



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**CONSORCIOS DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES  
ASOCIADOS A SEIS ESPECIES VEGETALES  
PROVENIENTES DE MATORRAL XERÓFILO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**ARELI ALEJANDRA MUÑOZ CERVANTES**

**DIRECTORA: DRA. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ**  
Unidad de Investigación en Ecología Vegetal



México D.F., Febrero 2013

Tesis apoyada parcialmente por el proyecto PAPIIT IN-216610

**Elige un trabajo que te guste,  
y no tendrás que trabajar  
ni un solo día de tu vida**

**Confucio.**

*A mis padres Jorge y Rosa,  
que siempre están conmigo.*

*A mis hermanos Miriam y Jorge,  
por todo lo que compartimos.*

*A Jagger, Iztli, Boogie, Pandora, Kiba y Tohui,  
que siempre me reciben con alegría.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me ayudó a crecer.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y a todos los maestros que compartieron su conocimiento y contribuyeron en mi formación académica.

A cada uno de los integrantes de mi familia que me han acompañado y apoyado a lo largo de mi vida.

A mi directora de tesis, la Dra. Rosalva García Sánchez, por sus enseñanzas, comprensión, paciencia, apoyo, confianza y amistad.

Al Biólogo Eduardo Chimal, quien me ayudo a lo largo de esta investigación, en la determinación taxonómica, estadística, laboratorio, etc. Gracias Lalo.

A mis sinodales: Dr. Arcadio Monroy A., Dra. Esther M. García A., M. en C. Bárbara S. Luna R. y el Biólogo Marco A. Hernández M., quienes me ayudaron a mejorar este trabajo.

A los compañeros y maestros de laboratorio de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal.

A todos mis amigos que he conocido en el transcurso de mi existencia.

## CONTENIDO

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Micorrizas	4
2.2 Especies vegetales	10
III. JUSTIFICACIÓN	18
IV. HIPÓTESIS	19
V. OBJETIVOS	20
5.1 Objetivo general	20
5.2 Objetivos específicos	20
VI. MATERIAL Y MÉTODOS	21
6.1 Trabajo en invernadero	21
6.2 Trabajo en laboratorio	23
6.2.1 Densidad de esporas de HMA en la rizosfera	23
6.2.2 Colonización micorrízica arbuscular	24
6.2.3 Montaje de raíces y conteo de colonización	25
6.2.4 Evaluación de la masificación de HMA	25
6.3 Análisis de datos	26
6.4 Diagrama de la metodología	27
VII. RESULTADOS	28
7.1 Colonización micorrízica radical de las especies estudiadas	28
7.2 Masificación con especies trampa	30
7.3 Consorcios de HMA asociados a las especies vegetales	33
7.4 Riqueza y diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares	40
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
8.1 Colonización de la raíz	42
8.2 Comunidades de hongos micorrizógenos arbusculares	44
IX. CONCLUSIONES	48
X. LITERATURA CITADA	50
XI. ANEXOS	56
Anexo 1. Análisis de datos mediante la prueba de Kruskal Wallis para densidad de esporas.	56
Anexo 2. Análisis de datos mediante la prueba de Kruskal Wallis para colonización micorrízica.	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Agave lechuguilla</i> .	10
<b>Figura 2.</b> <i>Agave salmiana</i> .	11
<b>Figura 3.</b> <i>Jatropha dioica</i> .	12
<b>Figura 4.</b> <i>Karwinskia humboldtiana</i> .	13
<b>Figura 5.</b> <i>Mimosa lacerata</i> .	14
<b>Figura 6.</b> <i>Yucca filifera</i> .	16
<b>Figura 7.</b> Porcentaje de colonización radical en las especies vegetales estudiadas. Las líneas indican desviaciones estándar.	29
<b>Figura 8.</b> Colonización micorrízica de <i>A. salmiana</i> , especie con el porcentaje de colonización micorrízica más alto.	29
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de colonización micorrízica total entre especies trampa.	31
<b>Figura 10.</b> Colonización micorrízica en raíz de jitomate.	31
<b>Figura 11.</b> Densidad de esporas de cada especie vegetal antes y después de la masificación. Las líneas arriba de las barras representan la desviación estándar.	32
<b>Figura 12.</b> <i>Claroideoglo mus</i> aff. <i>etunicatum</i> .	33
<b>Figura 13.</b> <i>Diversispora spurca</i> .	34
<b>Figura 14.</b> a) <i>Funneliformis mosseae</i> ; b) misma especie en reactivo Melzer.	34
<b>Figura 15.</b> <i>Pacispora</i> sp.	35
<b>Figura 16.</b> a) <i>Rhizophagus fasciculatus</i> en PVLG; b) <i>R. fasciculatus</i> en PVLG y reactivo Melzer.	35
<b>Figura 17.</b> <i>Rhizophagus intraradices</i> .	36
<b>Figura 18.</b> Porcentaje proporcional de las especies de HMA en los consorcios asociados a cada especie vegetal.	38

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estructuras principales de los hongos micorrízicos arbusculares.	6
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los HMA con base en Schüßler y Walker (2010).	8
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de colonización radical total y fraccionada de las especies estudiadas.	28
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de colonización micorrízica con la masificación de las especies trampa.	30
<b>Tabla 5.</b> Ubicación taxonómica de los Hongos micorrizógenos arbusculares encontrados.	33
<b>Tabla 6.</b> Hongos micorrízicos arbusculares asociados a seis especies vegetales en condiciones de invernadero.	37
<b>Tabla 7.</b> Riqueza y diversidad de los consorcios de HMA en cada especie vegetal.	40
<b>Tabla 8.</b> Análisis de Kruskal-Wallis para la densidad de esporas en las especies vegetales.	41

## RESUMEN

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) influyen de manera diferente en las plantas, de forma que la planta al crecer en un suelo natural donde existen diferentes especies de micorrizas arbusculares, serán capaces de seleccionar a los HMA con quienes forme simbiosis exitosas, dando origen a que existan consorcios de hongos que favorezcan más a determinada especie vegetal en comparación con otros consorcios. En el presente trabajo se evaluaron los consorcios de HMA seleccionados por seis especies vegetales provenientes de matorral xerófilo: *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa lacerata* y *Yucca filifera*, en condiciones de invernadero. Las seis especies se colocaron en suelo de matorral con HMA donde se colonizaron, transcurrido un año se trasplantaron a sustrato estéril, donde se masificó a los HMA contenidos en la raíz de las especies, utilizando como planta trampa el maíz (*Zea mays*) y jitomate (*Lycopersicum esculentum*). Las especies de HMA determinadas fueron *Diversispora spurca*, *Funneliformis mosseae*, *Claroideoglo mus* aff. *etunicatum*, *Pascispora* sp., *Rhizophagus fasciculatus* y *Rhizophagus intraradices*. La especie *A. lechuguilla* presentó el consorcio más diverso con cuatro especies de HMA, mientras que *A. salmiana*, *J. dioica* y *Y. filifera* se asociaron a tres especies de HMA, en cambio *K. humboldtiana* se asoció únicamente con la especie *Claroideoglo mus* aff. *etunicatum*; la especie *Funneliformis mosseae* se encontró sólo en *A. lechuguilla*. Los valores de colonización micorrízica en general fueron altos; *A. salmiana* presentó un 99% de colonización radical y la mayor densidad de esporas (859 esporas /100 g suelo). Se concluye que las especies vegetales presentan cierto grado de selectividad hacia los HMA, por lo que se asociaron en promedio a tres especies de hongos, mientras que las especies *Rhizophagus intraradices* y *Pascispora* sp. fueron las especies más comunes, las cuales estuvieron presentes en 5 de los 6 consorcios.

## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas corresponden a un 56% del territorio nacional, y están ubicadas en el norte y centro de México. Abarcan un área aproximada de 99 millones de hectáreas, donde la vegetación dominante son matorrales y pastizales; se estima una riqueza florística de 6000 especies y cerca de 3600 endemismos (Rzedowski, 1991; Toledo y Ordoñez, 1993; CONABIO, 1998).

El éxito de la colonización de las especies vegetales sobre los suelos áridos se debe en parte a las asociaciones que han formado con otros organismos, tal es el caso de las simbiosis que establecen con los hongos formadores de micorrizas. De acuerdo a los simbiontes que participan en la interacción, se han descrito al menos siete diferentes tipos de micorrizas: arbuscular, ectomicorriza, endomicorriza, arbutoide, monotropoide, ericoide y orquideoide, que de manera general se caracterizan por las estructuras que el hongo forma dentro de la raíz, así como por las plantas y los hongos involucrados (Harley y Smith, 1983). Los hongos micorrízicos arbusculares juegan un papel muy importante en las plantas, ya que se conoce que más del 90% de ellas forman este tipo de asociación simbiótica. En México se han registrado 95 especies de HMA, correspondiendo al 41% de las especies conocidas mundialmente (Montaño *et al.*, 2012). En los ecosistemas áridos y semiáridos, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), por medio de las hifas, exploran grandes volúmenes de suelo a mayores profundidades y distancias de lo que lo hacen las raíces de las plantas, generando beneficios para ambas partes, en donde el hongo adquiere, a través de la planta hidratos de carbono, y por su parte, el hongo contribuye en la absorción de nutrimentos minerales presentes en el suelo, suministran agua y también puede influir aumentando la resistencia de la planta a la invasión de organismos patógenos

(Harley y Smith, 1983; Montaña *et al.*, 2008). En apariencia no existe especificidad taxonómica, ya que cualquier planta hospedera puede establecer simbiosis con cualquiera de las 200 especies de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) descritas hasta el presente (Lovera y Cuenca, 2007). Sin embargo, Vandenkoornhuyse *et al.* (2002), utilizando técnicas moleculares, indican que las plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA promoviendo efectos diferenciales sobre el crecimiento vegetal. Van der Heijden *et al.* (1998a), mencionan que las diferencias en los efectos que las especies de HMA causan sobre el crecimiento de las especies vegetales, pueden promover un aumento en la diversidad y productividad vegetal en un ecosistema determinado. Así también, bajo ciertas condiciones edafoclimáticas, algunos hongos pueden beneficiar en mayor grado a un determinado hospedero (McGonigle y Fitter, 1990; Rodríguez *et al.*, 2004).

