifal y ontogenia de las esporas

La conexión hifal de las esporas está directamente relacionada con su desarrollo. Algunas esporas pueden ser sésiles, lo que significa que no tienen una conexión hifal visible. Estas esporas se forman a partir de un sáculo esporógeno, como ocurre en los géneros *Acaulospora*, *Archaeospora* y *Entrophospora*, o a través de un pedicelo que se forma en el extremo de un sáculo esporífero, como en el caso de *Ambispora*. En otros casos, las esporas pueden tener una conexión hifal, que puede presentar diferentes morfologías (Nazareno *et al.*, 2011).

Si la espora se forma en un suspensor bulboso, se dice que la conexión hifal es bulbosa (*Gigasporaceae*). Por otro lado, si la espora se forma en el extremo terminal de una hifa, ya sea gruesa o delgada, la conexión con la espora será recta (*Diversispora*, *Glomus*, *Rhizophagus*, *Paraglomus*, etc.). También es posible que

las esporas se forman alrededor de un plexo central en estructuras llamadas esporocarpos (*Sclerocystis*) (Nazareno *et al.*, 2011).

3.7.3 Germinación de las esporas

La germinación es un proceso fundamental durante el ciclo de vida de los hongos micorrícicos arbusculares, y de su éxito depende en gran medida el establecimiento exitoso de la simbiosis. La germinación de las esporas de los HMA es un evento crucial en el que las esporas se activan y comienzan a desarrollarse para formar nuevas estructuras. La germinación puede ser influenciada por diversos factores, como la disponibilidad de nutrientes, la presencia de microorganismos del suelo y las condiciones ambientales. Durante la germinación, las esporas pueden desarrollar hifas y colonizar las raíces de las plantas hospedadoras, estableciendo así la simbiosis micorrícica arbuscular (Fernández *et al.*, 2005).

3.7.4 Reacción en Melzer

Las reacciones pueden ir desde un color rosado que es una reacción débil, un color rojizo-amarronado que es una reacción de tipo amiloide como moderada, o llegar hasta un morado-rojizo lo cual significa que la reacción es intensa, el cambio de color depende de la viabilidad y madurez de las esporas (Covacevich & Consolo, 2014).

3.7.5 Tamaño, forma y color

El tamaño de las esporas tiene un rango de entre 30 y 500 μm , esto se puede medir en un microscopio con ocular micrométrico, ahí se deberá de medir el largo y ancho de la espora (Nazareno *et al.*, 2011). En cuanto al color se debe de determinar

comparando el color de la espora en agua con la carta de colores de Munsell, el color puede variar dependiendo del estado madurativo de la espora (Nazareno *et al.*, 2011). La forma de la espora puede ser globosa a subglobosa, elipsoide y a veces irregular (INVAM).

3.6 Taxonomía

El pitayo es un cactus de hábito arborescente con ramificaciones, y tallos bien definidos, de 5 a 6 m de altura o más, con tallos leñosos, de alrededor de 1 m de altura y 35 cm o más de diámetro. (Pimienta *et al.*, 2004; Bravo-Hollis, 1937).

3.7 Características generales del manejo de la especie

Este cultivo perenne, con un ciclo de vida que se extiende por varios años, se adapta a condiciones de humedad temporal, requiriendo precipitaciones estacionales o riego suplementario para completar su desarrollo. Su potencial de producción varía entre alto y mediano, dependiendo de factores como la variedad o cultivar utilizado, las condiciones edafoclimáticas, las prácticas agrícolas y el control de plagas y enfermedades. La siembra manual, que permite una mayor precisión en la colocación de las semillas o plántulas, se recomienda para su establecimiento, favoreciendo un mejor desarrollo inicial y una distribución uniforme de las plantas en el campo. En conjunto, este cultivo presenta características atractivas para la producción agrícola en zonas con precipitaciones estacionales o con disponibilidad de riego suplementario (Medina *et al.*, 2003).

3.7.1 Época de plantación

Debe llevarse a cabo unas semanas antes del inicio del temporal. Por lo general esto es de finales de abril a principios de mayo (Medina *et al.*, 2003).

3.7.2 Selección del sitio de plantación

Normalmente el pitayo habita en terrenos de ladera y se le considera una especie de media sombra a luz completa, ya que se asocia con otras especies en agostaderos, sin embargo, en huertas cultivadas el pitayo está en terrenos planos. En el caso de terrenos de ladera deberá evitarse la exposición norte para eludir probables problemas de heladas severas, sobre todo en las primeras etapas de desarrollo (Medina *et al.*, 2003).

3.7.3 Plantación

Después de dos semanas de asoleamiento, de ramas de 0.8 a 1.2 m, se plantan en cepas de 40-50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad, enterrando únicamente la tercera parte de la rama para evitar su pudrición. Se plantan 3-4 ramas por cepa. Cuando se planta en plano, se provee sombra artificial para evitar desecación y muerte de las ramas plantadas, ya que la clorofila del pitayo es sensible a la fotooxidación (Medina *et al.*, 2003).

3.7.4 Fertilización

Algunos productores no aplican fertilizantes orgánicos ni químicos, pues su experiencia les ha enseñado que el fertilizante "quema" las raíces. Sin embargo, en los estados de Puebla y Oaxaca se ha reportado un efecto estimulante de la aplicación de estiércol (Medina *et al.*, 2003).

3.7.5 Control de plagas

La hormiga arriera es la más importante; afecta a los ápices tiernos de las ramas y botones florales. Se deben aplicar insecticidas en polvo en los hormigueros y en la base de los troncos de las plantas atacadas (Medina *et al.*, 2003).

3.7.6 Control de malezas

Debe combatirse el excesivo crecimiento de malezas durante el temporal de lluvias. Esto generalmente se hace con azadón, aprovechando también para formar cajetes a las plantas, con lo cual se ayudará a la captación de humedad (Medina *et al.*, 2003).

3.8 Trabajos afines

3.8.1 Efecto de los Hongos Micorrícicos Arbusculares en el crecimiento y la producción de pitaya

- a) Efecto de la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y la producción de pitaya (*Hylocereus undatus*): Este estudio evaluó el efecto de la inoculación con HMA en el crecimiento y la producción de pitaya en condiciones de invernadero. Los resultados mostraron que la inoculación con HMA aumentó significativamente el crecimiento de las plantas, la producción de frutos y el contenido de nutrientes en los frutos (Chacón *et al.*, 2004).
- b) Influencia de la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y la producción de pitaya (*Hylocereus undatus*) bajo diferentes condiciones de estrés: Este estudio investigó el efecto de la inoculación con HMA en el crecimiento y la producción

de pitaya bajo condiciones de estrés salino y sequía. Los resultados demostraron que la inoculación con HMA mitigó los efectos negativos del estrés salino y la sequía, mejorando el crecimiento de las plantas y la producción de frutos (Quiñones *et al.*, 2010).

3.8.2 Diversidad de Hongos Micorrícicos Arbusculares en el cultivo de pitaya

- a) Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados al cultivo de pitaya (*Hylocereus undatus*) en diferentes regiones de México: Este estudio identificó y caracterizó la diversidad de HMA asociados al cultivo de pitaya en diferentes regiones de México. Los resultados revelaron una alta diversidad de HMA en el cultivo de pitaya, con la presencia de géneros como *Glomus*, *Rhizophagus*, *Acaulospora* y *Scutellospora* (Lara *et al.*, 2014).
- b) Efecto de la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en la absorción de nutrientes y el crecimiento de pitaya (*Hylocereus undatus*): Este estudio evaluó el efecto de la inoculación con diferentes consorcios de HMA en la absorción de nutrientes y el crecimiento de pitaya. Los resultados mostraron que la inoculación con consorcios de HMA ricos en diversidad promovió una mayor absorción de nutrientes y un mejor crecimiento de las plantas (Herrera *et al.*, 2016).

3.8.3 Interacción entre Hongos Micorrícicos Arbusculares y otros microorganismos en el cultivo de pitaya

a) Interacciones entre hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el cultivo de pitaya (*Hylocereus undatus*): Este estudio investigó las interacciones entre HMA y PGPR en el cultivo de pitaya. Los resultados demostraron que la co-inoculación con HMA y PGPR tuvo un efecto sinérgico en el crecimiento y la producción de pitaya, superando el efecto de la inoculación individual con cada tipo de microorganismo (Borja *et al.*, 2018).

b) Efecto de la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y rizobacterias solubilizadoras de fósforo (PSB) en la absorción de fósforo y el crecimiento de pitaya (*Hylocereus undatus*). Este estudio evaluó el efecto de la inoculación con HMA y PSB en la absorción de fósforo y el crecimiento de pitaya. Los resultados mostraron que la co-inoculación con HMA y PSB mejoró significativamente la absorción de fósforo y el crecimiento de las plantas (López *et al.*, 2020).

3.8.4 Manejo sostenible del cultivo de pitaya con Hongos Micorrícicos Arbusculares

a) Uso de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) para el manejo sostenible del cultivo de pitaya (*Hylocereus undatus*): Este estudio

revisa la literatura sobre el uso de HMA para el manejo sostenible del cultivo de pitaya. Se destacan los beneficios de la inoculación con HMA para mejorar la nutrición de las plantas, aumentar la resistencia al estrés y reducir el uso de fertilizantes químicos (Azcón *et al.*, 2017).

- b) Estrategias para la promoción de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el cultivo de pitaya (*Hylocereus undatus*): Este estudio analiza diferentes estrategias para promover la presencia y actividad de HMA en el cultivo de pitaya. Se discuten prácticas como la aplicación de compost, la gestión del suelo y la selección de variedades de pitaya compatibles con HMA (Aranda *et al.*, 2021).

3.8.5 Hongos Micorrícicos Arbusculares en otros cultivos

El potencial de los consorcios nativos de HMA como promotores del crecimiento vegetal. Se citan estudios en guayaba (Chacón & Cuenca, 1997) y papaya (Quiñones *et al.*, 2012) donde la inoculación con consorcios nativos de HMA incrementó significativamente el crecimiento de las plantas, en comparación con plantas sin micorrizar o con inóculos comerciales. Estos resultados concuerdan con la idea de que los HMA nativos pueden estar mejor adaptados a las condiciones locales del suelo y las necesidades de las plantas.

La preferencia del maíz por las especies de HMA pertenecientes a los géneros *Glomus* y *Rhizophagus*. Esta preferencia podría estar relacionada con la eficiencia de estas especies en la absorción de nutrientes específicos que son esenciales para el crecimiento del maíz. La presencia de HMA en la agricultura donde existe

dependencia micorrícica es beneficiosa ya que aumenta la productividad del cultivo (Nwaga *et al.*, 2004). La captura y transferencia de nutrientes a la planta (Yao *et al.*, 2001) son algunas de las ventajas que las caracterizan y ayudan a que el suelo sea productivo.

El efecto de la simbiosis micorrícica en el espesor foliar de *Agave tequilana*. Se argumenta que el aumento en el espesor foliar se debe a la mejora en la absorción de minerales del suelo mediada por los HMA (Smith & Read, 1997; Clark & Zeto, 2000). Se resalta la dependencia fisiológica de *A. tequilana* de las micorrizas, especialmente en sus primeras etapas de desarrollo (Salisbury & Ross, 1992; Lambers *et al.*, 2008).

La diversidad de HMA asociados al cultivo de trigo. Se identificaron nueve morfo especies de HMA, pertenecientes a los órdenes *Glomerales* y *Diversisporales*. Estos resultados confirman la presencia de una gran diversidad de HMA en el cultivo de trigo, y amplían el conocimiento sobre las especies asociadas a este cultivo (Mendoza-Churape *et al.*, 2022).

Se aporta evidencia sobre la importancia de los HMA en el crecimiento vegetal y la productividad de diferentes cultivos. Los consorcios nativos de HMA parecen ser una alternativa prometedora para promover el crecimiento vegetal, especialmente en cultivos con dependencia micorrícica. La preferencia del maíz por ciertas especies de HMA sugiere que la selección de cepas adecuadas puede ser crucial para optimizar el efecto micorrícico en este cultivo. El aumento en el espesor foliar de *Agave tequilana* mediado por los HMA destaca el papel de estos simbiosiontes en

el desarrollo de las plantas. La diversidad de HMA asociada al trigo revela la complejidad de las interacciones micorrícicas en este agroecosistema.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del municipio y plantación de pitayo

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el municipio de Amacueca, Jalisco (Fig. 1), en una plantación de *Stenocereus queretaroensis* (20° 0 '28.32"N, 103°35' 20.73"O; 1370 msnm) (Fig. 2). El clima de la zona con base a la clasificación de Köppen, modificado por (García, 2004) es A(C) que es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, en base a los datos meteorológicos obtenidos en CONAGUA, (2010) la precipitación y la temperatura media anual fueron 587.2 mm y 20.8°C respectivamente.