Las especies de HMA que forman micorrizas con raíces de plantas provenientes de matorral xerófilo, tales como: *Agave lechuguilla* Torrey, *Agave salmiana* Otto, *Jatropha dioica* Moc. et Sessé, *Karwinskia humboldtiana* Roem. y Schult., *Mimosa lacerata* Rose y *Yucca filifera* Chabaud, son poco conocidos a pesar de que estas especies vegetales tienen alto valor ecológico y económico, de manera que el uso de los HMA tienen un gran potencial biotecnológico debido a que facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por lo cual, individuos previamente micorrizados se pueden utilizar en las prácticas de restauración ecológica, o de recuperación de áreas degradadas, asegurando así su establecimiento, ya que el hongo ayuda a la planta a soportar condiciones de estrés hídrico o por deficiencia de nutrientes (Azcón, 2000; Quilambo, 2003).

## **II. MARCO TEÓRICO**

Los ecosistemas áridos de México son considerados de baja productividad debido a la escasa precipitación y la variación extrema de temperaturas. Sin embargo, a pesar de su sencillez estructural son ecológicamente muy complejos. Las zonas áridas y semiáridas de México, son regiones con baja densidad poblacional, y presentan alta marginación social, por lo cual las poblaciones humanas realizan una constante e inadecuada explotación de los recursos naturales. Las principales actividades económicas en estos ecosistemas son la ganadería, seguida por la agricultura de temporal (Rzedowski, 1978). En estos ecosistemas el tipo de vegetación predominante es Matorral Xerófilo, que se caracteriza por una flora adaptada a la escasez de agua, con adaptaciones tales como eliminar sus hojas, convirtiéndolas en espinas, y a tener raíces muy profundas que alcanzan a utilizar los recursos acuíferos muy por debajo del nivel del suelo (plantas freatofitas).

### **2.1 Micorrizas**

Son varios los tipos de micorrizas que se distinguen actualmente, todos ellos basados en las características de la inoculación y de la especie vegetal con quien establece el mutualismo. Harley y Smith (1983) reconocen hasta siete tipos, pero a efectos prácticos se distinguen principalmente dos grandes tipos de micorrizas: ectomicorrizas y endomicorrizas.

Las ectomicorrizas forman un manto de varias capas de hifas alrededor de la raíz y las hifas penetran de manera intercelular en el córtex o epidermis de la raíz; las endomicorrizas desarrollan sus estructuras dentro de las células del córtex de la raíz o entre célula y célula de la raíz (Sánchez, 2005); dentro de este grupo están las micorrizas arbusculares, las cuales

toman este nombre debido a que forman unas estructuras llamadas arbusculos, que son los sitios de intercambio de nutrimentos entre ambos simbioses (Azcón, 2000; Mukerji *et al.*, 2000).

### **Hongos micorrizógenos arbusculares**

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) se caracterizan por presentar un crecimiento intra e intercelular en la corteza de la raíz y por formar dos tipos de estructuras, arbusculos y vesículas en la mayor parte de estos hongos (Quilambo, 2003). Los arbusculos son hifas que se dividen dicotómicamente; estas invaginan el plasmalema de las células corticales y presentan periodos de vida cortos (la vida media del arbusculo es de 9 a 15 días), mientras que las vesículas son estructuras de almacenamiento, las cuales contienen abundantes lípidos, que se forman en la parte terminal de las hifas (Azcón, 2000; Barker *et al.*, 1998). Los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* no producen vesículas, en lugar de ellas forman células auxiliares sobre el micelio externo (Peterson *et al.*, 2004). El crecimiento del hongo de manera asimbiótica se da entre una y dos semanas hasta que hace contacto con la raíz del hospedero, formando una estructura llamada apresorio por donde penetrarán las hifas a las células corticales de la raíz, para formar los arbusculos e incrementar el área de contacto entre la planta y el hongo (Bago *et al.*, 2000).

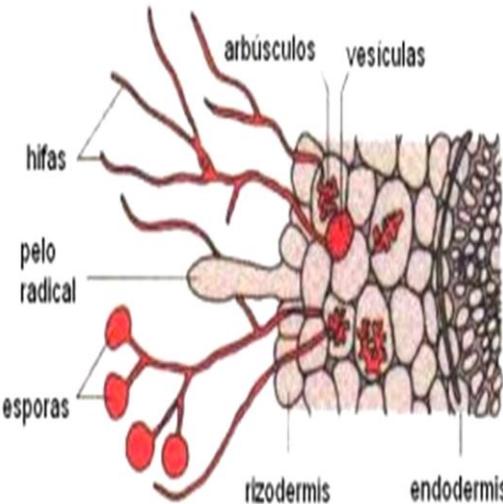
Las micorrizas arbusculares proporcionan diversos beneficios a las plantas entre los que se incluyen: incremento en la captación de fosforo, protección a las raíces contra organismos patógenos (nematodos y hongos), tolerancia a metales tóxicos, tolerancia a condiciones adversas de temperatura, salinidad alta, niveles altos o bajos de pH, mejor funcionalidad durante el trasplante, incremento en la microflora de la rizosfera y mayor

captación de nutrimentos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y zinc) y agua (Mukerji *et al.*, 2000)

### Estructuras de las Micorrizas Arbusculares

Los HMA son simbiontes obligados, incapaces de crecer y reproducirse aislados de la planta hospedera. Las características de las esporas se utilizan para identificar a los hongos; las estructuras básicas de los HMA se mencionan en la tabla uno.

**Tabla 1.** Estructuras principales de los hongos micorrízicos arbusculares.

Estructura	Figura
<p><b>Esporas.</b> Se forman sobre una o más hifas sustentoras en el suelo o en las raíces. Contienen lípidos, citoplasma y miles de núcleos (1000-3850). Desarrollan paredes densas con más de una y pueden funcionar como propágulos. Se forman cuando los nutrimentos disminuyen removiéndose de la raíz. Pueden formar estructuras de germinación (Sánchez, 2005; Smith y Read, 1997).</p> <p><b>Hifas.</b> Las hifas localizan más rápidamente los nutrimentos en el suelo que las raíces y se ramifican en abundantes hifas muy finas de absorción, al degradar sustratos orgánicos. Al incrementar su volumen en el suelo dejan disponibles diferentes compuestos de fósforo, el cual es absorbido y se deja a disposición de las raíces (Sánchez, 2005).</p> <p><b>Arbúsculos.</b> Son repetidas ramificaciones dicotómicas que inician con una hifa en forma de tronco y concluye en la proliferación de hifas muy finas; crecen en el interior de células individuales del cortex de la raíz, que se quedan en el exterior del citoplasma, sin penetrar la célula, produciendo una invaginación del plasma de la membrana. Son los sitios de mayor intercambio entre el hongo y el hospedero, su vida media es de 9-15 días (Sánchez, 2005; Smith y Read, 1997; Azcón, 2000).</p> <p><b>Vesículas.</b> Almacenan productos como lípidos y citoplasma, son estructuras globosas y se forman en la punta de las hifas (Sánchez, 2005).</p>	 <p>El diagrama ilustra la estructura de una micorriza arbuscular. Se muestran hifas ramificadas que penetran en las células del cortex de la raíz. Las hifas forman arbusculos dentro de las células y vesículas globosas en las puntas de algunas hifas. El pelo radical del hongo se extiende desde la rizodermis hacia el interior de la raíz. La estructura celular de la raíz muestra la rizodermis y la endodermis.</p>

## **Mecanismos y procesos de colonización**

El patrón general de colonización inicia con la germinación de las esporas cuando éstas se encuentran cerca de las raíces del hospedero. Al inicio se observa una pequeña hifa o tubo germinativo brotando de la espora. Los HMA exhiben una colonización primaria y secundaria. La primera se refiere a la colonización a partir de los propágulos presentes en el suelo; y la segunda, a la infección a partir de hifas de una simbiosis ya establecida que crecen en la superficie de la misma o diferente raíz. Una vez que el tubo germinativo se ha desarrollado, al establecer el contacto físico con la célula de la raíz, la hifa sufre un hinchamiento dando lugar a una estructura distintiva denominada apresorio, del cual se origina una hifa infectiva, el haustorio que se mueve intercelular e intracelularmente en los tejidos del hospedero. La hifa colonizadora que penetra la célula forma un complejo de haustorios denominado arbusculo, en particular en las células del parénquima, en la zona más interna de la corteza. Las hifas intercelulares que corren a lo largo de la raíz en el córtex central forman nuevos apresorios, dando lugar a la colonización secundaria. En este momento, en algunas especies de HMA se pueden observar estructuras de almacenamiento llamadas vesículas. Una micorriza completamente funcional es aquella en la cual el hongo penetra las células de la raíz del hospedero para formar arbusculos en los que se lleva a cabo el intercambio de fosfatos, carbohidratos y otros iones indispensables para el desarrollo de los hongos simbiotes. El intercambio de señales entre el hongo y la planta hospedera ocurre en tres zonas: en la rizósfera, en la zona de adhesión y dentro de la misma raíz (Espinosa, 2000).

## Clasificación de los HMA

Los HMA se ubican en el phylum Glomeromycota, dentro de la clase Glomeromycetes, y de acuerdo a Schüßler y Walker (2010), quienes han realizado la clasificación más reciente, mediante análisis filogenéticos, se han establecido 11 familias y 17 géneros (Tabla 2).

**Tabla 2.** Clasificación de los HMA con base en Schüßler y Walker (2010)

Reino Fungi	Orden	Familia	Género
Phylum Glomeromycota	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i> <i>Funneliformis</i> <i>Rhizophagus</i> <i>Sclerocystis</i>
Clase Glomeromycetes		Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglomus</i>
	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i> <i>Scutellospora</i> <i>Racocetra</i>
		Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
		Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>
		Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
		Diversisporaceae	<i>Diversispora</i> <i>Otospora</i>
	Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>
	Archaeosporales	Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
		Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>
		Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>

### **Consortios de HMA asociados a raíces de las plantas**

Los hongos micorrizógenos arbusculares asociados a las raíces de las plantas forman un consorcio de especies de hongos que simbióticamente interactúan entre sí, así como con la planta hospedera y con otros componentes de la rizósfera, teniendo como resultado el aumento de la supervivencia y competitividad de los fitobiontes. La composición, actividades e interacciones de los hongos puede ser regulada por la planta hospedera y por los miembros del consorcio de hongos en respuesta a los factores bióticos y abióticos. También se ha determinado que cada especie de HMA que forma parte de un consorcio micorrízico puede tener diferente función en la planta hospedera y que la diversidad de las comunidades de HMA del suelo tiene el potencial para determinar la estructura vegetal de la comunidad. De esta manera, suelo, planta y ambiente afectan la función y distribución de los HMA, en tiempo y espacio (Hernández *et al.*, 2008; Porras *et al.*, 2008; Sanders, 2003; Trejo *et al.*, 2011; Van der Heijden *et al.*, 1998b).

Las respuestas complejas a pequeña escala, la heterogeneidad espacial y los cambios en el ambiente, son las condiciones en que los consorcios de hongos asociados a las raíces de la planta y a otras estructuras con la misma función, pueden actuar para asegurar la supervivencia y maximizar los beneficios de la asociación simbiótica HMA-planta.

## 2.2 Especies vegetales

### *Agave lechuguilla* Torrey

Perteneciente a la familia Agavaceae, es conocido con los nombres comunes de maguey del cerro o pita, se distribuye desde Texas y Nuevo México, hasta Querétaro, Hidalgo y Guanajuato (Gentry, 1982; Reyes *et al.*, 2000).



Figura 1. *Agave lechuguilla*.

### Características morfológicas

*Agave lechuguilla* (figura 1), es un arbusto rosetófilo, con 11 a 30 hojas en promedio, con una altura aproximada de 50 a 70 cm de altura. Las hojas jóvenes son verdes-blanquecinas o verde azuladas. Las hojas maduras miden entre 25 y 50 cm de alto y 2.5 a 6 cm de ancho de color verde claro a amarillo verdoso presentando de 8 a 20 espinas por lado. La inflorescencia es un escapo espigado de 2.5 a 6 m de alto. El fruto es castaño a negro, capsular de 1.5 a 2.5 cm de longitud (Gentry, 1982; Reyes *et al.*, 2000; Silva y Eguiarte, 2003).

### Impacto e importancia

Esta especie tiene las mayores densidades en América del Norte, donde llega a ser dominante fisonómico del matorral desértico rosetófilo, su productividad es superior a la media de las especies de su ambiente, también se conoce que conforme cambia la latitud de su distribución, cambia el patrón en cuanto a la forma y color de su flor, y fructificación; sus principales polinizadores son las mariposas nocturnas (*Hyles lineata*) y en el día las abejas grandes: *Bombus pennsylvanicus* y *Xylocopa californica*, son sus visitantes regulares (Reyes *et al.*, 2000; Silva y Eguiarte, 2003). Dentro de sus principales usos esta la

obtención de fibras (ixtle) utilizado en la fabricación de cepillos, en construcción, jarcería, cestería, etc., contiene compuestos bioactivos: saponinas, la esmilgenina, un precursor esterooidal, para la elaboración de cortisona (Hernández *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2000).

### ***Agave salmiana* Otto**

De la familia Agavaceae, llamado comúnmente maguey manso, agave pulquero o de montaña. Se distribuye en el Altiplano Potosino-Zacatecano, Hidalgo, Estado de México, Puebla y Tlaxcala (Rzedowski, 1978).

### **Características morfológicas**

*Agave salmiana* (figura 2) es una especie robusta, monocotiledónea, mediana a grande, presenta un tallo pequeño a grueso, con raíz fibrosa revestida de escamas, forma rosetas de 1.5-2 metros de alto, son carnosas y macizas, verdes a grisáceas; con abundantes espinas marginales. La longitud de las hojas es según las variedades; la inflorescencia es paniculada, robusta de 6 a 8 metros de altura. Las flores son hermafroditas; el fruto es una cápsula oblonga y las semillas son negras, triangulares (Granados, 1993; Martínez del Río y Eguiarte, 1987).



**Figura 2.** *Agave salmiana*.

### **Impacto e importancia**

Alcanza su madurez reproductiva a los 8 años, los polinizadores son principalmente nocturnos, entre ellos los murciélagos. En el Valle de México, el cultivo de maguey se dedica principalmente a la producción de pulque. Los principales estados productores de agaves pulqueros son Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala. Alrededor de 100 000 familias

dependen económicamente de este recurso, que genera ingresos de 1 500 millones de pesos anuales (Gómez y Morales, 2005; José y García, 2000; Rodríguez *et al.*, 2007).

### ***Jatropha dioica* Moc. et Sessé**

*Jatropha dioica* (figura 3) pertenece a la familia Euphorbiaceae y entre los nombres comunes están: sangre de grado, sangregado, abrojo rojo. En el Desierto Chihuahuense es una especie que forma poblaciones subdominante o dominante dependiendo de la altitud en la que se ubique (González y Sosa, 2003).



**Figura 3. *Jatropha dioica*.**

### **Características generales**

Subarbusto con tallos carnosos, flexibles; raíz delgada, leñosa y con látex rojizo. Se encuentra principalmente en matorrales xerófilos, del noreste hasta el centro del país; en un amplio rango altitudinal, desde los 5 hasta los 2 800 m (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

### **Impacto e Importancia**

Tiene los siguientes usos: contra la caída del cabello, en baños cuando hay debilidad, dolor de riñones, y problemas con la digestión. Esta planta se considera de naturaleza fresca (Manzanero *et al.*, 2009). En la zona noreste de México los extractos de esta planta han sido utilizados para el dolor de muelas y el cáncer de piel.

### ***Karwinskia humboldtiana* Roem. y Schult.**

El género *Karwinskia* perteneciente a la familia Rhamnaceae, incluye 15 especies de árboles y arbustos; a *Karwinskia humboldtiana* (figura 4) se le conoce comúnmente como caracochila, cachila, capulincillo, coyotillo, frutillo negro, tullidora, entre otros (Fernández, 1992). Su hábitat natural se extiende del sur de los Estados Unidos de América a México, Centroamérica, norte de Colombia, Cuba, Haití y República Dominicana. En México se encuentran 10 de estas especies, en su mayoría consideradas tóxicas (Fernández, 1992). En México la mayor concentración de individuos se localiza en el norte y centro del país, principalmente en San Luis Potosí y Querétaro, disminuyendo su población hacia el sur (Tapia *et al.*, 2002).



**Figura 4. *Karwinskia humboldtiana***

### **Características morfológicas**

Entre sus características principales destacan: flor con sépalos glabros, las hojas presentan el envés glabro y con motas negras sobre las nervaduras secundarias (Fernández, 1992). De acuerdo con Tapia *et al.* (2002), reporta que su número cromosómico es diploide ( $2n=24$ ). La mayoría de los estudios sobre esta especie se han centrado en sus propiedades tóxicas.

### **Impacto e importancia**

La pulpa del fruto es comestible, pero las semillas son tóxicas. En Linares, Nuevo León, se emplea la tintura como anticonvulsiva contra el tétano; la infusión, hecha con las hojas, se utiliza para lavar heridas infectadas. La corteza es utilizada como laxativo en las zonas

áridas de México. Una infusión hecha del cocimiento de hojas y raíces retenida en la boca sirve como remedio contra la neuralgia y el dolor de muelas (Fernández, 1992).

### ***Mimosa lacerata* Rose**

El género *Mimosa* L. pertenece a la familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae y se ubica en la tribu Mimoseae, está constituido por alrededor de 650 géneros y 18,000 especies. México es considerado como el segundo centro de distribución de *Mimosa* después de Brasil, ya que cuenta con alrededor del 22% de las especies del género, conocidas a nivel mundial; de ellas, 60 (55%) son endémicas para el país (Grether *et al.*, 1996). *Mimosa lacerata* (figura 5) se le conoce comúnmente como garabato, mezquite, tecolhuistle y uña de gato (Camargo *et al.*, 2001). De acuerdo a Grether *et al.* (1996) y Camargo *et al.* (2001) reporta que es una especie endémica de México; se encuentra en los estados de Guerrero, Jalisco, Hidalgo, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.



**Figura 5. *Mimosa lacerata***

### **Características morfológicas**

Arbustos o árboles 0.6-5.0 m alto. Ramas jóvenes ligeramente acostilladas, pardo-rojizas, glabras a puberulentas; ramas maduras teretes, grisáceas, con aguijones rectos a recurvados, muy anchos en la base, infraestipulares, generalmente pareados. Hojas con estípulas (1.5-) 2.0-5.0 mm de largo, lineares a oblanceoladas, glabras a puberulentas o pubescentes, margen pubescente; pecíolos 0.4-0.9 (-1.5) cm de largo, puberulentos a tomentulosos, inermes; pinnas (2-)4-9(-10) pares; folíolos 8-18 pares por pinna, (2.2-)2.5-

6.0(-8.0) mm de largo, (0.5-)0.7-1.5(-2.0) mm de ancho, oblicuamente linear-oblongos a oblongos, ápice agudo, margen ciliado, haz glabra, envés glabro a puberulento con nervaduras reticuladas. Capítulos solitarios y en fascículos de 2-3, con 55-82 flores, 1.0-1.9 cm diámetro; pedúnculos 1.2-2.0 (-2.5) cm de largo, brácteas 0.8-1.3 mm largo, espatuladas, tomentosas, con puntos resinosos rojizos, margen tomentoso. Flores bisexuales, sésiles; cáliz 0.5-1.0 mm de largo, campanulado, 4-lobado, pubescente a tomentoso, margen ciliado; corola 2.5-3.2 mm largo, 4-lobada, rosada a púrpura, lóbulos pubescentes, lóbulos libres en 1/5-1/3 de la longitud de la corola; estambres 8, filamentos libres, rosados a púrpura; ovario cortamente estipitado, pubescente, estilo atenuado en el ápice. Legumbres 1-13 por capítulo, estipitadas, estípite (1.5-)2.0-5.3(-6.0) mm largo; valvas (2.3-) 3.4-5.0(-5.3) cm de largo, (0.4-)0.5-1.0(-1.1) cm de ancho, rectas, ápice apiculado, mucronato a cuspidado, no comprimidas entre las semillas, no divididas en artejos, pardo-rojizas a pardo oscuro, glabras con puntos resinosos rojizos, margen anchamente lacerado, con nervaduras reticuladas prominentes; semillas 3.2-3.9 mm de largo, (2.7-)2.8-3.4 mm de ancho, 1.1-1.5(-1.6) mm grosor, lenticulares, testa lisa a porosa, pardo oscuro, pleurograma 30% de extensión (Grether *et al.*, 2006).