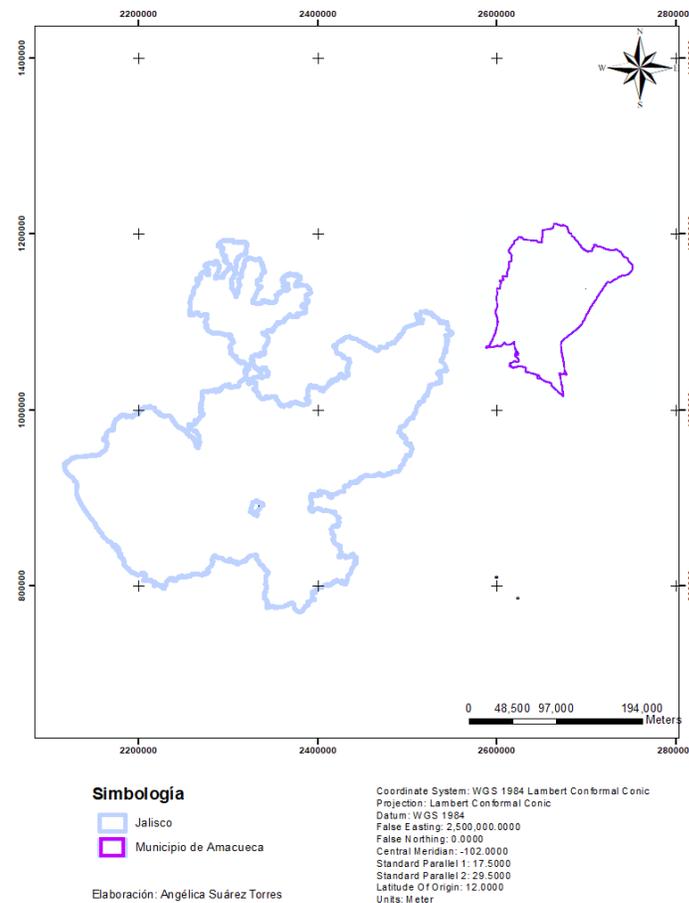


Figura 1. Localización del municipio de Amacueca, Jalisco.

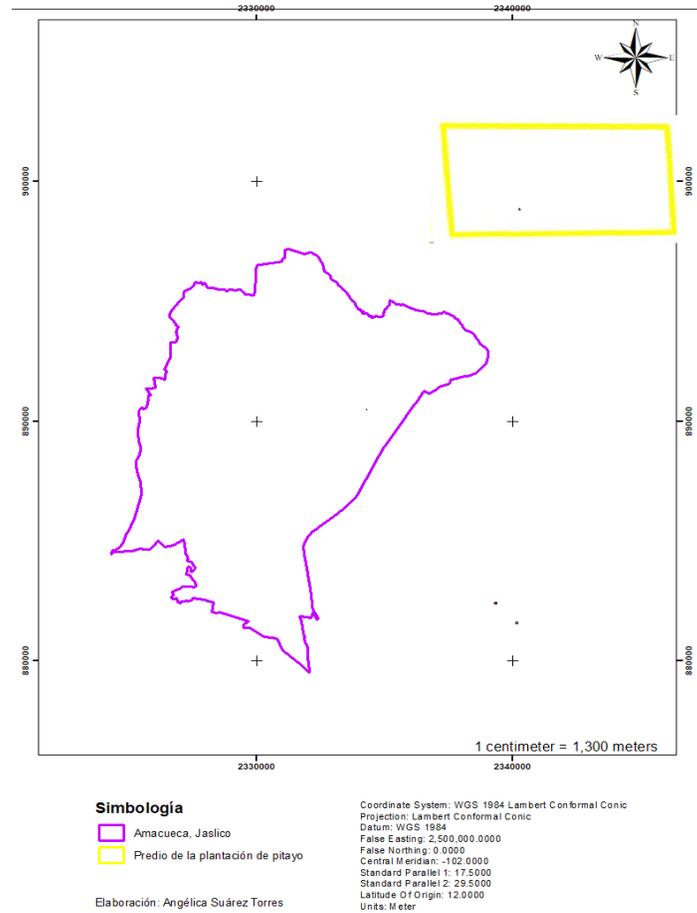


Figura 2. Localización del predio de 5 hectáreas.

4.2 Toma de muestras de suelo

Para la toma de muestras se consideró seleccionar plantas de pitayo al centro de la plantación (Fig. 3), esto para garantizar la representatividad de las muestras; se muestrearon cinco pitayos de los cuales se tomaron dos muestras, la primera en la línea de goteo y la segunda en la parte media entre el tallo y la línea de goteo, teniendo diez muestras en total.

La colecta de suelo se tomó a partir de una perforación de suelo con una proximidad de 30 cm de profundidad la cual se realizó con una pala tipo recta, de la muestra

obtenida se colectó 1 kg de suelo aproximadamente, las muestras se colocaron en bolsas de plástico para su transporte, cada muestra fue rotulada con la siguiente información: latitud, longitud, altitud con ayuda de un GPS, diámetro y altura de la planta muestreada, fecha en que se recolectó, el número de muestra, así como el nombre del lugar.

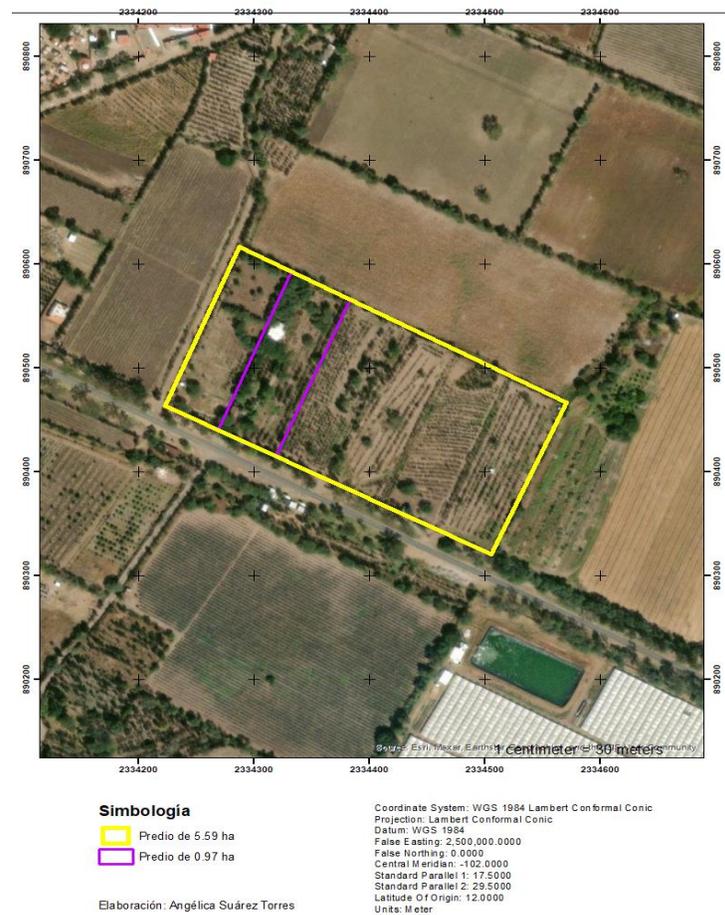


Figura 3. Localización de las muestras de suelo.

4.3 Almacenamiento

Las muestras colectadas se almacenaron en bolsas de papel (Fig. 4) en el laboratorio de semillas del Instituto de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que es un lugar fresco y seco, donde no les diera el sol directamente, hasta su procesamiento.



Figura 4. Almacenamiento de muestras de suelo.

4.4 Extracción de esporas

La extracción de esporas se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el laboratorio de Micorrizas y se llevó a cabo por la metodología de tamizado húmedo, decantación y centrifugación con gradiente de sacarosa. (modificada por Gerdemann & Nicolson, 1963; Daniels & Skipper, 1982).

a) Se tomó una muestra de suelo de 50 g (Fig. 5 a), la cual se colocó en un vaso de precipitado de 2 L de capacidad que contenía agua corriente. La muestra se agitó vigorosamente por 3 min (Fig. 5 b), con una varilla de vidrio dejándose reposar por 1 min; la muestra se filtró en una columna de tamices de diferentes mayas, siendo el siguiente orden: de mayor a menor, tamiz No. 16 μm , No. 20 μm , No. 100 μm y No. 200 μm de la marca FIICSA.

b) La muestra colectada en los tamices de 100 μm (Fig. 5 c) y 200 μm (Fig. 5 d), se colectaron con ayuda de una piseta en tubos de centrifuga de 50 mL de capacidad, los cuales se completaron con agua para uniformizar el peso exacto de las muestras con la ayuda de una báscula digital Esnova modelo TH-II, e ingresar a la centrifuga.

c) Las muestras colectadas se centrifugaron (Fig. 5 e) por tres min a 3000 rpm (revoluciones por minuto) con una centrifuga marca IEC HNS-II, al término del tiempo de centrifugación, las muestras se decantan cuidadosamente retirando el sobrenadante sin mover las partículas sólidas del fondo de los tubos.

d) A cada muestra decantada se le agregó una solución de sacarosa al 50 % hasta completar 40 mL y se corroboró que el peso de todas las muestras fuera de 40 g con ayuda de una báscula digital para volver a centrifugar a 2000 rpm por 2 min.

e) Las muestras centrifugadas se lavaron en agua corriente sobre un tamiz de 200 μm , el sobrenadante se vertió sobre el tamiz No. 200 μm cuidadosamente para eliminar el contenido de sacarosa, cada muestra se enjuago con agua corriente hasta eliminar lo más posible de sacarosa y evitar la germinación de esporas, al término del lavado, la muestra se transfirió a una caja Petri para su evaluación (Fig. 5 f).



Figura 5. Procesamiento de las muestras. a) Peso de la muestra; b) Agitación de la muestra; c) Colecta del tamiz de 100 μ m; d) Colecta del tamiz de 200 μ m; e) Centrifugado de las muestras; f) Transferencia de contenido a caja Petri.

f) En el proceso de observación y aislamiento las esporas se separaron en grupos individuales (Fig. 6) de acuerdo con rasgos morfológicos (tamaño, color, conexiones hifales morfológicamente semejantes, características de la superficie de la espora), para posterior manipulación de los grupos individuales se transfieren en agua a vidrios de reloj.

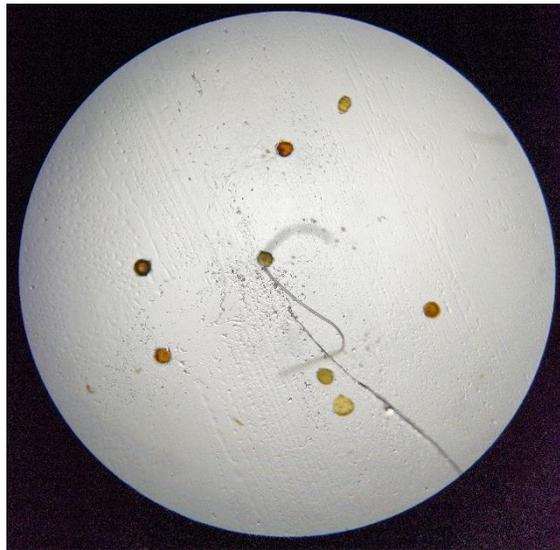


Figura 6. Agrupación de esporas.

4.5 Identificación de las esporas

4.5.1 Preparación de muestras de Hongos Micorrícicos Arbusculares

Las esporas colectadas fueron transferidas a portaobjetos a los que se les adiciono gotas de soluciones (PVLG, Melzer) las cuales se cubrieron con un cubreobjetos, una vez seca la muestra se selló con barniz de uñas transparente para sellar el margen del portaobjetos y no se saliera la solución ni las esporas para su análisis después de dos días.

4.5.2 Montaje y observación de esporas de HMA

Se colocaron las esporas a ser observadas (previamente colectadas como se indicó anteriormente) en un portaobjetos. Después, se agregó una gota de solución de montaje (PVLG o PVLG Melzer) en uno de los grupos de esporas para posteriormente poner el cubreobjetos y esperar a que el reactivo se disperse uniformemente para después etiquetar las preparaciones, usando un marcador para vidrio o una etiqueta adhesiva rotulada a lápiz. Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente por 2 días y se aplicó presión ligera con una aguja de disección sobre cada espora del grupo montado en PVLG + reactivo de Melzer, observándose con un microscopio estereoscópico (Fig. 7), hasta reventarlas, para exponer los estratos de pared, al término se selló con barniz transparente, las preparaciones completamente secas y se observaron con un microscopio estereoscópico Leica MZ6.



Figura 7. Observación microscópica.

4.5.3 Reconocimiento de caracteres morfológicos de las esporas

Los diferentes montajes se observaron con la ayuda de un microscopio óptico Leica MZ6, donde se observaron las siguientes características: forma, tamaño y color de cada una de las muestras de esporas, las hifas de origen (en caso de presentarlas) y la cantidad, composición y ornamentación de los estratos de la pared de las esporas.

Color: Determinar el color de las esporas a bajo aumento por comparación con una tabla de colores en (INVAM). Registrar el código y nombre de color. Se registraron las observaciones en una bitácora destinada a la descripción de esporas.

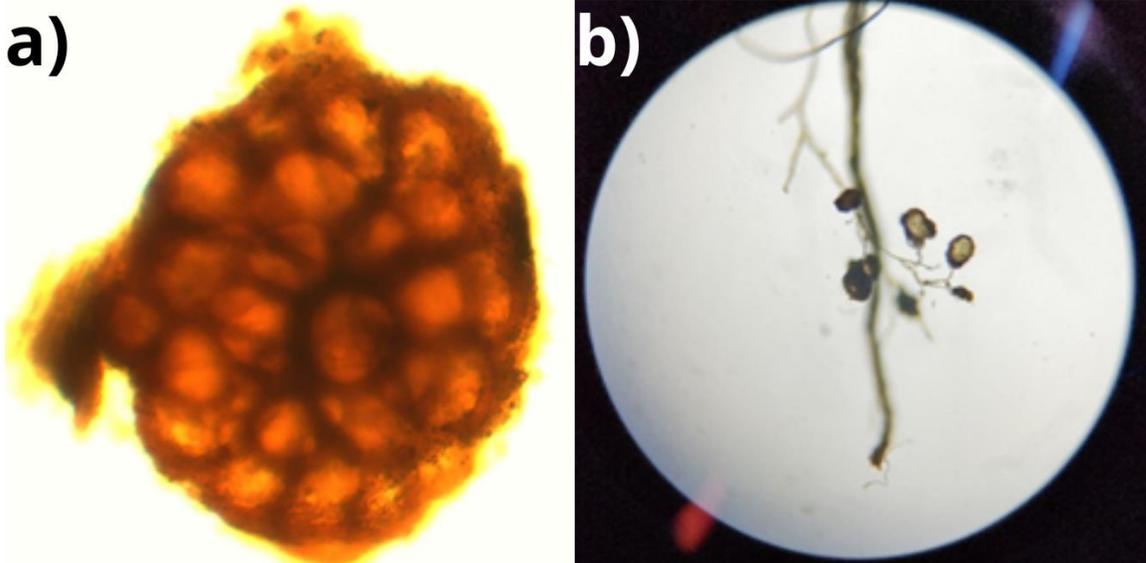


Figura 8. Tipos de esporocarpos. a) Esporocarpo de *Sclerocystis sinuosum*; b) Esporocarpo laxo.

Agrupación: Reconocer si las esporas se encuentran individualizadas o forman grupos; en caso de estar agrupadas, deben notar si están fuertemente unidas entre sí y forman grupos compactos (esporocarpos compactos) (Fig. 8 a), o bien sí no

están unidas entre sí y los grupos pueden disgregarse con facilidad (esporocarpos laxos) (Fig. 8 b).

Observar las esporas a 10x (Fig. 9 a) y 40x (Fig. 9 b) para reconocer la presencia y forma de estructuras particulares: hifas de origen, cicatrices; escudos, cámaras e hifas de germinación, cubiertas de hifas-peridio y estratos de pared.

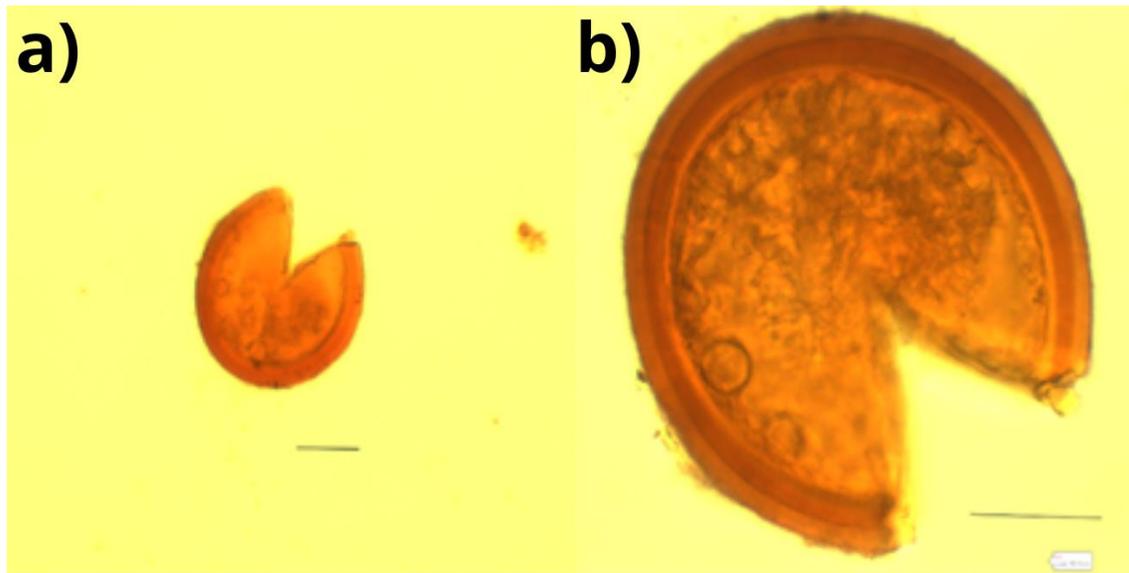


Figura 9. Estructuras de la spora. a) Observación en 10x; b) Observación en 40x.

Tamaño: Medición de esporas, esporocarpos y estructuras: este proceso se realizó, con una reglilla micrométrica acoplada a alguno de los oculares del microscopio óptico (Fig. 10 a). Considerando el índice micrométrico correspondiente al objetivo con el que se observó cuando la forma de las esporas es esférica y la de cicatrices, escudos, cámaras es circular se mide solo el diámetro; para formas irregulares, se mide largo por ancho en las zonas de mayor amplitud. Para las hifas de origen se mide el ancho en la zona de unión a la spora y un poco alejada de ésta.

Ornamentación: para esta característica se requiere observar la superficie de la pared de la espora a 20 x y 40 x, para observar si está ornamentada (Fig. 10 b).

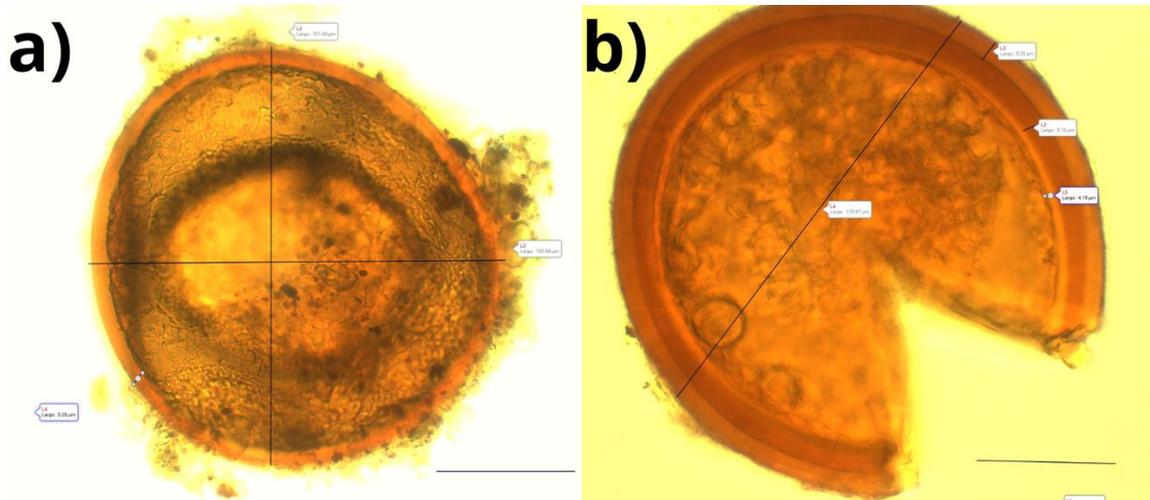


Figura 10. Caracterización de las esporas. a) Medición del tamaño de la espora; b) Ornamentación de la pared de la espora.

Observación de estratos de la pared de espora a 20x y 40x, se define el número de estratos y la apariencia de cada uno. Para mejorar las observaciones y corroborarlas, se observaron en el objetivo de 100x.

4.6 Determinación taxonómica de las esporas

Se realizó la determinación taxonómica de las esporas de HMA por comparación y contraste de las características observadas y registradas contra las reportadas en descripciones especializadas. Se consultaron las descripciones de especies de HMA que se encuentran disponibles en la página de INVAM.

4.7 Medición del pitayo

Para la estimación dasométrica de la altura de los pitayos seleccionados se utilizó la regla telemétrica, colocando la regla en la base del pitayo y se fue elevando hasta

que la punta este alineada con la parte superior del pitayo, y en el caso del diámetro se requirió una forcípula, esta se colocó a una altura aproximada de 1.30 m, el brazo fijo se puso a un costado del pitayo y el brazo móvil se recorrió con el otro lado para ajustar correctamente y obtener el diámetro del pitayo, los resultados obtenidos se registraron en una bitácora.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Ubicación y características dasométricas de los pitayos

En la tabla 1 podemos observar de cada muestra de pitayo su referencia geográfica, se puede ver que la plantación de pitayo tiene un promedio de altura de las plantas de pitayo con valores variables desde los 2.85 m de altura hasta los 4.75 m como máximo, siendo un promedio de muestreadas de 3.5 m; referente al diámetro también variable de acuerdo a su altura se registraron los siguientes diámetros 12.2 cm hasta los 17.3 cm como máximo, datos tomados de las 5 plantas muestreadas (Fig. 11). Sin embargo, podemos observar una ligera pendiente en el predio de entre las muestras, siendo una diferencia de 37 cm de altura entre la primera muestra a la última tomada, esto puede propiciar en la propagación de las esporas de micorrizas por efecto de arrastre en época de lluvias o por prácticas de arrastre en el manejo mecánico del suelo en la plantación en su mantenimiento, Carrillo-Saucedo *et al.*, (2022) describe que una práctica común en la inoculación de HMA es el uso directo de suelo; lo que facilita la inoculación de estos hongos, en plantas asociadas a las micorrizas. Sin embargo, es importante resaltar que HMA son biotrofos obligados; es decir, requieren de la planta para completar su ciclo de vida y colonizan 80% de las plantas terrestres (Smith y Read, 2010). Por lo que podemos decir que su ciclo no solo depende de la propagación esporas sino también de la propagación y extensión en plantas a su alrededor, esto por el ciclo reproductivo de los HMA (intra radical y extraradical) el cual consiste en la formación de arbusculos y vesículas intra radicales; así como el micelio extraradical que produce las esporas, que son estructuras características de este grupo (Giovannetti, 2000 ; Bonfante & Género, 2008 ; Bhagyaraj & Stürmer, 2012; Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022)

Es importante mencionar que las muestras fueron tomadas en época de sequía por lo que el recubrimiento vegetal es escaso, además de que el suelo se encontraba seco.

Cuadro 1. Ubicación y datos dasométricos de los pitayos muestreados.

<i>Pitayo</i>	<i>Altitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>
P1	1344	103°35'20.44201" W	20°00'28.03519" N	3.48	17.4
P2	1376	103°35'20.19797" W	20°00'28.39102" N	3.17	13.4
P3	1378	103°35'19.91634" W	20°00'29.10431" N	2.85	12.2
P4	1378	103°35'19.39329" W	20°00'29.88073" N	4.75	17.3
P5	1381	103°35'19.10063" W	20°00'31.82986" N	3.47	16.4

Diversos estudios han demostrado la importancia de las medidas dasométricas del pitayo para su manejo sostenible. Por ejemplo, Sánchez-González *et al.* (2016) desarrollaron una metodología para la estimación dasométrica del pitayo en el noreste de México, utilizando ecuaciones alométricas para determinar la altura, el diámetro y el volumen de los individuos. Los resultados del estudio mostraron que la altura y el diámetro de los pitayos se correlacionaron significativamente con su volumen, proporcionando información valiosa para la planificación del manejo forestal. De igual manera, Návar-Chávez *et al.* (2014) evaluaron las características dasométricas del pitayo en el desierto de Sonora, México, determinando la altura, el diámetro, la densidad y el volumen de los individuos. Los resultados del estudio resaltaron la importancia del pitayo como especie clave en el ecosistema del desierto de Sonora, y enfatizaron la necesidad de su manejo sostenible para su conservación.