### **Impacto e importancia**

Desde el punto de vista ecológico, se sabe que las leguminosas son elementos importantes en sitios perturbados y en terrenos agrícolas en descanso o abandonados, debido a su capacidad de crecer en suelos pobres de nitrógeno. El género *Mimosa* puede ser considerado como un grupo funcional importante debido al desarrollo de nódulos fijadores de nitrógeno en sus raíces al asociarse con bacterias del género *Rhizobium*, lo que les da la capacidad de enriquecer el suelo (Camargo *et al.*, 2001). También se caracteriza por que en

la época de floración generalmente no presenta follaje, florece y fructifica de abril a noviembre (Grether *et al.*, 2006).

Los usos que se le dan a las especies de *Mimosa* son distintos, entre los que destacan: como cerca viva, combustible (leña o carbón), comestible, forraje para ganado caprino y ovino, material para construcción, medicinal, melífera, ornamental, peletería por el alto contenido de taninos principalmente en la corteza y como implemento agrícola (Grether *et al.*, 2006).

### ***Yucca filifera* Chabaud**

De la familia Agavaceae y conocida con los nombres comunes de palma china, izote yucca, palma corriente, así como mají o bají en lengua otomí en Ixmiquilpan, Hidalgo. *Yucca filifera* (figura 6) es una especie ampliamente distribuida en las zonas semiáridas del centro y norte de México (Rentería y Cantú, 2003). Las mayores densidades se localizan en dos zonas, una en el Municipio de Salinas Victoria, Nuevo León, y la otra en Guadalcázar, San Luis Potosí presentando hasta más de 300 plantas por ha. Habita en planicies, en altitudes de 500 a 2400 m. Forma parte del estrato arbóreo principalmente en el Matorral Desértico (Guillot y Piet Van der Meer, 2008).



**Figura 6.** *Yucca filifera*

### **Características morfológicas**

Es una planta arborescente, hasta más de 10 m de altura, ramificada. Hojas de hasta 55 cm de largo por 3.6 cm de ancho, generalmente ásperas en ambas superficies, con

filamentos espiralados de color blanco, fácilmente quebradizos. Fruto colgante, oblongo, semillas rugosas.

### **Impacto e importancia**

La floración ocurre en los meses de mayo a julio, Rentería y Cantú (2003) reporta que *Y. filifera* es polinizada por la palomilla *Tegeticula yuccasella*, contribuyendo en un 76% en la polinización de la planta. Las fibras de las hojas son empleadas en jarcería y cordelería, las flores y frutos son comestibles. En cuanto a usos medicinales se refiere, se utiliza para el dolor de muelas y dientes (Guillot y Piet Van der Meer, 2008).

En trabajos previos se ha reportado que las especies *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa* sp. son capaces de formar micorrizas con los HMA (García *et al.*, 2008; Chimal, 2010), sin embargo, se desconoce con que especies de hongos micorrizógenos arbusculares forma la simbiosis, generalmente se asume que los HMA presentes en la rizósfera de las plantas son los mismos que forman la micorriza, en el invernadero de la FES Zaragoza existe un lote de estas plantas que fueron micorrizadas previamente con los HMA provenientes de suelos de matorrales xerófilos, en la presente investigación se trabajó con estas plantas.

### III. JUSTIFICACIÓN

En las zonas áridas y semiáridas, la actividad biológica, su biodiversidad y distribución se ve restringida por factores climáticos (temperatura, humedad, precipitación, etc.), así como las condiciones edáficas (disponibilidad de nutrimentos). De este modo los análisis de las comunidades de hongos arbusculares son importantes para entender el papel ecológico de la micorriza en el mantenimiento de la estructura en una comunidad vegetal y de la producción de los ecosistemas en las regiones áridas (Van der Heijden *et al.*, 1998b; Porras *et al.*, 2008).

Los HMA influyen de manera diferente en las plantas, dando origen a que existan consorcios de hongos con diferente potencial, que favorezcan más a determinada especie en comparación con otros consorcios, de forma que la planta al crecer en un suelo natural donde existen diferentes especies de HMA, serán capaces de interactuar y conformar los consorcios con quienes formen simbiosis exitosas, de manera que disminuya la competencia entre las plantas por los HMA y se forme una red de interacciones.

Conocer los consorcios de los HMA seleccionados por las diferentes especies vegetales del matorral xerófilo, permitirá determinar si es una estrategia para disminuir la competencia; además este conocimiento es de vital importancia para las especies potencialmente útiles en programas de restauración ecológica. En este trabajo se eligieron las siguientes especies del matorral xerófilo: *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa lacerata* y *Yucca filifera*, especies que tienen un alto valor ecológico, así como diversos usos e importancia económica en los matorrales del centro de México.

#### **IV. HIPOTESIS**

Los HMA forman asociaciones con más del 80% de las plantas, por lo cual a partir de plantas previamente micorrizadas de las especies de *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa lacerata* y *Yucca filifera*, se obtendrán las esporas de los HMA con quienes formaron la micorriza, lo que permitirá identificar los consorcios funcionalmente activos en cada una de las especies vegetales.

## V. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo General:

Determinar los consorcios de HMA que colonizan a las especies arbustivas *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa lacerata* y *Yucca filifera*.

### 5.2 Objetivos específicos:

- ❖ Evaluar la colonización micorrízica de seis especies arbustivas propagadas previamente en condiciones de invernadero con los HMA provenientes de suelo natural de matorral xerófilo.
- ❖ Masificar los HMA que micorrizan a las especies de interés, mediante el uso de plantas trampa frijol (*Phaseolus vulgaris*) y jitomate (*Lycopersicum esculentum*) en sustrato estéril.
- ❖ Determinar taxonómicamente los consorcios de HMA asociados a las especies arbustivas en estudio.
- ❖ Determinar la riqueza y diversidad de los consorcios de HMA asociados a las especies arbustivas en estudio.

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Trabajo en invernadero

El trabajo se llevó a cabo en el invernadero de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza *Campus II*, de la UNAM.

Se utilizaron seis especies arbustivas de importancia ecológica del matorral xerófilo: *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Mimosa lacerata* y *Yucca filifera*; las plantas de estas especies pertenecían a varios lotes que habían sido previamente micorrizadas en el invernadero, y se encontraban creciendo con una mezcla de sustrato inerte y suelo natural de matorral xerófilo del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo.

La obtención de los HMA que estaban colonizando las raíces de las plantas se realizó de la siguiente manera:

- Cinco plantas de cada especie fueron extraídas de sus macetas y se trasplantaron a nuevas unidades experimentales, que consistieron en macetas lavadas y desinfectadas previamente.
- Antes de realizar el trasplante, se tomaron muestras de raíces de cada individuo y 100 g de suelo rizosférico de estas plantas, con el fin de evaluar el porcentaje de colonización micorrízica y la densidad de esporas, para conocer las especies de HMA que se encontraban en la rizósfera en el momento previo al inicio de este experimento, y antes de pasarlas a una nueva unidad experimental.

- Las raíces se fijaron en alcohol al 50% y el suelo se guardó en bolsas y en refrigeración para su posterior evaluación, ambas muestras fueron etiquetadas con la descripción de su procedencia.
- En las nuevas unidades experimentales, se utilizó un sustrato formado con suelo colectado en el matorral de Santiago de Anaya, Hidalgo y arena sílica (comercial) en una proporción de 1:3 (v/v), el cual se esterilizó en una autoclave durante dos horas a 1.5 lbs. de presión y 120 °C.
- Se utilizó aproximadamente un kilo del sustrato esterilizado previamente, para cada maceta, en las cuales se trasplantaron las especies vegetales conformando un total de 30 unidades experimentales (cinco individuos por cada especie). Terminado el trasplante, se colocó alrededor de la planta dos semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y 10 semillas de jitomate (*Lycopersicon esculentum*), mismas que fungieron como plantas trampa, estas especies son de rápido crecimiento y ciclo vegetativo corto, además desarrollan un sistema radical amplio y presentan follaje con poca cobertura (Ferrera *et al.*, 1993).
- Los lotes se mantuvieron durante cuatro meses, y fueron regados a capacidad de campo cada tercer día para el óptimo crecimiento de las plantas trampa.
- Transcurridos los cuatro meses se tomaron muestras de raíces de las plantas trampa, con el fin de obtener el porcentaje de colonización micorrízica, posteriormente se dejaron secar las plantas trampa de las unidades experimentales durante tres semanas, a fin de favorecer la formación de esporas de los HMA. De cada maceta se tomaron muestras de 100 g de suelo para evaluar la densidad de esporas y se elaboraron preparaciones que permitieron su determinación taxonómica.

## **6.2 Trabajo en laboratorio**

### **6.2.1 Densidad de esporas de HMA en la rizósfera**

La extracción de esporas de HMA, se realizó utilizando la técnica de decantación y tamizado de Gerdemann y Nicolson (1963), seguido de una centrifugación con sacarosa al 50%. La técnica consistió en pesar 100 g de suelo seco, mismo que se colocó en un vaso, al cual se le adicionó agua para realizar una agitación mecánica (agitador marca Oster) durante 5 minutos, posteriormente se decantó el sobrenadante en una serie de tamices (de mayor a menor 1000  $\mu$ , 100  $\mu$  y 44  $\mu$ ), dos veces para recuperar el máximo de esporas; la fracción obtenida en el tamiz de 44  $\mu$  se coló en tubos para centrifugarlos con agua a 2000 rpm por 6 minutos, se eliminó el sobrenadante de cada tubo (esporas muertas y restos de materia orgánica) y se le adicionó a cada tubo una solución de sacarosa al 50%, posteriormente se centrifugó a 1000 rpm durante 3 minutos, al terminar se decantó la solución de cada tubo en un tamiz de 44  $\mu$  (donde se encontraban las esporas viables de HMA). Se lavó la muestra con abundante agua para eliminar el exceso de azúcar y se colocó en una caja Petri con agua destilada; con la ayuda de un estereoscopio de disección se realizó el conteo y selección de esporas de HMA, agrupándolas de acuerdo a su morfología como son: forma, color, tamaño, presencia o ausencia de hifa, etc.