Figura 11. Pitayos muestreados en el predio de 0.97 ha.

5.2 Aislamiento de esporas

Los resultados obtenidos del aislamiento de esporas de las muestras de suelo se muestran en el Cuadro 2, donde se encontraron tres géneros de esporas en los cinco sitios de muestreo, los cuales pertenecen a *Acaulospora*, *Glomus* y *Sclerocystis*, de un total de 76 esporas se lograron identificar ocho, es decir un 10.5%; de estas, tres pertenecen a *Acaulospora rehmi*, una *A. scrobiculata* y una *A. foveata*, dos pertenecieron a *Sclerocystis sinuosum*, y una *S. clavisporum*.

La baja tasa de identificación puede deberse a la dificultad para identificar algunas especies a partir de esporas, la presencia de esporas de otros hongos no micorrícicos, o la existencia de especies aún no descritas.

Los resultados obtenidos no coinciden con los encontrados por otros autores (Blaszkowski, 1993; Oehl *et al.*, 2005 y Castillo, 2005), quienes reportan a *Glomus* como género dominante en la mayoría de las poblaciones nativas. Esta discrepancia puede deberse a la diferencia en las condiciones edáficas de los sitios de estudio, la metodología empleada para el aislamiento de esporas o la variabilidad natural en las poblaciones de hongos micorrícicos.

Cuadro 2. Cantidad de esporas encontradas en cada tamiz clasificadas por género.

Pitayo 1				
Muestra	Tamiz	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>
Raíz	100	0	1	1
Medía	200	0	0	1
Línea de Goteo	100	3	1	1
	200	2	2	

Pitayo 2				
<i>Muestra</i>	Tamiz	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>
<i>Raíz</i>	100	0	5	0
<i>Medía</i>	200	4	3	0
<i>Línea de Goteo</i>	100	4	4	1
	200	3	3	0
Pitayo 3				
<i>Muestra</i>	Tamiz	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>
<i>Raíz</i>	100	0	1	1
<i>Medía</i>	200	4	1	0
<i>Línea de Goteo</i>	100	3	1	0
	200	2	0	0
Pitayo 4				
<i>Muestra</i>	Tamiz	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>
<i>Raíz</i>	100	1	0	0
<i>Medía</i>	200	4	3	0
<i>Línea de Goteo</i>	100		1	0
	200	1	1	0
Pitayo 5				
<i>Muestra</i>	Tamiz	<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Sclerocystis</i>
<i>Raíz</i>	100	2	0	0
<i>Medía</i>	200	2	0	0
<i>Línea de Goteo</i>	100	3	1	0
	200	5	0	0

5.3 Identificación de las esporas

Cuadro 3. Características encontradas de las esporas.

<i>Clave de muestra</i>	<i>Forma</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Color</i>	<i>Número de hifas de origen</i>	<i>Ornamentación</i>
P1 a)	Subglobosa	232 µm	Rojizo anaranjado	0	N/I
P1 b)	Globosa	212 µm	Anaranjado	0	N/I
P1 c)	Globosa	260 µm	Marrón rojizo	N/I	N/A
P1 d)	Subglobosa	160 µm	Marrón anaranjado	1	N/A
P1 e)	Globosa	130 µm	Marrón anaranjado	0	N/A
P1 f)		120 µm	Anaranjado	0	N/A
P2 a)	Globosa	192 µm	Amarillo	0	N/I
P2 b)	Subglobosa	276 µm	Rojo anaranjado	0	N/I
P2 c)	Globosa	152 µm	Amarillo	1	N/A
P2 d)	Globosa	212 µm	Marrón anaranjado	1	N/A
P2 e)	Globosa	248 µm	Café anaranjado	0	N/A
P2 f)	Globosa	248 µm	Café anaranjado	0	N/A
P3 a)	Globosa	168 µm	Amarillo marrón	N/I	Cerebriforme
P3 b)	Globosa	208 µm	Amarillo pajizo	0	Pequeños hoyos
P3 c)	Globosa	212 µm	Amarillo	0	N/A
P3 d)	Globosa	160 µm	Marrón	0	N/A
P3 e)		128 µm	Marrón	0	N/A
P3 f)		68 µm	Anaranjado	0	N/A
P4 a)	Globosa	168 µm	Amarillo marrón	0	Cerebriforme
P4 b)	Oval	148 µm	Amarillo Anaranjado	0	N/I
P4 c)	Globosa	132 µm	Marrón amarillo	1	N/A
P4 d)	Subglobosa	244 µm	Amarillo	1	N/A
P5 a)	Globosa	168 µm	Amarrillo marrón	0	Cerebriforme
P5 b)	Globosa	208 µm	Rojo anaranjado	0	Pequeños pozos
P5 c)	Subglobosa	160 µm	Marrón Anaranjado	N/I	N/A
P5 d)	Subglobosa	324 µm	Marrón	N/I	N/A

El estudio de la muestra de pitayo 1 (Fig. 12) reveló la presencia de diferentes especies de hongos micorrícicos, como *Acaulospora* sp. y *Glomus* sp. Estos hongos son conocidos por establecer una simbiosis mutualista con las raíces de las plantas, beneficiando así su desarrollo y nutrición (Smith & Read, 2008). La presencia de estas especies en la muestra indica que el pitayo está experimentando beneficios significativos en términos de absorción de nutrientes y resistencia a condiciones adversas, gracias a la asociación con estos hongos micorrícicos (Smith & Read, 2008; Estrada *et al.*, 1992; Haas & Menge, 1990; Sieverding, 1990; Moreira *et al.*, 2017).

Además, se observó la presencia de *Sclerocystis* aff. *sinuosum*, un hongo con una medida de 5294.56 μm de ancho y de 6535.44 μm de largo con un aumento en el lente de 10x y un distintivo color marrón anaranjado. Este hongo también ha sido reportado en diferentes lugares, incluyendo México, Estados Unidos, Colombia y Brasil (Estrada *et al.*, 1992; Haas & Menge, 1990; Sieverding, 1990; Moreira *et al.*, 2017). La presencia de *Sclerocystis* aff. *sinuosum* en el pitayo sugiere una posible asociación simbiótica con la planta, aunque se requieren estudios adicionales para confirmar esta hipótesis.

Es interesante destacar que *Sclerocystis* aff. *sinuosum* ha sido asociado previamente con diferentes cultivos, como caña de azúcar, maíz y café (Walker *et al.*, 1986; Osorio *et al.*, 2013; Herrera *et al.*, 2019). Esto sugiere que este hongo podría tener un papel importante en la promoción del crecimiento y desarrollo de diversas plantas cultivadas, incluyendo el pitayo.

El análisis de la muestra de pitayo 1 reveló la presencia de hongos micorrícicos, como *Acaulospora* sp. y *Glomus* sp., que estableció una relación mutualista con las raíces de la planta. Además, se identificó la presencia de *Sclerocystis* aff. *sinuosum*, un hongo que ha sido reportado en diferentes lugares y asociado a diversos cultivos. Estos hallazgos sugieren que la presencia de estos hongos podría tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo del pitayo, pero se necesitan estudios adicionales para comprender mejor la naturaleza de estas asociaciones y su importancia en la producción de esta planta.

El análisis de la muestra de pitayo 2 (Fig. 13) reveló la presencia de diferentes especies de hongos micorrícicos, como *Acaulospora* sp. y *Glomus* sp., que establecieron una relación simbiótica con las raíces de la planta. Estos hongos son conocidos por su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes y promover el crecimiento de las plantas hospedadoras (Smith & Read, 2008). La presencia de *Acaulospora* sp., *Glomus* sp y *Sclerocystis* aff. *Clavisporum* en la muestra sugiere que el pitayo está experimentando beneficios significativos en términos de nutrición y resistencia a condiciones adversas (Smith & Read, 2008; Almeida & Schenck, 1990; Gai *et al.*, 2006; Wu & Chen, 1997; Iqbal & Perveen, 1980).

Además, se identificó la presencia de *Sclerocystis* aff. *clavisporum*, un hongo con una medida de 409.09 μm utilizando un aumento de 10x, teniendo un distintivo color café anaranjado. Este hongo ha sido reportado en varios lugares, como Brasil, China, Taiwán y Pakistán (Almeida & Schenck, 1990; Gai *et al.*, 2006; Wu & Chen, 1997; Iqbal & Perveen, 1980).

Es interesante destacar que *Sclerocystis* aff. *clavisporum* ha sido asociado previamente con diferentes cultivos, como la caña de azúcar, el arroz y el maíz (Trappe, 1977; Iqbal & Perveen, 1980; Osorio *et al.*, 2013). Esto indica que este hongo puede desempeñar un papel importante en la promoción del crecimiento de diversas plantas cultivadas, incluyendo el pitayo.

El análisis de la muestra de pitayo 3 (Fig. 14) reveló la presencia del género *Acaulospora*. En la figura 14, letra a, se muestra la especie de *Acaulospora* aff. *rehmii*, con una medida de 150.68 μm de ancho y 151.56 de largo μm utilizando un aumento de 40x, color amarillo-marrón y una ornamentación cerebriforme. Esta especie ha sido registrada en Colombia, Sao Paulo y México (Sieverding & Toro, 1987; Wu *et al.*, 1995; Sieverding & Toro, 2024). Se ha asociado a cultivos como yuca, frijol y sorgo (Sieverding & Toro, 2024)

Por otro lado, en la figura 14, letra b, se muestra la especie de *Acaulospora* aff. *scrobiculata*, con un tamaño de 112.93 μm de ancho y 118.21 μm de largo utilizando un aumento de 40x, color amarillo pajizo y ornamentación con pequeños orificios distribuidos en toda la superficie. Esta especie ha sido registrada en México, Estados Unidos, Brasil y Canadá (Trappe, 1977; Friese & Koske, 1991; Stürmer & Bellei, 1994; Dalpé, 1989). Se ha asociado con cultivos como aguacate, maíz, agave y caña de azúcar (Raya *et al.*, 2019; Pérez Luna *et al.*, 2012; Robles, 2006; Dal Val *et al.*, 2019).

Se muestra además en la figura 14, letra c y d, esporas de *Glomus* sp., y en las letras e y f, esporas de *Sclerocystis* sp. Estas especies también pueden formar

asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas y contribuir al crecimiento y desarrollo de estas.

Respecto al análisis de la muestra de pitayo 3, reveló la presencia de diferentes especies de hongos micorrícicos, como *Acaulospora* aff. *rehmii* y *Acaulospora* aff. *scrobiculata*; además de esporas de los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*. Estos hallazgos indican la existencia de una diversidad de hongos micorrícicos en el pitayo, lo cual sugiere la importancia de estas asociaciones simbióticas en la productividad de esta planta.

El análisis de la muestra de pitayo 4 (Fig. 15) reveló la presencia de dos géneros de hongos micorrícicos. En el inciso a), se identificó la especie de *Acaulospora* aff. *rehmii*, con una medida de 121.96 μm de ancho y 123.39 μm de largo utilizando un aumento de 40x, color amarillo-marrón y una ornamentación cerebriforme. Esta especie ha sido registrada en Colombia, Sao Paulo y México (Sieverding & Toro, 1987; Wu *et al.*, 1995; Sieverding & Toro, 2024) y se ha asociado a cultivos como yuca, frijol y sorgo (Sieverding & Toro, 2024).

Por otro lado, en el inciso b), se presencia a *Acaulospora* sp. Además, en los incisos c) y d) se identifican especies de *Glomus* sp. Estos hongos micorrícicos también pueden establecer simbiosis con las raíces de las plantas y desempeñar un papel importante en la absorción de nutrientes y el crecimiento de estas.

La presencia de estas especies de hongos micorrícicos en la muestra de pitayo 4 sugiere la existencia de una interacción simbiótica entre los hongos y la planta de pitayo.

El análisis de la muestra de pitayo 5 (Fig. 16) reveló la presencia de varias especies de hongos micorrícicos. En el inciso a), se identificó la especie de *Acaulospora* aff. *rehmii* con una medida de 131.52 μm de ancho y 123.39 de largo μm con un aumento del 40x. Además, en el inciso b), se observará la presencia de *Acaulospora* aff. *foveata*, con una medida de 142.08 μm de ancho y 145.94 μm de largo teniendo el aumento a 40x, color rojo-anaranjado y una ornamentación en forma de pequeños pozos. Esta especie ha sido registrada en México, Costa Rica, Panamá y Colombia (Bertolini *et al.*, 2018; Trappe & Janos, 1982) y se ha asociado a cultivos como café y caña de azúcar (Bertolini *et al.*, 2018; Salgado García *et al.*, 2014).