Con las esporas aisladas y seleccionadas se prepararon laminillas permanentes, para ello se colocaron todas las esporas extraídas en un portaobjetos, se instalaron la mitad de las esporas en una solución de alcohol polivinílico, ácido láctico y glicerol (PVLG) con el fin de fijarlas y observarlas sin cambios en sus características morfológicas, a la otra parte se le adicionó PVLG más Melzer proporción 1:1. El reactivo de Melzer se utilizó para observar la reacción de la pared de las esporas y determinar, con ayuda de un microscopio óptico, el

número de capas que conforma la pared, estructuras como escudos de germinación y otros elementos adicionales que permitieron su determinación taxonómica.

Para la determinación taxonómica se utilizó las descripciones de especies de HMA que se encuentran disponibles en los sitios web: <http://invam.caf.wvu.edu/>, <http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/> y <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/>; el tamaño de las esporas, hifas y grosor de la pared se midió utilizando el software AxioVision Versión 4.8.0.0.

## **6.2.2 Colonización micorrízica arbuscular**

La evaluación de la colonización micorrízica arbuscular de cada una de las especies en estudio se realizó por medio de la técnica de tinción con azul tripano, propuesta por Phillips y Hayman (1970). Se tomó una fracción de raíz de cada individuo por especie vegetal, se lavó con agua de la llave en un tamiz de 44  $\mu$  para eliminar restos de suelo adherido; se colocó la raíz de cada planta en un recipiente con hidróxido de potasio (KOH) al 10% durante 24 hrs a temperatura ambiente, posteriormente se lavó con agua destilada para eliminar el KOH, se le adicionó peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 10% para aclarar la raíz durante 3 minutos, se enjuagaron con agua destilada y cubrieron con ácido clorhídrico al 10% durante 5 minutos, después se eliminó el ácido y sin enjuagar se le adicionó azul de tripano al 0.05% hasta cubrir las raíces para su tinción durante 24 hrs. Posteriormente el exceso de colorante se eliminó.

### 6.2.3 Montaje de raíces y conteo de colonización

Las raíces teñidas se cortaron en aproximadamente 1.5 cm de longitud y se tomaron 20 segmentos al azar, en forma paralela, adicionándoles unas gotas de lactoglicerol, por último se colocaron en un cubreobjetos largo y se sellaron con esmalte. Para cada laminilla se realizó un duplicado. Se efectuó la observación en un microscopio óptico en donde se ubicaron las estructuras típicas de los HMA como hifas, vesículas o arbuscúlos. El porcentaje de colonización total y fraccionada se calculó de la siguiente forma:

$$\% \text{ colonización total} = \frac{\# \text{ de segmentos colonizados}}{\# \text{ de segmentos totales observados}}$$

$$\% \text{ colonización por vesículas} = \frac{\# \text{ de segmentos colonizados por vesícula}}{\# \text{ de segmentos totales observados}}$$

$$\% \text{ colonización por arbuscúlos} = \frac{\# \text{ de segmentos colonizados por arbuscúlos}}{\# \text{ de segmentos totales observados}}$$

### 6.2.4. Evaluación de la masificación de HMA

Transcurridos los cuatro meses a partir del trasplante, se tomaron las muestras de raíz de las plantas trampa, de cada unidad experimental, y se realizó la evaluación del porcentaje de colonización micorrízica de acuerdo a la técnica de Phillips y Hayman (1970). Posteriormente, las plantas trampa fueron sometidas a estrés hídrico (privación de agua) durante tres semanas, para inducir la esporulación de los HMA y se evaluó la densidad de esporas y su determinación taxonómica (siguiendo la técnica arriba citada).

### 6.3 Análisis de datos

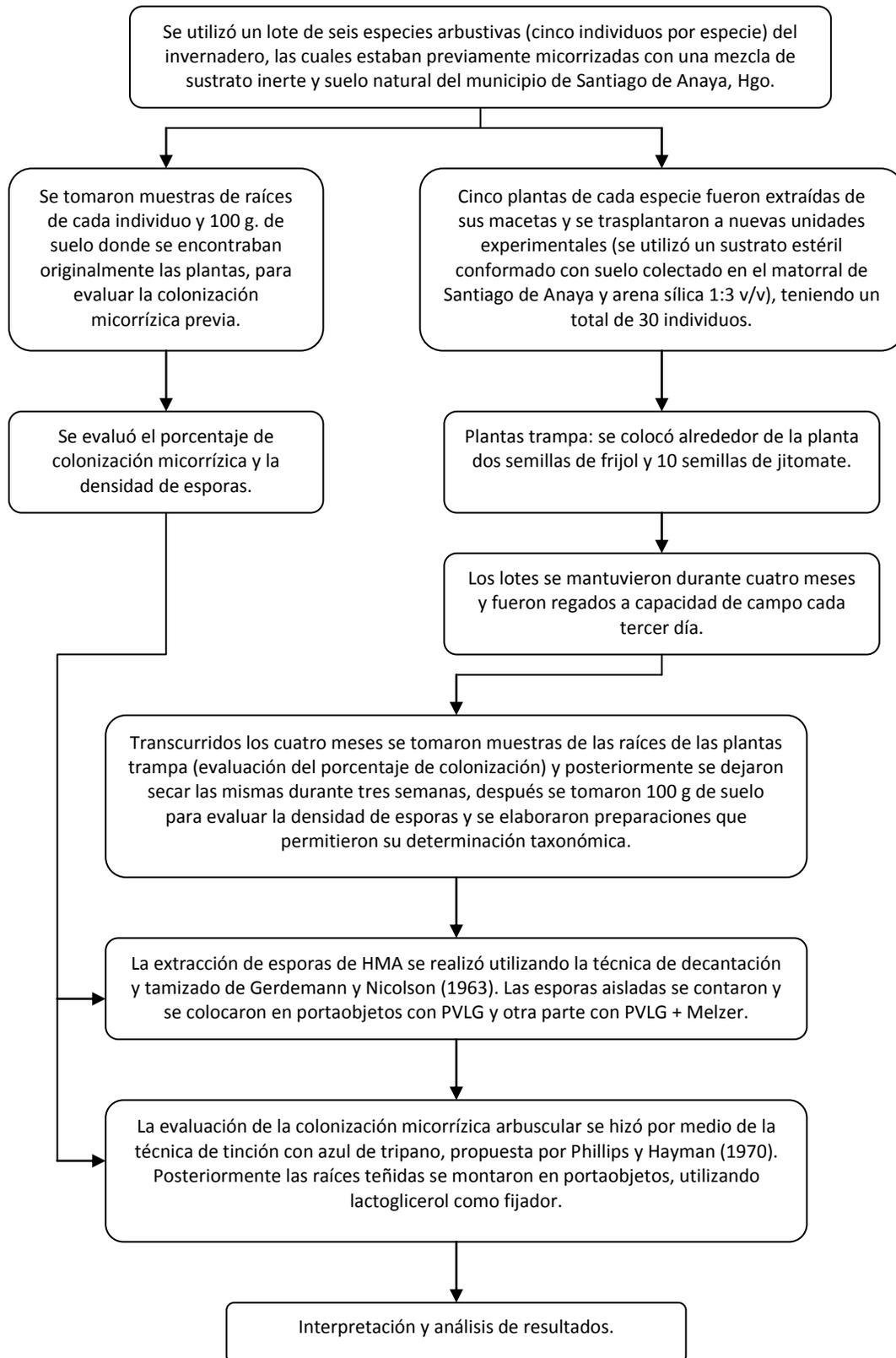
Las medidas para describir la estructura de la comunidad de HMA incluyen: densidad de esporas e índice de diversidad, utilizando el de Shannon-Wiener (Molles, 1999). Las medidas fueron las siguientes:

$$\text{Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')}: H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

En donde S es el número de especies (riqueza de especies),  $P_i$  es la abundancia relativa de cada especie y es calculado por la siguiente fórmula:  $P_i = n_i/N$ , donde  $n_i$  es el número de esporas en una especie y N es el número total de esporas.

También se aplicó un análisis estadístico, utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los datos de porcentaje de colonización micorrízica y densidad de esporas se vaciaron en una tabla de Microsoft Excel ® y transferidos hacia el programa estadístico InfoStat versión 2013.

## 6.4 Diagrama de la metodología



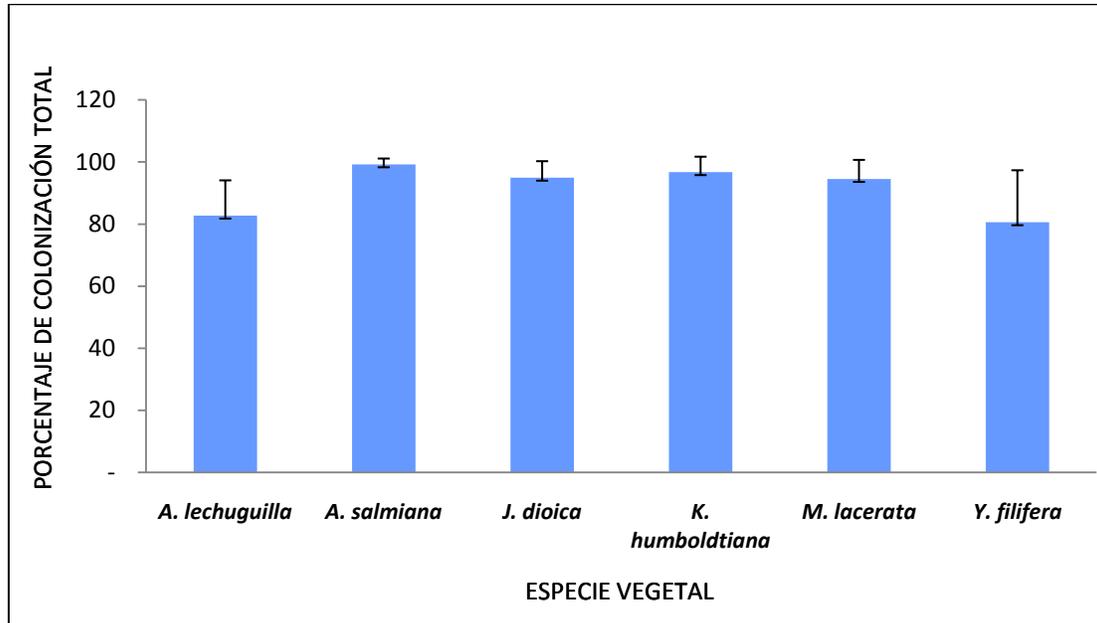
## VII. RESULTADOS

### 7.1 Colonización micorrízica radical de las especies estudiadas

Todas las especies vegetales en estudio presentaron colonización micorrízica a partir de su siembra en suelo natural, como se muestra en la tabla 3. La micorrización radical tuvo un promedio de más del 80%; *Agave salmiana* fue la especie que mostró los valores de colonización por hifas y vesículas más altos, sin embargo la presencia de arbuscúlos fue baja, en cambio la especie *Yucca filifera* presentó la menor colonización radical (80.5%), pero el valor más alto en la presencia de arbuscúlos, lo cual sugiere que fue la especie en donde mayor intercambio y actividad simbiótica se llevó a cabo. La especie *Jatropha dioica* no presentó arbuscúlos a pesar de tener un porcentaje de colonización micorrízica del 94.9%, *Karwinskia humboldtiana* fue la planta que más estructuras de reserva poseía, con un 77% de vesículas.