Además, en los incisos c) y d) se observaron esporas del género *Glomus* sp. Estos hongos micorrícicos también pueden establecer simbiosis con las raíces de las plantas y desempeñar un papel importante en la absorción de nutrientes y el crecimiento de las mismas.

Se realizó un análisis de las muestras de suelo obtenidas de diferentes cultivos de pitayo. Se determina la presencia y distribución de esporas de hongos micorrícicos en cada una de las muestras, con el objetivo de evaluar la diversidad y abundancia de estos organismos en el suelo asociados al cultivo de pitayo.

Se encontró un total de 76 esporas por gramo de suelo en las muestras analizadas. Al examinar las diferentes muestras, se observará una variación en la composición de las esporas de hongos micorrícicos presentes (Cuadro 4). En la muestra de pitayo 1, se identificaron 5 esporas del género *Acaulospora* (41.6%), 4 esporas del género *Glomus* (33.3%) y 3 esporas del género *Sclerocystis* (25.0%). Por otro lado,

en la muestra de pitayo 2 se encontraron 11 esporas del género *Acaulospora* (40,74%), 15 esporas del género *Glomus* (55,55%) y 1 espora del género *Sclerocystis* (3,70%). En la muestra de pitayo 3, se encontraron 9 esporas del género *Acaulospora* (69,23%), 3 esporas del género *Glomus* (23,07%) y 1 espora del género *Sclerocystis* (7,69%). Por su parte, en las muestras de pitayo 4 se encontraron 6 esporas pertenecientes al género *Acaulospora* (54,54%) y 5 esporas del género *Glomus* (45,45%). Finalmente, en la muestra de pitayo 5 se observaron 12 esporas del género *Acaulospora* (92,30%) y 1 espora del género *Glomus* (7,69%).

Estos resultados indican una variabilidad en la composición de las esporas de hongos micorrícicos presentes en las muestras de suelo analizadas. Es importante destacar que el género *Acaulospora* fue el más frecuente en todas las muestras, seguido por el género *Glomus* y el género *Sclerocystis*. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que han demostrado la presencia predominante de estas especies de hongos micorrícicos en suelos asociados a cultivos, incluyendo el cultivo de pitayo (Smith & Read, 2008; Bertolini *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Porcentaje de género de esporas en cada muestra de pitayo.

Género/Muestra	1	2	3	4	5
<i>Acaulospora</i>	41,67	40,74	69,23	54,55	92,31
<i>Glomus</i>	33,33	55,56	23,08	45,45	7,69
<i>Sclerocystis</i>	25,00	3,70	7,69	/	/
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Los HMA son componentes esenciales del suelo y desempeñan un papel fundamental en el crecimiento vegetal y la productividad de diferentes cultivos. Los

consorcios nativos de HMA, la selección de cepas adecuadas y la promoción de la diversidad micorrícica son estrategias prometedoras para optimizar el efecto de estos simbioses en la agricultura. La investigación continúa en esta área permitirá avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles y eficientes.

La observación de una mayor diversidad de géneros de esporas de HMA en las muestras de menor altitud (1344 m, 1376 m y 1381 m) sugiere una posible relación entre la altitud y la presencia de estos simbioses. Sin embargo, la información obtenida en la tabla no permite establecer una conclusión definitiva sobre esta relación, ya que el número de muestras es limitado y no se considera la influencia de otros factores ambientales como la temperatura, la precipitación o el tipo de suelo.

Existen estudios previos que han encontrado una relación entre la altitud y la diversidad de HMA en diferentes ecosistemas (Grynoski *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2010). Estos estudios sugieren que la altitud puede influir en la distribución de los HMA debido a cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de nutrientes; la altura de las plantas puede influir en la asociación con HMA (Johnson *et al.*, 1993).

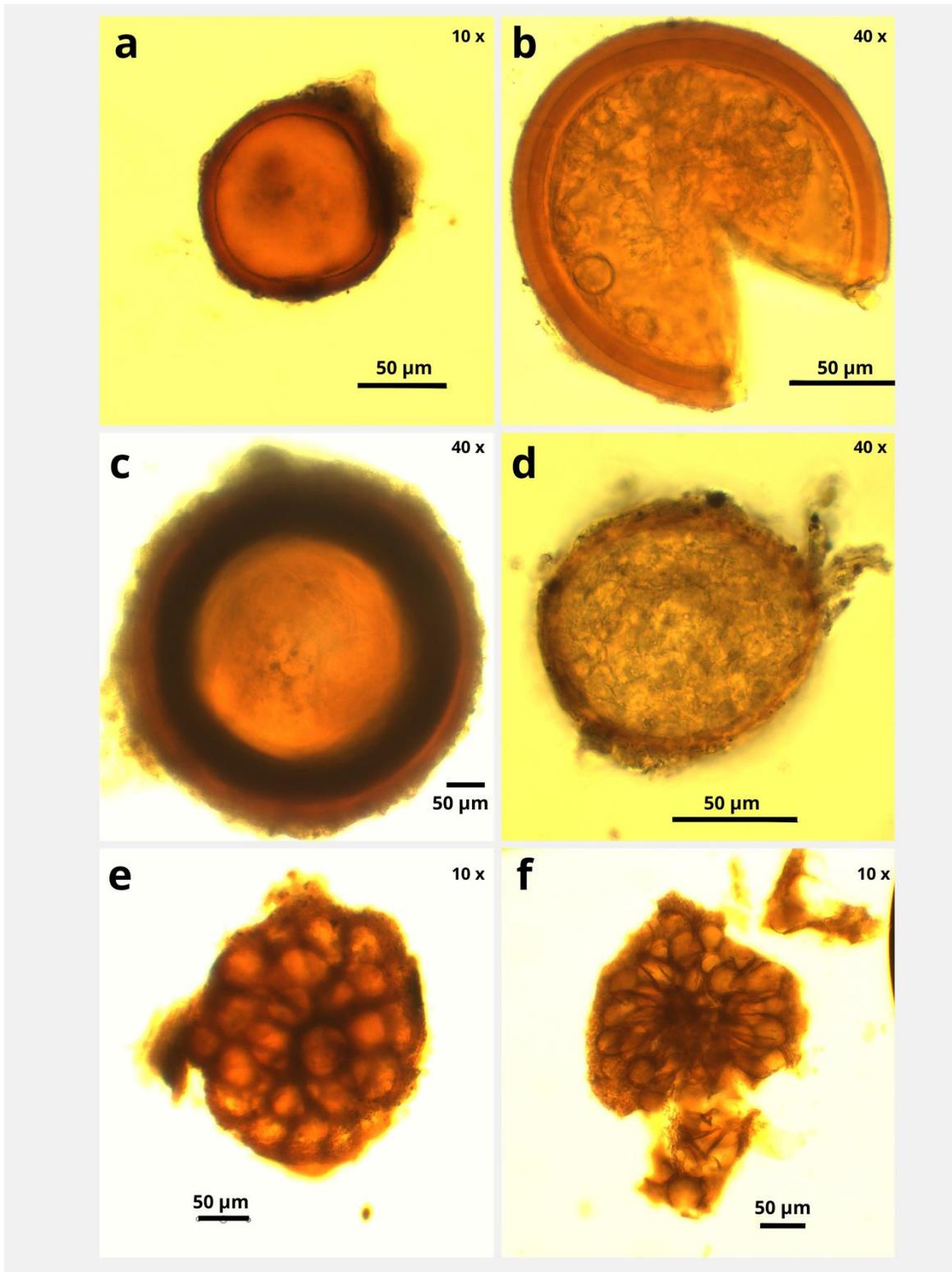


Figura 12. Esporas aisladas de la muestra de suelo 1 a) *Acaulospora* sp. b) *Acaulospora* sp. c) *Glomus* sp. d) *Glomus* sp. e) Esporocarpio de *Sclerocystis* aff *sinuosum*. f) *Sclerocystis* sp.

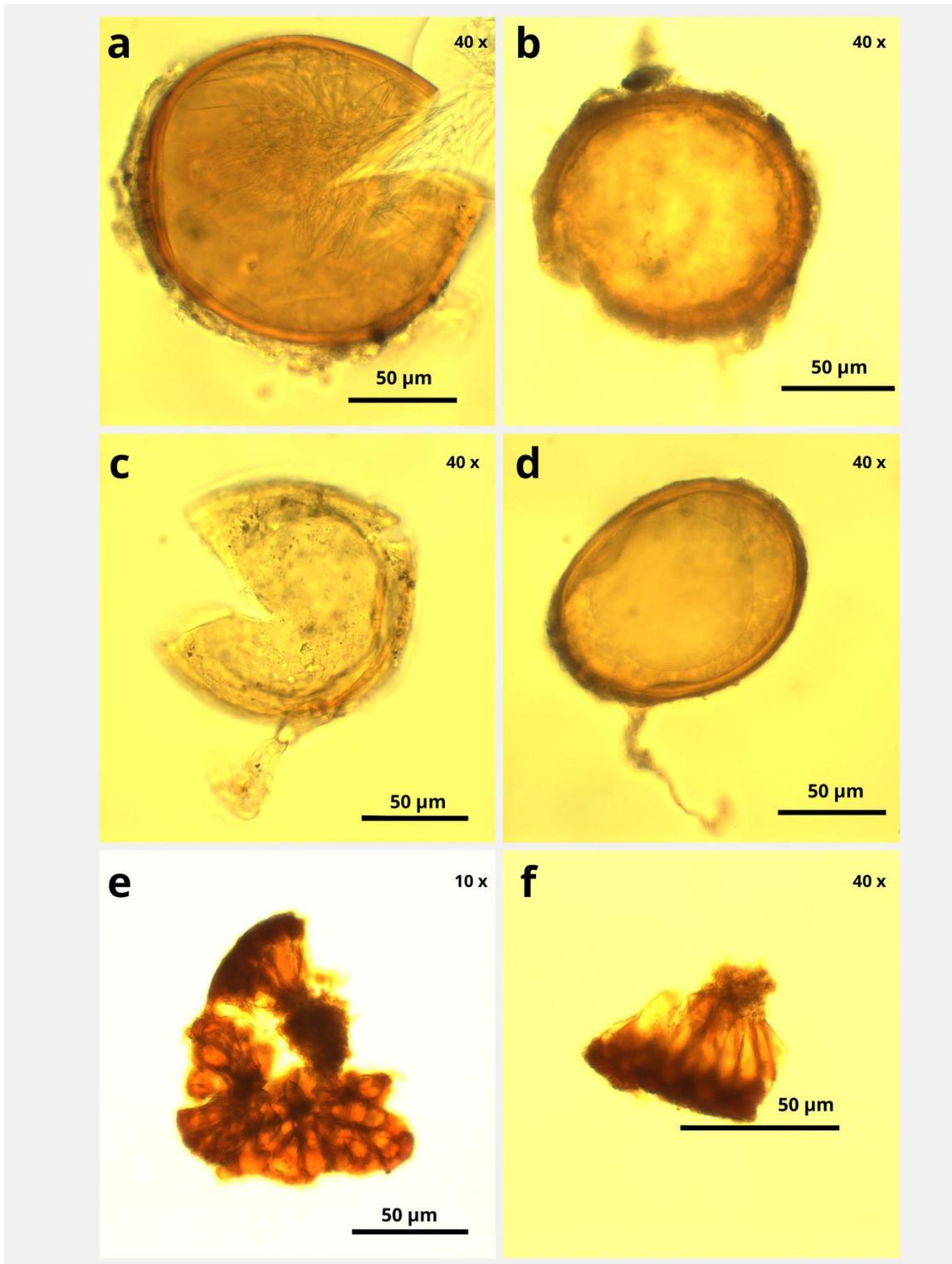


Figura 13. Esporas aisladas de la muestra de suelo 2. a) *Acaulospora* sp. b) *Acaulospora* sp. c) *Glomus* sp. d) *Glomus* sp. e) y f) *Sclerocystis* aff *clavisporum*.

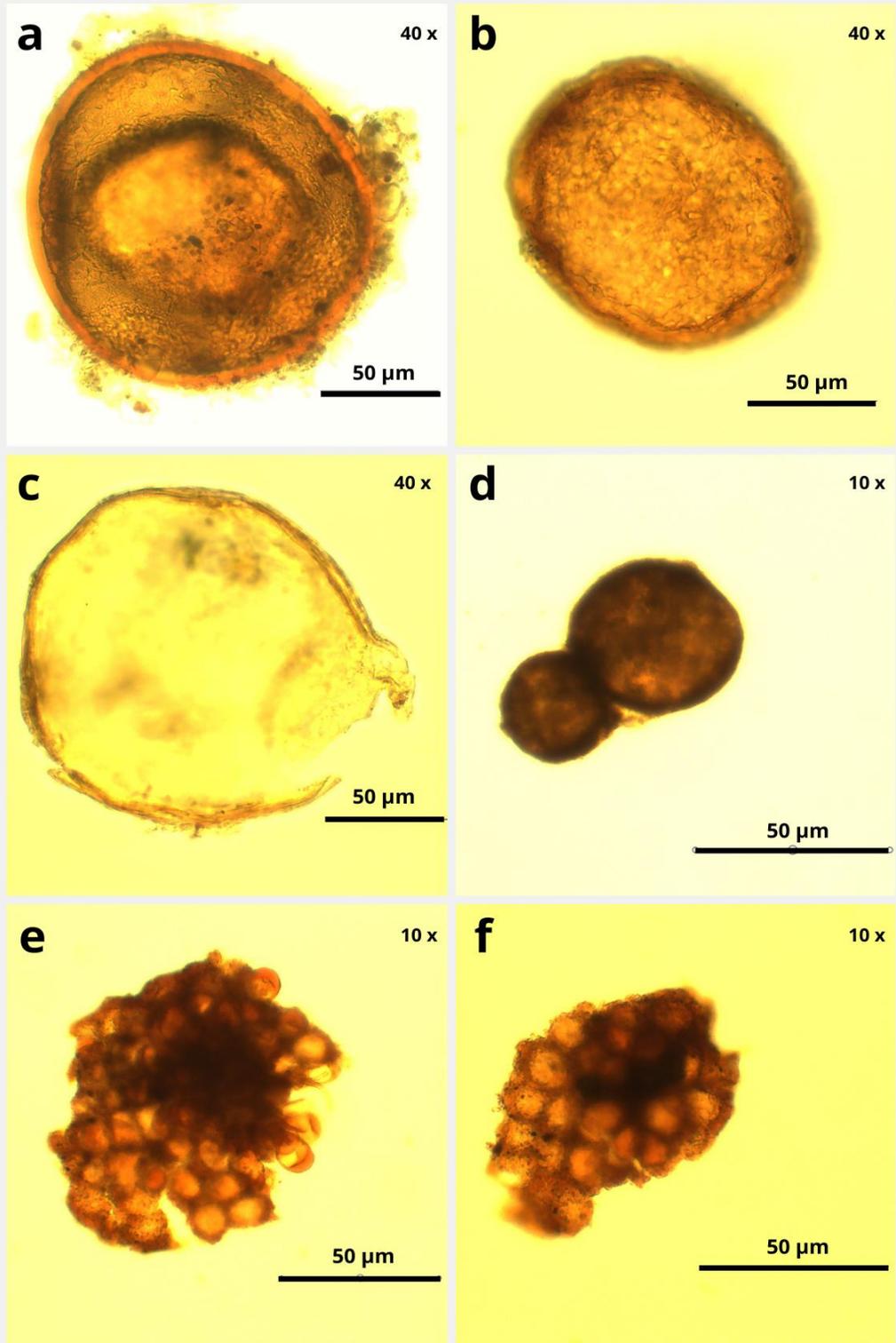


Figura 14. Esporas aisladas de la muestra de suelo 3. a) *Acaulospora* aff *rehmii*. b) *Acaulospora* aff *scrobiculata*. c) *Glomus* sp. d) *Glomus* sp. e) Esporocarpio de *Sclerocystis* sp. f) *Sclerocystis* sp.

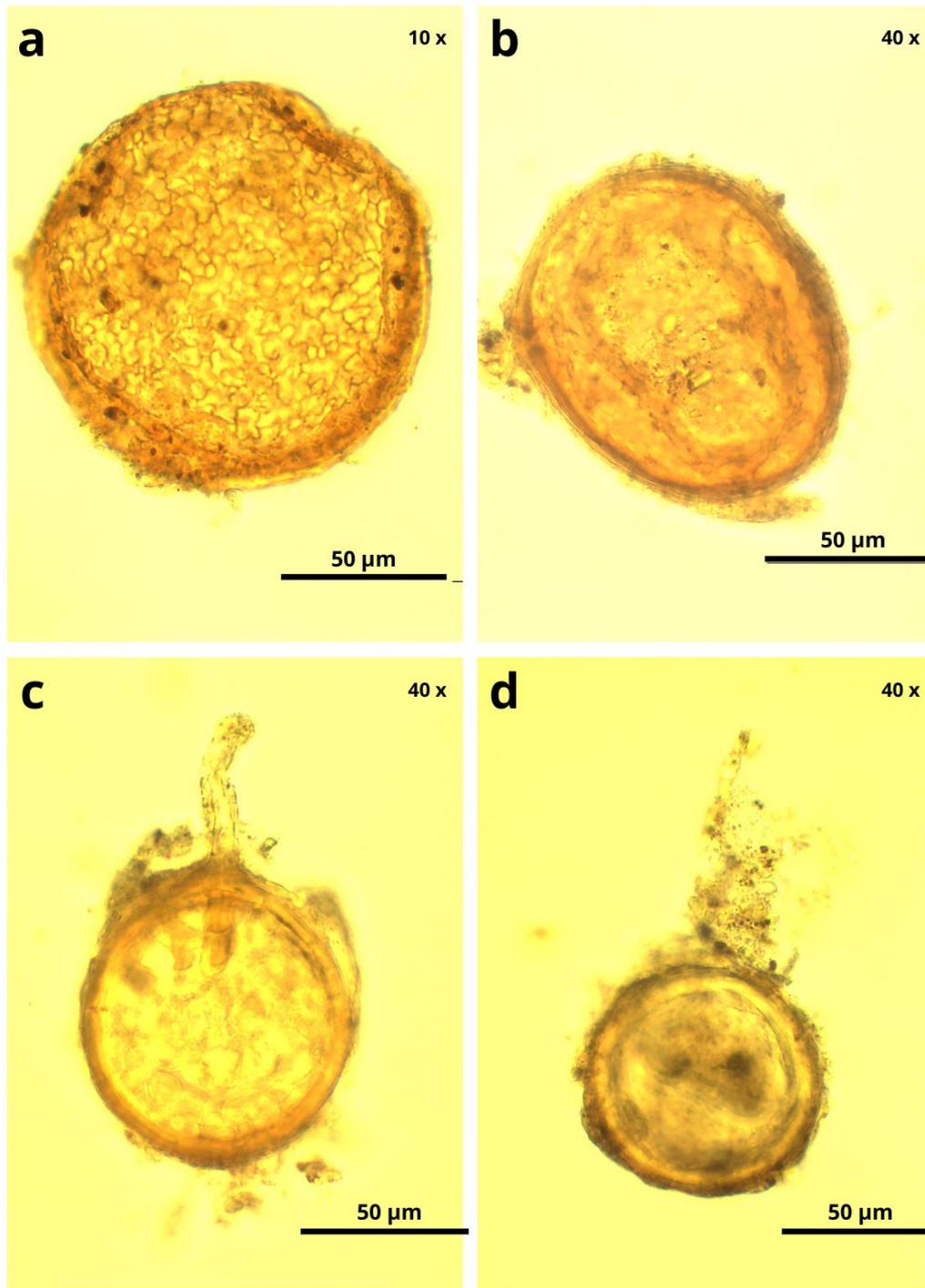


Figura 15. Esporas aisladas de la muestra de suelo 4. a) *Acaulospora* aff *rehmii*. b) *Acaulospora* sp. c) *Glomus* sp. d) *Glomus* sp.

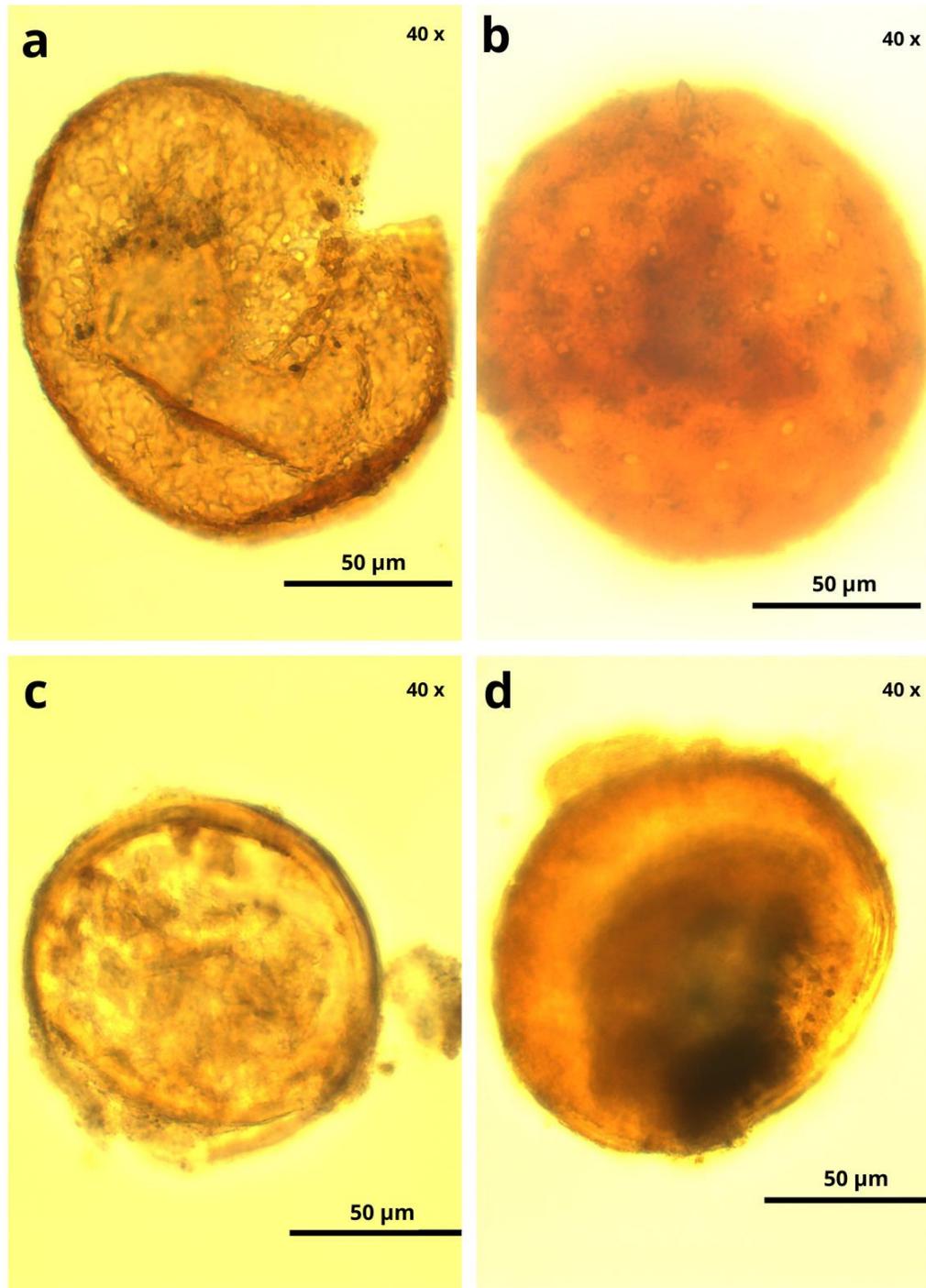


Figura 16. Esporas aisladas de la muestra de suelo 5. a) *Acaulospora* aff *rehmii*. b) *Acaulospora* aff *foveata*. c) *Glomus* sp. d) *Glomus* sp.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación en torno a la presencia de esporas de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en muestras de suelo de pitayo en Amacueca, Jalisco, revelan un panorama significativo que aporta valiosa información sobre la diversidad y distribución de estos microorganismos en un entorno específico. El hallazgo de 43 esporas del género *Acaulospora*, 28 del género *Glomus* y 5 del género *Sclerocystis* resalta la notable presencia y variedad de HMA en este suelo particular.

Estos resultados tienen implicaciones de gran alcance para la comprensión de la dinámica ecológica de los ecosistemas, así como para la aplicación práctica en la agricultura y la conservación del suelo. El conocimiento detallado de la diversidad de HMA en el suelo de pitayo en Amacueca proporciona una base sólida para el diseño de estrategias de manejo de suelos que promuevan la salud y la productividad de los cultivos, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la seguridad alimentaria en la región.