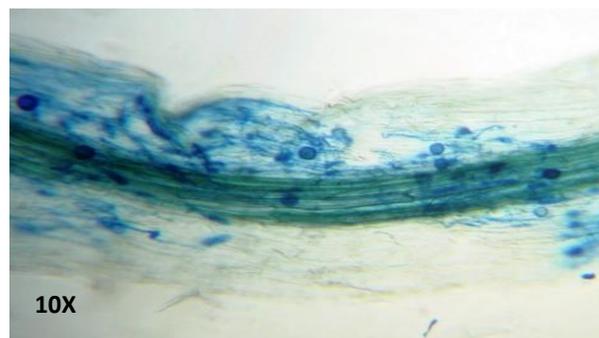
**Tabla 3.** Porcentaje de colonización radical total y fraccionada de las especies estudiadas.

<b>Especie</b>	<b>Total</b>	<b>Micelio</b>	<b>Vesículas</b>	<b>Arbuscúlos</b>
<i>A. lechuguilla</i>	82.74	81.82	25.86	1.21
<i>A. salmiana</i>	99.26	99.26	64.52	0.33
<i>J. dioica</i>	94.95	94.17	43.86	0
<i>K. humboldtiana</i>	96.74	96.41	77.52	0.62
<i>M. lacerata</i>	94.55	94.26	60.26	1.30
<i>Y. filifera</i>	80.59	80.59	46.26	33.56



**Figura 7.** Porcentaje de colonización radical en las especies vegetales estudiadas. Las líneas indican desviaciones estándar.

La figura 7 muestra los porcentajes de colonización radical, la cual fue similar entre todas las especies, fue *A. lechuguilla* y *Y. filifera* las especies que más variación presentaron, teniendo los índices más bajos (82% para la primera y 80% la segunda). En la figura 8 se puede observar la presencia de micelio y vesículas en raíces de *A. salmiana*.



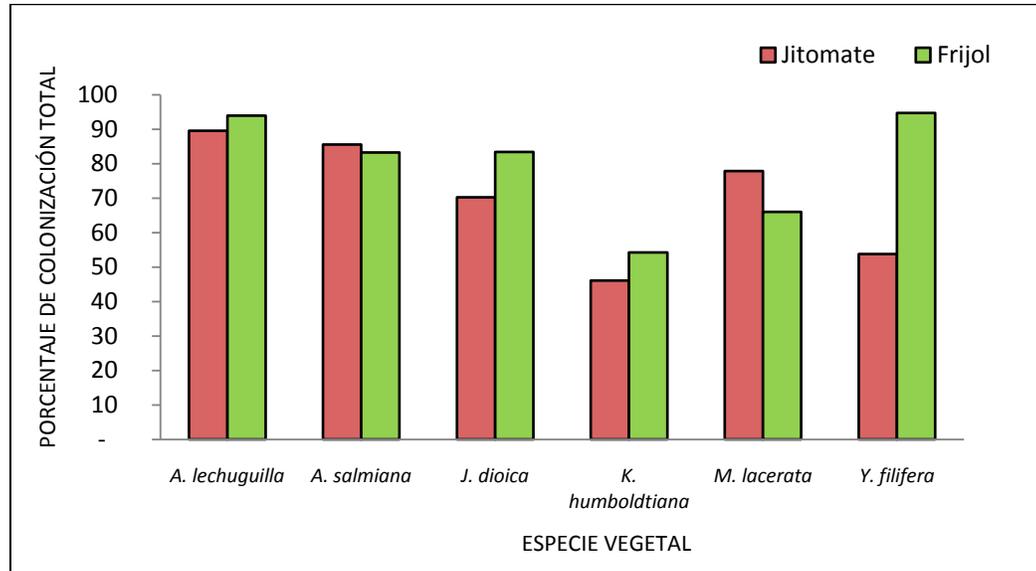
**Figura 8.** Colonización micorrízica de *A. salmiana*, especie con el porcentaje de colonización micorrízica más alto.

## 7.2 Masificación de los HMA con especies trampa

Los resultados expuestos en la tabla 4 muestran que la masificación de los HMA con las especies trampa fue positiva en cuanto a la colonización de HMA en las raíces. El frijol fue la especie que presentó los valores más altos, con más del 90% en las unidades experimentales en *A. lechuguilla* y *Y. filifera*, en cambio con la planta trampa jitomate los valores más altos llegaron al 89.56% en macetas con *A. lechuguilla*. Cabe resaltar que *K. humboldtiana* mostró los valores más bajos tanto en frijol (46%) como en jitomate (54%).

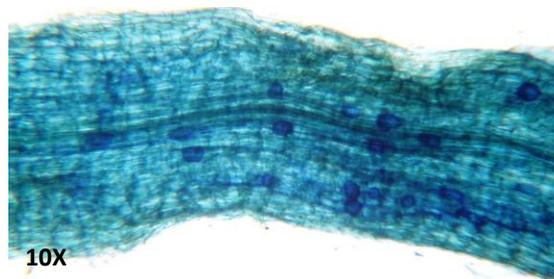
**Tabla 4.** Porcentaje de colonización micorrízica con la masificación de las especies trampa.

<b>Especie</b>	<b>Total</b>	<b>Micelio</b>	<b>Vesículas</b>	<b>Arbúsculos</b>
<b>Jitomate</b>				
<i>A. lechuguilla</i>	89.56	89.56	12.78	1.25
<i>A. salmiana</i>	85.57	85.57	16.96	8.96
<i>J. dioica</i>	70.22	70.22	3.99	11.41
<i>K. humboldtiana</i>	46.09	46.09	6.95	0.37
<i>M. lacerata</i>	77.85	77.85	26.12	1.33
<i>Y. filifera</i>	53.76	53.76	24.05	-
<b>Frijol</b>				
<i>A. lechuguilla</i>	93.92	93.92	31.98	7.23
<i>A. salmiana</i>	83.25	83.25	20.99	7.38
<i>J. dioica</i>	83.42	83.42	30.08	1.11
<i>K. humboldtiana</i>	54.20	54.20	8.18	-
<i>M. lacerata</i>	66.00	66.00	12.69	2.26
<i>Y. filifera</i>	94.66	94.66	34.36	3.99



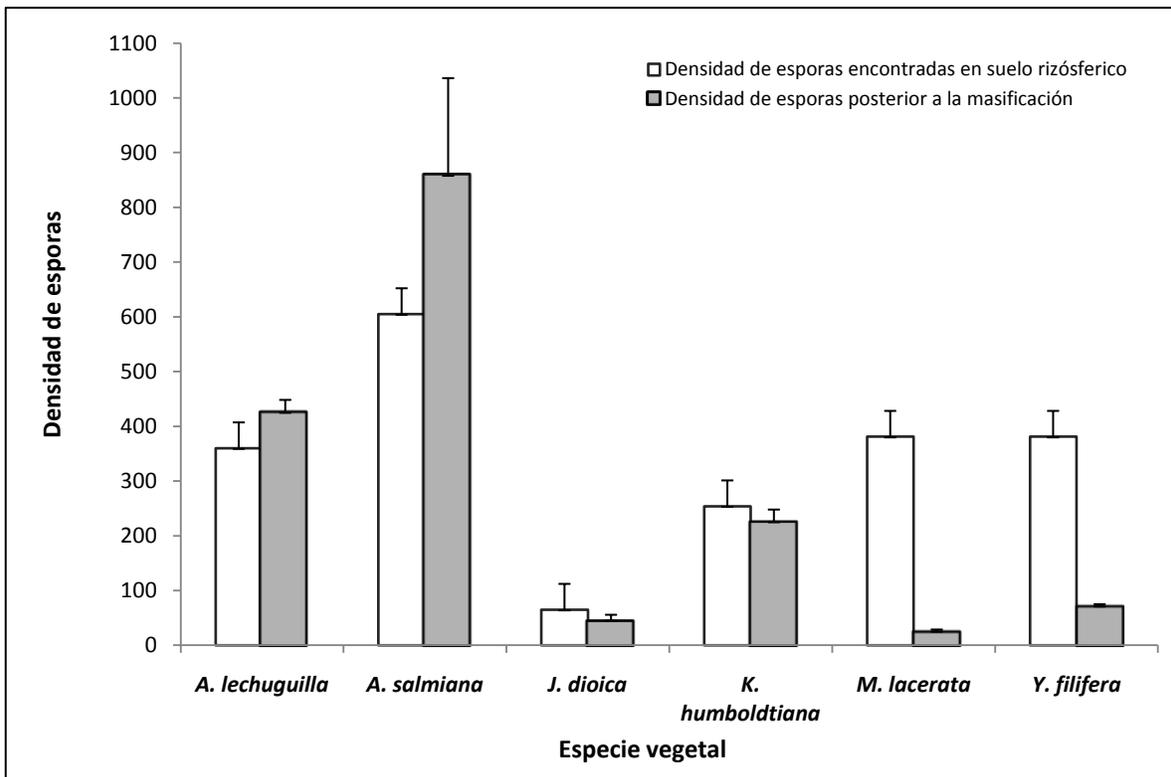
**Figura 9.** Porcentaje de colonización micorrízica total en las especies trampa.

La colonización micorrízica total con las especies trampa se observa en la figura nueve, donde se analiza que la colonización micorrízica con jitomate tuvo mayor efectividad en *A. salmiana* y *M. lacerata*, en cambio la colonización con frijol fue mayor en el resto de las plantas.



**Figura 10.** Colonización micorrízica en raíz de jitomate.

En la figura 10 se pueden apreciar las vesículas en la raíz del jitomate, por lo tanto la simbiosis con HMA fue factible en las especies trampa.