Además, estos hallazgos abren la puerta a futuras investigaciones que exploren la interacción entre los HMA y las plantas asociadas en este ecosistema específico. La comprensión más profunda de esta simbiosis planta-HMA puede ofrecer oportunidades para optimizar el rendimiento de los cultivos, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles.

En síntesis, el descubrimiento de esporas de HMA en el suelo de pitayo en Amacueca, Jalisco, no solo enriquece nuestro entendimiento de la diversidad

microbiana en esta región, sino que también abre nuevas perspectivas para la aplicación práctica en agricultura, conservación del suelo y para futuras investigaciones en este campo de estudio.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Acaulosporaceae | INVAM. (n.d.). INVAM. Retrieved January 12, 2024, from <https://invam.ku.edu/acaulosporaceae>

Aguilera Gómez, L. I., Olalde Portuga, V., Arriaga, M. R., & Contreras Alonso, R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300-306.

Almeida, R. T., & Schenck, N.C. (1990, noviembre-diciembre). A Revision of the Genus *Sclerocystis* (Glomaceae, Glomales). *Mycologia*, 82(6), 703-714. <https://doi.org/10.2307/3760157>

Amijee, F., Tinker, P., & Stribley, D. (1989). The development of endomycorrhizal root system VII A detailed study of soil phosphorus on colonization. *New Phytologist*, 111(3), 435-446.

Andrade Torres, A. (2010, octubre-diciembre). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia*. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZA_S.pdf

Andrade, J. L., de la Barrera, E., Reyes García, C., Ricalde, F., Vargas Soto, G., & Cervera, J. C. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (81), 37-50. <https://www.redalyc.org/pdf/577/57708102.pdf>

- Aranda, V., Aguilar, C., & Giovannetti, M. (2021). Strategies for promoting arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in pitahaya (*Hylocereus undatus*) cultivation. In Sustainable agriculture and food security (473-492). Elsevier.
- Arreola, N. H. (1999). Taxonomía del pitayo *Stenocereus* B. R. En: El pitayo en Jalisco y especies afines en México, Universidad de Guadalajara, Fundación Produce Jalisco A. C. 234.
- Arriaga Ruiz, M. C., Pimenta Barrios, E., Neri Luna, C., Avedaño López, A., Sánchez Martínez, J., Arellano Rodríguez, L. J., Padilla García, J. M., Acero Ortega, J., Jiménez Plascencia, C., López Ruiz, D., & Rodríguez Guzman, E. (n.d.). La pitaya silvestre (*Stenocereus queretaroensis*) una alternativa alimenticia, nutricional, y socioeconomica. Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
- Azcón Aguilar, C., Aranda, V., & Giovannetti, M. (2017). Use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for sustainable management of pitahaya (*Hylocereus undatus*) cultivation. In Advances in agriculture and biotechnology (47-68). Elsevier.
- Bárceñas Abogado, P., & Jiménez Castañeda, V. (2010). Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus* spp. e *Hylocereus* spp.), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2006.01755.x>, 10(19), 101-119.
- Barnea, A., Yom-Tov, Y., & Friedman, J. (1992, enero). Effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of multi-seeded fruits. *Acta ecológica*, 13(2), 209-219.

- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016, January). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., & Martínez Vázquez, J. M. (2018, March). Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 91-105.
- Bhagyaraj, J., & Stürmer, S. (2012). Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). In: Moreira, F., E. Huising y D. Bignell (eds.). *Manual de Biología de Suelos Tropicales*. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F., México. 217-41.
- Błaszowski, J. (2012). Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Błaszowski, J. Comparative studies on the occurrence of arbuscular fungirhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. *Acta Mycol.*, 1993, vol. 28, 93-140.
- Bonfante, P., & Género, A. (2008, September). Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. *Trends Plant Sci*, 13(9). [10.1016/j.tplants.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.07.001)
- Borja Vega, C., Luna Estrada, J., Hernández Arias, E., López Bucio, J., & Herrera Estrella, A. (2018). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant

growth-promoting bacteria (PGPR) in pitahaya (*Hylocereus undatus*) cultivation.
Revista mexicana de ciencias agrícolas, 39(5), 1001-1012.

Bowen, G. D. (1994, February). The ecology of ectomycorrhiza formation and functioning.
Plant and soil, 159, 61-67. <https://doi.org/10.1007/BF00000095>

Bravo-Hollis, H. (1937). Las cactáceas de México (Vol. 1). Universidad Nacional de México.

Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N., & Perroni, Y. (2018, diciembre).
Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. Madera y bosques, 24.

Brundrett, M. (2007, March 15). Diversity and classification of mycorrhizal associations.
Biological Reviews, 79(3), 473-495. <https://doi.org/10.1017/S1464793103006316>

Camarena Gutiérrez, G. (2012). Interacción Planta-Hongos micorrizicos arbusculares.
Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 409-421.
10.5154/r.rchscfa.2011.11.093

Camargo Ricalde, S. L., Montaña, N. M., De la Rosa Mera, C. J., & Montaña Arias, S. A.
(2012, Julio 1). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. Revista Digital
Universitaria, 13(7).

Carrillo Saucedo, S. M., Puente Rivera, J., Montes Recinas, S., & Cruz Ortega, R. (2022,
agosto 19). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica.
Acta botánica mexicana, (129).

Castillo, C. Biodiversidad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares en ecosistemas agroforestales del centro sur de Chile, Tesis Doctorado, 2005, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.

Chacón, A.M., & Cuenca, G. (1997). Efecto de las micorrizas arbusculares y de la fertilización con fósforo, sobre el crecimiento de la guayaba en condiciones de vivero. Microbiología de la Universidad de Zulia. Venezuela., 4-6.

Chacón, M. I., Aguilar Méndez, A., & Herrera Estrella, A. (2004). Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth and yield of pitahaya (*Hylocereus undatus*). Revista Chapingo, Serie Horticultura, 10(1), 3-10.

Clark, R., & Zeto, S. (2000, July). Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. Journal of Plant Nutrition, 23(7), 867-902.

Comisión Nacional Forestal. (2018, September 6). Las zonas áridas son más que desierto | Comisión Nacional Forestal | Gobierno | gob.mx. Gobierno de México. Retrieved January 19, 2024, from <https://www.gob.mx/conafor/es/articulos/las-zonas-aridas-son-mas-que-desierto?idiom=es>

CONAFOR. (06 de septiembre de 2018). CONAFOR. Obtenido de <https://www.gob.mx/conafor/articulos/las-zonas-aridas-son-mas-que-desierto?idiom=es>

CONAGUA-SMN. (2010). (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional). https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normal es8110/jal/nor8110_14008.TXT

Corrales-García, J., Flores Valdez, C. A., Gómez Cruz, M. Á., Meráz Alvarado, M. d. R., Rodríguez Canto, A., & Schwentesius Rindermann, R. (2003). Pitayas y pitahayas: producción, poscosecha, industrialización y comercialización (1st ed.). Universidad Autónoma Chapingo, Programa Nopal/CIESTAAM.

Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2014). Manual de protocolos, herramientas para el estudio y manipulación de Hongos Micorrícicos Arbusculares y Trichoderma (1st ed.). Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Cruz Ulloa, B. S. (1999, Julio 2). Micorrización en la conservación de los bosques. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2).

Cruz Ulloa, B. S. (1999, Julio). Micorrización en la conservación de los bosques. *Ciencia Ergo Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 6(2).

Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., & Urdaneta, C. (2007, enero). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1).

Da Silva, K. J., Fernandes, J. A. L., Magurno, F., Leandro, L. B.A., Goto, B. T., & Theodoro, R. C. (2022, agosto 23). Phylogenetic Review of Acaulospora (Diversisporales, Glomeromycota) and the Homoplasic Nature of Its Ornamentations. *J Fungi (Basel)*, 8(9), 892. 10.3390/jof8090892

Dal Val Díaz, R., Valencia Maldonado, J., Gómez Leyva, J. F., Gómez Sánchez, L. E., & Preciado Sánchez, V. M. (2019). Efecto de hongos formadores de Micorriza

arbuscular (hma) con fertilización en caña de azúcar, en Tepalcatepec Michoacán.
Revista Ingeniantes, 2(2), 81-84.

Dalpé, Y. (1989). Inventaire et repartition de la flore endomycorhizienne de dunes et de rivages maritimes du Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Ecosse. *Naturaliste Can (Rev Ecol Syst)*, 116, 219-236.

Daniels, H. B.A., & Skipper, H. D. (1982). Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck, N.C. (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*. American Society for Phytopathology, St Paul, Minn. 29-37.

Estrada Torres, A., Varela, L., Hernández Cuevas, L., & Gavito, M. E. (1992). Algunos hongos micorrízicos arbusculares del Estado de Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Micología*, (8), 85-100.

Fasusi, O. A., Amoo, A. E., & Babalola, O. O. (2021, April 12). Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *J Sci Food Agric*, 101(14), 5834–5841. doi: 10.1002/jsfa.11235

Fernández Martín, F. (2003). La simbiosis micorrízica arbuscular.

Fernández, K., Fernández, F., Rivera, R., & Olalde, V. (2005). Metodología para la germinación de esporas de *Glomus mosseae*. *Cultivos tropicales*, 26(2), 11-16.

Flores Ortiz, C. M. (2016). Reunión Nacional de Zonas Áridas. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(1).

Foveata | INVAM. (n.d.). INVAM. Retrieved January 13, 2024, from <https://invam.ku.edu/foveata>

Franco, D. (2016, Julio). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica. https://www.ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf

Friese, C. F., & Koske, R. E. (1991, enero 1). The spatial dispersion of spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a sand dune: microscale patterns associated with the root architecture of American beachgrass. *Mycol. Res.*, 95, 952-957.

Gai, J.P., Christie, P., Feng, G., & Li, X. L. (2006, junio). Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review. *Mycorrhiza*, 16(4), 229-239. 10.1007/s00572-005-0023-8

García Rodríguez, J. L. (2012, noviembre). La sequía en terrenos forestales de México. In Seminario de información estadística y geográfica para prevenir y mitigar los efectos de la sequía e inundaciones en la población y la economía. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/eventos/2012/sequias/P1_003JORGELUISGARCIA.pdf

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) (5th ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235-244.
- Gerdemann, J.W., & Bakshi, B.K. (1976). Endogonaceae of India: Two new species. *Transactions of the British Mycological Society*, 66(2), 340-343.
- Giovannetti, M. (2000). Spore Germination and Pre-Symbiotic Mycelial Growth. In: Kapulnik, Y., Douds, D.D. (eds) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_3
- González Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- González Serrano, C. P. (2014). *Aplicación de micorrizas y un mycobacter en viveros de cacao (Theobroma cacao L)*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Goto, B. T., Pereira, C. M., Nobre, C. P., Zatorre, N. P., Covacevich, F., Berbara, R. L., & Maia, L. C. (2013). *Acaulospora endographis* (Glomeromycetes), a new fungus with a complex spore wall. *Mycotaxon*, 123, 403-408. <https://doi.org/10.5248/123.403>
- Graham, C. (2001). Descripción anatómica de once especies forestales de uso industrial en Panamá. Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELE; A), (2), 61.
- Grynoski, T., Zdenek, A., & Van der Putten, W.H. (2007). Elevational distribution of mycorrhizal fungal communities in the Carpathian Mountains. *Applied Soil Ecology*, 35(3), 242-250.

Haas, J. H., & Menge, J. A. (1990, octubre). VA-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea americana* Mill.) orchard soils. *Plant Soil*, 127, 207-212. <https://doi.org/10.1007/BF00014427>

Herrera Estrella, A., López Bucio, J., Hernández Arias, E., & Lara Chávez, C. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) diversity on nutrient uptake and growth of pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 37(2), 313-322.

Herrera Monroy, S., Castro Brindis, R., Pérez Moreno, J., & Valdés Velarde, E. (2019). Diversidad endomicorrícica en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infestadas con roya (*Hemileia vastatrix*). *Nova Scientia*, 22(11), 102-123. [doi.org/doi.org/10.21640/ns.v11i22.1642](https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1642)

Hilje, L. (1984, Julio-diciembre). Simbiosis: Consideraciones terminológicas y evolutivas. *UNICIENCIA*, 1(1).

Hunt, D. (Ed.). (1992). CITES Cactaceae Checklist. Royal Botanic Gardens.

INEGI. (2000). Diccionario de datos climáticos: vectorial: escalas 1. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvini/egi/productos/historicos/2104/702825223885/702825223885_2.pdf

INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Amacueca, Jalisco. Inegi. Retrieved January 9, 2024, from https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/14/14004.pdf

- INEGI. (2014). Guía para la interpretación de cartografía: edafología: escala 1:250 000: serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2021). Aspectos geográficos Jalisco.
- International Plant Nutrition Institute. (n.d.). Functions of Phosphorus in Plants. Better crops, 83(1), 6-7.
- INVAM. (n.d.). INVAM: Home. Retrieved January 18, 2024, from <https://invam.ku.edu/>
- INVAM. (n.d.). Scrobiculata. INVAM. Retrieved January 13, 2024, from <https://invam.ku.edu/scrobiculata>
- Iqbal, S. M., & Perveen, B. (1980). Some species of Sclerocystis (Endogonaceae) from Pakistan. Transactions of the Mycological Society of Japan., 21, 57-63.
- Janos, D. P., & Trappe, J. M. (1982, July-September). Two new *Acaulospora* species from tropical America. Mycotaxon, 15, 515-522.
- Johnson, N.C., Graham, J.H., & Hodge, A. (1993). The role of fungal symbionts in the success of introduced forest trees. Plant and Soil, 155(1), 323-330.
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). Plant Physiological Ecology. Springer New York.
- Lara Chávez, C., Hernández Arias, E., & López Bucio, J. (2014). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with pitahaya (*Hylocereus undatus*) cultivation in different regions of Mexico. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 35(1), 1-10.

- Liu, X.-J., Wang, Y.-M., & Guo, S.-X. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community structure in relation to environmental factors in a Tibetan Plateau meadow. *Mycological Research*, 114(3), 399-406.
- López Bucio, J., Hernández Arias, E., Luna Estrada, J., Borja Vega, C., & Herrera Estrella, A. (2020). Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and phosphorus solubilizing bacteria (PSB) on phosphorus uptake and growth of pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 41(1), 1-12.
- Lüttge, U. (2006, mayo 31). Photosynthetic flexibility and ecophysiology plasticity: questions and lessons from *C/usia*, the only CAM tree, in the neotropics. *New Phytologist*, 171(1), 7.25. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2006.01755.x>
- Madigan, M. T. (2009). Brock, biología de los microorganismos 12/e (12th ed.). Pearson Educación.
- Marín-Flores, B. (2022). El pitayo: estrategias de manejo tradicional y perspectivas de cultivo. *Elementos* 127, 51-56.
- Martínez G, J. C., & Bonilla B, J. J. (2004, enero-junio). Situación de la pitaya de mayo *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum en tres localidades de la Mixteca Baja. *Revista de Geografía Agrícola*, 34, 75-90.
- Mendoza-Churape, J., Apáez-Barrios, P., Raya-Montaño, Y. A., Pedraza-Santos, M. E., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., & Lara-Chávez, M. B. N. (2022, febrero

28). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en monocultivo de trigo en Michoacán, México. *Scientia fungorum*, 51. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1369>

Moreira, M., Nogueira, M. A., Tsai, S. M., Gomes da Costa, S. M., & Cardoso, E. J. B. N. (2017, septiembre). Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the field and in the greenhouse. *Mycorrhiza*, 17(6), 519-526. [10.1007/s00572-007-0124-7](https://doi.org/10.1007/s00572-007-0124-7)

Návar-Chávez, A., Vargas-Hernández, M. E., Parra-Ortiz, J. L., & Hernández-Estrada, E. (2014). Evaluación dasométrica del pitayo (*Stenocereus thurberi*) en el desierto de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 39(1), 7-18.

Nazareno Saparrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2011). *Micorrizas arbusculares Biología y aplicaciones en el sector agroforestal* (5th ed.). UNLP.

Nazareno Separrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). *Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agroforestal* (5th ed., Vol. 1).

Nwaga, D., Ambassa-Kiki, R., Ngonkeu-Mangaptché, E., & Tchiegang-Megueni, C. (2004). Selección de hongos micorrízicos arbusculares para inocular maíz y sorgo cultivados en oxisol, ultisol y vertisol en Camerún. [Gestión de los ciclos de nutrientes para mantener la fertilidad del suelo en el África subsahariana. *Academy Science Publishers (ASP)/Instituto de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales del CIAT, Nairobi*].

- Oehl, F., Palenzuela, J., Sánchez Castro, I., Kuss, P., Sieverding, E., & Alves Da Silva, G. (2012, junio 1). *Acaulospora nivalis*, a new fungus in the Glomeromycetes, characteristic for high alpine and nival altitudes of the Swiss Alps. *Nova Hedwigia*, 95(1), 105-122. 10.1127/0029-5035/2012/0038
- Oehl, F.; Sieverding, E.; Ineichen, K.; Ris, E. A.; Boller, T. y Wiemken, A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytol.*, 2005, vol. 165, 273-283.
- Osorio Miranda, M., Castelán Estrada, M., Gómez Leyva, J.F., Salgado García, S., & Hernández Cuevas, L. (2013). Hongos Micorrícicos Arbusculares de suelos de sabana en Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(2), 171-182.
- Osorio, N. W. (2012, febrero 29). corresponden a relaciones simbióticas entre especies vegetales de interés forestal y hongos Basidiomicetes y Ascomicetes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(2).
- Palacino Córdoba, J. H. (1990). Interacción entre *Glomus manihotis* y *Meloidogyne incognita* en pitaya amarilla y roja bajo condiciones de vivero. *Cenicafé*, 41(3), 80-90.
- Pérez Luna, Y. d. 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. Botánica*, 69(1), 46-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>

- Pimienta Barrios, E. (1999). Productividad y Ecofisiología del pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Universidad de Guadalajara-Fundación Produce Jalisco.
- Pimienta Barrios, E. (1999, diciembre). Productividad y Ecofisiología del pitayo de Querétaro (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). Universidad de Guadalajara.
- Pimienta Barrios, E., & Tomas Vega, M. d. I. L. (1993, Oct-Dic). Caracterización de la variación en el peso y la composición química del fruto en variedades de pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum). *Cactáceas y suculentas mexicanas*, 38(4), 82-84.
- Quiñones, A. E. E., Hernández, A. E., Rincón, E. G., & Ferrera, F. C. R. (2012). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *Terra*, 30, 165-176.
- Quiñones, M. A., Aguilar Méndez, A., & Herrera Estrella, A. (2010). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on growth and yield of pitahaya (*Hylocereus undatus*) under different stress conditions. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 16(2), 115-122.
- 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. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2026>

Rebollar Alviter, A. (1997). Cultivo de la pitaya (*Stenocereus* sp) una alternativa para el trópico seco del estado de Michoacán (2nd ed.). Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Occidente, 2002.

Rehmii. INVAM. Retrieved January 12, 2024, from <https://invam.ku.edu/rehmii>

Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019, junio 11). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. IDESIA, 37(1), 35-44. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>.

Robles Pérez, I. F. (2006, diciembre). Hongos de micorriza arbuscular en diferentes sistemas de producción de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) EN OAXACA.

Rodríguez, Y. (2005). Aspectos relacionados con las bases bioquímicas de la simbiosis micorrízica arbuscular. Cultivos Tropicales, 26(1), 11-19.

Rosales Bustamante, E. P., Luna Morales, C. d. C., & Cruz León, A. (2009, enero-abril). Clasificación y selección tradicional de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en Tianguistengo, Oaxaca y variación morfológica de cultivares. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(1), 75-82.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México (Primera ed.). Limusa.

SADER. (2016, octubre 27). Zonas áridas, un rostro diferente del campo | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx. Gobierno de México. Retrieved

December 7, 2023, from <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/zonas-aridas-un-rostro-diferente-del-campo>

Salgado García, S., Castelán Estrada, M., Jiménez, R., Gómez Leyva, J. J., & Osorio Miranda, M. (2014). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en suelos cultivados con caña de azúcar en la región de la Chontalpa, Tabasco. *Revista Mexicana de Micología*, 7, 7-16.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant physiology*. Wadsworth Publishing Company.

Sánchez-Mejorada H (1984) Origen, taxonomía y distribución de las pitayas en México. En *Aprovechamiento del pitayo*. ITAO-Oaxaca, UAM. México. pp. 6-21.

Sánchez-González, A., Návar-Chávez, A., Vargas-Hernández, M. E., & Parra-Ortiz, J. L. (2016). Estimación dasométrica del pitayo (*Pitahaya aethiopica*) en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 41(2), 229-240.

Schüßler, A., & Walker, C. (2010). The Glomeromycota: A new classification of the Glomeromycetes. *Mycological Progress*, 9(1), 1-47.

Selvakumar, G., Shagol, C., Kang, Y., Chung, B., Han, S., & Sa, T. (2018, June 1). Arbuscular mycorrhizal fungi spore propagation using single spore as starter inoculum and a plant host. *J Appl Microbiol*, 124(6), 1556–1565. <https://doi.org/10.1111/jam.13714>

SIACON. (2021). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta.

SIAP. (2015). SAGARPA. <http://www.gob.mx/siap/>

- SIAP. (2017, August 1). Pitaya (*Stenocereus* spp.) Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas | Gobierno | gob.mx. Gobierno de México. Retrieved January 20, 2024, from <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitaya-stenocereus-spp-119661>
- Sieverding, E. (1990, febrero). Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 29(1 a 4), 369-390. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(90\)90303-U](https://doi.org/10.1016/0167-8809(90)90303-U)
- Sieverding, E., & Toro, S. T. (1987). *Acaulospora denticulata* sp. nov. and *Acaulospora rehmi* sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. *Angew. Bot*, 217-223.
- Sieverding, E., & Toro, S. T. (n.d.). *Acaulospora rehmi*. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Retrieved 2024, from <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Acaulospora%20rehmi.htm>
- Sinuosum. (n.d.). INVAM. Retrieved January 13, 2024, from <https://invam.ku.edu/sinuosum>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (1997). *Mycorrhizal symbiosis*. Elsevier Science.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.
- Stürmer, S. L., & Bellei, M. M. (1994, March). Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa

Catarina, Brazil. *Canadian Journal of Botany*, 72, 359-363.
<https://doi.org/10.1139/b94-048>

Tarango Arámbula, L.A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, IV (2), 17-21.

Tiana, C., & Feng, G. (2004, junio). Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants. *Applied Soil Ecology*, 26(2), 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.010>

Trappe, & Janos. (1982). *Acaulospora foveata*. *Mycotaxon*, 15, 516.

Trappe, J. M. (1977, October-December). Three new endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Aclerocystis clavispora* and *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon*, 6(2), 359-366.

Trejo, D., Ferrera Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcón, A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 23-31. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>

Walker, C. (1983, January). Taxonomic concepts in the Endogonaceae: Spore-wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon*, 18, 443-455.

Walker, C., Pfeiffer, C.M., & Bloss, H.E. (1986). *Acaulospora delicata* sp. nov. - an endomycorrhizal fungus from Arizona. *Mycotaxon*, 25(2), 621-628.

Wilches Ortiz, W. A., Ramírez Gómez, M. M., Pérez Moncada, U. A., Serralde Ordoñez, D. P., Peñaranda Rolon, A. M., & Ramírez, L. (2019, junio). Asociación de hongos

micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37(2). <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

Winter, K., & Smith, J.A. C. (Eds.). (2011). *Crassulacean Acid Metabolism: Biochemistry, Ecophysiology and Evolution*. Springer Berlin Heidelberg.

Wu, C. G., & Chen, Z. C. (1997, enero). The Endogonaceae of Taiwan. II. Two new species of *Sclerocystis* from Taiwan. *Trans. Mycol. Soc. R.O.C*, 2, 73-83.

Wu, C. G., Liu, Y. S., Huang, Y. L., Wang, Y. P., & Chao, C. C. (1995). Glomales of Taiwan V. *Glomus chimonobambusae* and *Entrophospora kentinensis*, spp. *Micotaxón*, 53, 283-294.

Yao, Q., Li, X., & Christie, P. C. (2001). Mobilization of sparingly soluble inorganic phosphates by the external mycelium of an arbuscular mycorrhizal fungus. *Plant and Soil*, 230, 279-285.

VIII. ANEXOS

8.1 Preparación del PVLG

Se utilizó 100 ml de agua destilada con 100 ml de ácido láctico y 10 ml de glicerina en un vidrio oscuro, se agregaron 16.6 gr de alcohol polivinílico, y se llevó a 70-80°C por 4 a 6 horas. (Covacevich & Consolo, 2014)

8.2 Preparación del Reactivo de Melzer

Se diluyó 1,5 g de iodo y 5,0 g de yodato de potasio en 100 ml de agua destilada. y se agregaron 100 g de tricloroacetaldehído monohidratado (también comúnmente llamado hidrato de cloral) y facilitar la dilución. (Covacevich & Consolo, 2014).