**Figura 11.** Densidad de esporas de la rizósfera en cada especie vegetal antes y después de la masificación. Las líneas arriba de las barras representan la desviación estándar.

En la figura 11, se observa la densidad de esporas que se tenía en el suelo rizósferico donde se encontraban inicialmente las especies vegetales, posteriormente después de haber llevado a cabo la masificación con las especies trampas, se obtuvieron los consorcios de HMA con los que la planta realmente formó simbiosis, y aunque el número de esporas fue menor que las obtenidas en el suelo rizósferico, muestra de manera general la presencia de esporas realmente funcionales. *A. salmiana* fue la especie con mayor densidad de esporas antes y después de la masificación, y *J. dioica* la que tuvo la menor densidad, así también *M. lacerata* tuvo una densidad abundante antes del trasplante, pero posterior a este su densidad disminuyó drásticamente.

### 7.3 Consorcios de HMA asociados a las especies vegetales

Las esporas obtenidas en los cultivos trampa fueron revisadas para su determinación taxonómica, se agruparon por tamaño, color, presencia y forma de la hifa, así como las capas que conforman la pared celular. Se identificaron seis especies, cinco géneros, cuatro familias y dos órdenes (Tabla 5). Las esporas de HMA, obtenidas posterior a la masificación por especie vegetal, se muestran en las figuras 12 a la 17.

**Tabla 5.** Ubicación taxonómica de los Hongos micorrizógenos arbusculares encontrados.

Orden	Familia	Género	Especie
<b>Glomerales</b>	Claroideoglomeraceae	<i>Claroideogloimus</i>	<i>etunicatum</i> W.N. Becker & Gerd.
	Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>mosseae</i> T.H. Nicolson & Gerd.
		<i>Rhizophagus</i>	<i>fasciculatus</i> (Gerd. & Trappe) Walker & Koske
		<i>Rhizophagus</i>	<i>intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.
<b>Diversisporales</b>	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>	<i>spurca</i> (C.M. Pfeiff.) C. Walker & Bloss
	Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>	sp.



**Figura 12.** *Claroideogloimus* aff. *etunicatum*.

*Claroideogloimus* aff. *etunicatum*, fue la única especie de HMA encontrada en *K. humboldtiana*. Las esporas encontradas fueron de color crema pálido, y de acuerdo al INVAM, eran esporas jóvenes, así también presentaba dos capas y eran de forma globosa.



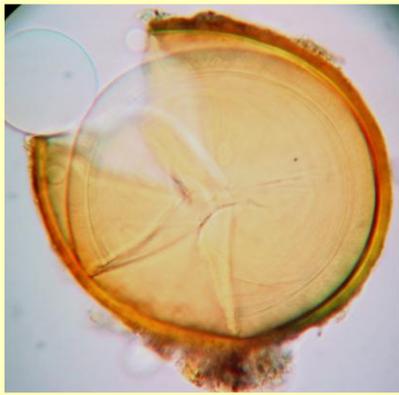
*Diversispora spurca* se encontró en *A. lechuguilla* y *J. dioica*, este HMA presentó un color hialino, una estructura globosa y poseía tres capas en su pared celular.

**Figura 13.** *Diversispora spurca*.



**Figura 14.** a) *Funnelformis mosseae*; b) misma especie en reactivo Melzer.

*Funnelformis mosseae* solo estuvo presente en *A. lechuguilla*, el hongo arbuscular, exhibía color naranja pálido, y de acuerdo al INVAM eran esporas juveniles. Así también eran de forma globosa y contaban con tres capas. La hifa presentaba un septo y un tubo germinativo, el cual se extendía por la hifa. Mostró color naranja-rosado al reaccionar con Melzer.



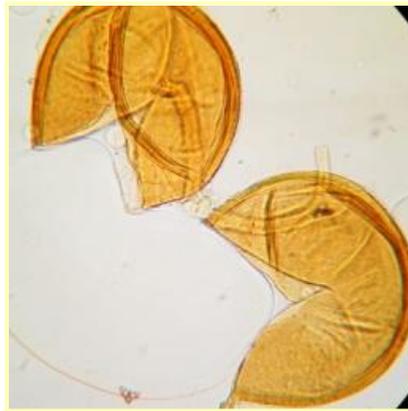
**Figura 15.** *Pacispora* sp.

*Pacispora* sp., se halló en la mayoría de las plantas, con excepción de *K. humboldtiana*; se caracterizó principalmente por la estructura de sus paredes. La pared exterior es muy delgada, y la interior es flexible, sin reaccionar con el reactivo Melzer, tal como se aprecia en la figura 15.



**Figura 16.** a) *Rhizophagus fasciculatus* en PVLG; b) *R. fasciculatus* en PVLG y reactivo Melzer.

*Rhizophagus fasciculatus* se caracterizó por tener tres capas, de forma globosa y de color amarillo. Todas las subcapas forman un color rojo oscuro o ligeramente rojo púrpura en el reactivo Melzer. Este hongo se encontró en *A. salmiana* y *Y. filifera*.



**Figura 17.** *Rhizophagus intraradices*.

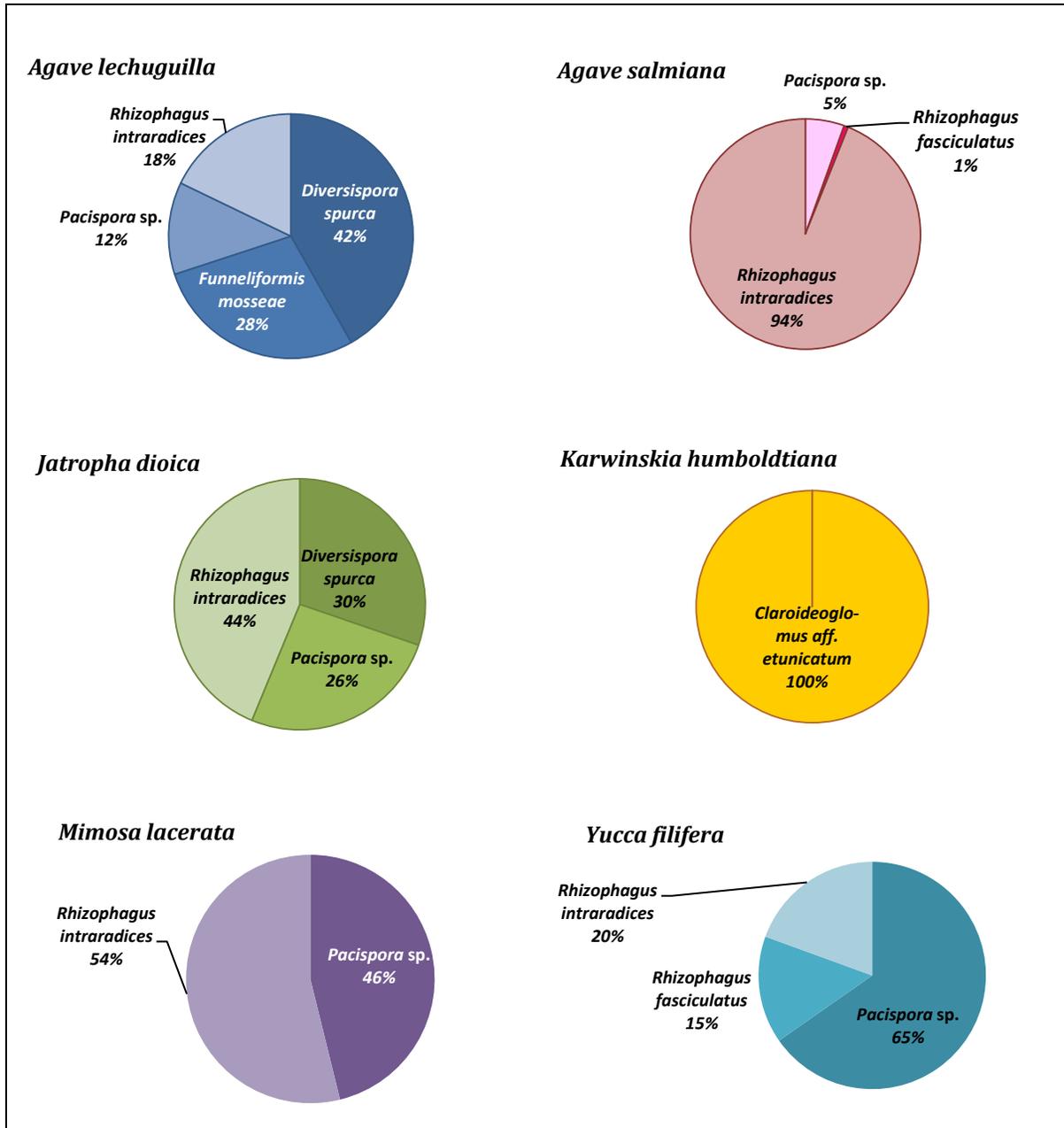
*Rhizophagus intraradices*, se halló en casi todas las plantas, con excepción de *K. humboldtiana*. Presentó color ámbar (café-amarillo), de forma semiglobosa irregular, con tres capas y tubo germinativo.

**Tabla 6.** Hongos micorrízicos arbusculares asociados a seis especies vegetales en condiciones de invernadero.

Especie planta	$\bar{x}$ de esporas*	Consortios de HMA formados
<i>Agave lechuguilla</i>	85.20	<i>Diversispora spurca</i> <i>Funneliformis mosseae</i> <i>Pacispora</i> sp <i>Rhizophagus intraradices</i>
<i>Agave salmiana</i>	171.80	<i>Pacispora</i> sp <i>Rhizophagus fasciculatus</i> <i>Rhizophagus intraradices</i>
<i>Jatropha dioica</i>	9.20	<i>Diversispora spurca</i> <i>Pacispora</i> sp <i>Rhizophagus intraradices</i>
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	45.20	<i>Claroideoglo mus</i> aff. <i>etunicatum</i>
<i>Mimosa lacerata</i>	5.20	<i>Pacispora</i> sp <i>Rhizophagus intraradices</i>
<i>Yucca filifera</i>	14.40	<i>Pacispora</i> sp <i>Rhizophagus fasciculatus</i> <i>Rhizophagus intraradices</i>

\*Promedio de esporas encontradas en 100 g de suelo seco.

De acuerdo a la tabla seis la especie *A. lechuguilla* presentó el consorcio de HMA más rico con cuatro especies de hongos arbusculares, mientras que *A. salmiana*, *J. dioica* y *Y. filifera* se asociaron a tres especies de HMA. *Karwinskia humboldtiana* se asoció únicamente con el hongo *Claroideoglo mus* aff. *etunicatum*. La especie de hongo *Funneliformis mosseae* se encontró sólo en *A. lechuguilla*. En cambio *Pacispora* sp. y *Rhizophagus intraradices* fueron los hongos arbusculares más frecuentes en las especies vegetales, con excepción de *K. humboldtiana*. El mayor promedio de esporas lo presentó *A. salmiana* con 171.8, en contraste *M. lacerata* solo tuvo 5.20 en promedio.



**Figura 18.** Porcentaje proporcional de las especies de HMA en los consorcios asociados a cada especie vegetal.

Los consorcios formados entre cada especie vegetal y hongos arbusculares se pueden analizar en la figura 18, donde los hongos arbusculares con más del 50% de predominancia fueron *Claroideoglossum* aff. *etunicatum* asociado únicamente en un 100% a *K. humboldtiana*; en *A. salmiana* fue dominante *Rhizophagus intraradices* con un 94%; *Pascispora* sp. estuvo presente en un 65% en *Y. filifera*, y por último en *Mimosa lacerata* predominó *R. intraradices* con un 54%. *Funneliformis mosseae* se presentó sólo en la especie vegetal *A. lechuguilla* en un 28%. Cabe destacar que *Pascispora* sp. y *R. intraradices* formaban consorcio análogamente con cinco especies vegetales. En cambio *Rhizophagus fasciculatus* formó simbiosis con *A. salmiana* y *Y. filifera*, y la especie *Diversispora spurca* se asoció a *A. lechuguilla* y *J. dioica*. Las especies de hongos arbusculares *R. fasciculatus* y *D. spurca* no se presentaron conjuntamente en el consorcio de una misma planta, regularmente fue con otras especies de HMA y diferente especie vegetal.

#### 7.4 Riqueza y diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares

*Agave lechuguilla* presentó el consorcio más diverso, el cual se refleja en el índice de diversidad de Shannon-Wiener con un valor de 1.29, tal como se aprecia en la tabla 7, así también fue la especie vegetal con el mayor número de géneros y morfoespecies. En cambio *K. humboldtiana* no formó consorcios, ya que se asoció a una sola especie. *J. dioica*, *Y. filifera* y *A. salmiana* formaron un consorcio de tres especies de HMA. *M. lacerata* formó un consorcio de dos géneros y morfoespecies de HMA.

**Tabla 7.** Riqueza y diversidad de los consorcios de HMA en cada especie vegetal.

HMA con los que se asocio	ESPECIE VEGETAL					
	<i>A. Lechuguilla</i>	<i>A. salmiana</i>	<i>J. dioica</i>	<i>K. humboldtiana</i>	<i>M. lacerata</i>	<i>Y. filifera</i>
Morfoespecies	4	3	3	1	2	3
No. de géneros	4	2	3	1	2	2
*H'	1.286	0.2476	1.075	0	0.690	0.883

\*H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener

Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar la densidad de esporas entre las especies vegetales, ya que tienen distribuciones que no son normales. Los resultados se pueden ver en la tabla 8; el análisis aplicado mostró diferencias significativas entre la densidad de esporas de las rizósferas de las especies vegetales estudiadas.

**Tabla 8.** Análisis de Kruskal-Wallis para la densidad de esporas en las especies vegetales

<b>Variable (densidad esporas) / especie vegetal</b>	<b>Medias</b>	<b>D.E.</b>	<b>Medianas</b>	<b>*H</b>	<b>**P</b>
<i>A. lechuguilla</i>	85.20	63.19	62	12.13	0.0317
<i>A. salmiana</i>	171.80	353.06	24		
<i>J. dioica</i>	9.20	9.65	4		
<i>K. humboldtiana</i>	45.20	99.96	0		
<i>M. lacerata</i>	5.20	3.90	4		
<i>Y. filifera</i>	14.40	3.85	14		

\*H: Estadístico de prueba

\*\*P: Probabilidad de "P", indica que para la variable de densidad de esporas no hay diferencias significativas entre los distintos tratamiento porque el valor de p es mayor al valor de alfa 0.05

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 8.1 Colonización de la raíz

Se comprobó que las especies seleccionadas para este experimento estaban previamente colonizadas con hongos micorrizógenos arbusculares con valores de colonización radical que variaron del 80 al 99 % entre las distintas especies vegetales. La especie *Agave lechuguilla* tuvo una colonización radical del 82%, porcentaje elevado comparado con el 18.1%, reportado por García *et al.*, (2008) y Chimal (2010) en plantas que crecen en campo del Valle del Mezquital en Hidalgo; lo que sugiere que la potencialidad de micorrización es mayor y se manifiesta en un cultivo más controlado.

En este estudio, *Agave salmiana* tuvo un porcentaje de colonización del 99%, estos resultados son un 20 % más alto que los reportados por Valladares (2010) quién encontró un 79%, en condiciones de invernadero. En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde la vegetación predominante es matorral xerófilo, Camargo *et al.* (2003b) reportó la colonización de HMA en *A. salmiana* del 10%. García *et al.* (2008) menciona porcentajes de colonización, en la misma especie, del 44.04%, en cambio Carballar (2009) analizó tres especies silvestres de *Agave* y obtuvo porcentajes de colonización que variaron de 30 a 78%. *Agave* es un género perenne por lo tanto sus raíces tienden a ser gruesas y presentar niveles altos de colonización. Pezzani *et al.* (2006) propone que las especies que tienen altos porcentajes de colonización suelen ser especies con alta dependencia micorrízica, de igual manera, en *Agave angustifolia* en el desierto de Sonora, Ochoa *et al.* (2009) encontró un porcentaje de colonización del 24.9%. Estos resultados sugieren que las especies del género *Agave* necesitan de la asociación con los HMA para obtener suficiente cantidad de

nutrimentos que les permitan desarrollarse, además puede ser que tengan dependencia micorrízica por ser especies que crecen en suelos someros y pobres como son los de las zonas semiáridas, que es su hábitat natural.

La colonización de *Mimosa lacerata* en este estudio fue alta (94%) en trabajos anteriores como el de Camargo *et al.* (2003b) se encontró un 10% de colonización radical; Camargo *et al.* (2010), mencionan que en condiciones de invernadero, plántulas de *Mimosa lacerata*, presentaron una colonización del 12%. Valladares (2010) reportó 72% de colonización micorrízica para *M. lacerata*. Lo cual indica que la colonización micorrízica de *M. lacerata* puede diferir de acuerdo al estadio del ciclo de vida, época del año y estado fenológico o el espacio en que se haga el estudio y los HMA con los que esté en contacto, algo similar puede ocurrir en otras de las especies vegetales estudiadas.

Respecto a *Jatropha dioica* creciendo en invernadero, presentó colonización de raíces del 95%, para esta especie se encontraron reportes de muestras de campo del Valle del Mezquital con valores de colonización del 26.7% (García *et al.*, 2008; Chimal, 2010), indicando que los HMA son un componente constante en la rizósfera de las plantas, pero su relación con los HMA es variable, lo que puede relacionarse con la diversidad de los HMA de los matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, y con la estrategia de la planta, ya que se le considera como especie ruderal indicadora de perturbación.

La especie *Yucca filifera*, tuvo una colonización radical del 80%, en otros trabajos realizados con este género como el de Camargo *et al.* (2003b) mencionan que la especie *Yucca periculosa* estuvo colonizada en un 10%, existen pocos reportes sobre esta relación simbiótica en especies del género *Yucca*. En lo que respecta a *Karwinskia humboldtiana* se

obtuvo un porcentaje de colonización del 97%, lo que insinúa que la presencia de la micorriza en estas especies es fundamental para su desarrollo.

El grado de colonización micorrízica puede depender de diversos factores tales como la humedad, temperatura, el pH del suelo, la luminosidad, el nivel de oxígeno en la rizósfera, de la especie de HMA y de la planta hospedera, aunado a que los ciclos biológicos de los HMA se sincronizan con los ciclos fenológicos y características particulares de la especie de planta a la que se asocia aumentando la diversidad de las interacciones HMA-planta (Rodríguez, 2002; García *et al.*, 2008).

## **8.2 Densidad y composición de las comunidades de hongos micorrizógenos arbusculares**

El mayor número de esporas se encontró en la rizósfera de *Agave salmiana*, con un total de 859 esporas en 100 g. de suelo y tres morfoespecies principalmente: *Rhizophagus fasciculatus*, *Rhizophagus intraradices* y *Pascispora* sp., las dos últimas especies de hongos estuvieron presentes en todas las especies vegetales estudiadas con excepción de *K. humboldtiana*. Al respecto Rodríguez *et al.* (2007), menciona que inoculó raíces de *A. salmiana* con *Rhizophagus intraradices* y obtuvo un 70% de colonización con este hongo arbuscular, de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se corrobora la afinidad que existe entre *Agave* y *R. intraradices*. En un trabajo previo realizado con *A. salmiana* colectado en el Valle del Mezquital García *et al.* (2008) reportó 212 esporas en 100 g de suelo y tres morfoespecies del género *Glomus*.

En el presente estudio, *Agave lechuguilla* fue la especie vegetal que formó el consorcio más diverso, con la presencia de 4 especies: *Diversispora spurca* (42%), *Funneliformis*

*mosseae* (28%), *Pascispora* sp. (12%) y *Rhizophagus intraradices* (18%). García *et al.* (2008) reportó para *A. lechuguilla* tres morfoespecies de HMA que correspondieron a dos géneros *Glomus* y uno de *Scutellospora*.

La diversidad de HMA presentes en los agaves ha sido reportada en distintos trabajos, Ochoa *et al.* (2009), encontró 32 morfotipos, de *Acaulospora* (10), *Archaespora* (2), *Diversispora* (1), *Glomus* (17) y *Pascispora* (2) presentes en *A. angustifolia* en la sierra de Sonora; López (2006) identificó las siguientes especies de HMA: *Acaulospora scrobiculata*, *A. spinosa*, *Entrophospora infrequens*, *Glomus aggregatum*, *G. clarum*, *G. geosporum*, *G. intraradices*, *G. macrocarpum*, *G. mosseae*, *G. tortuosum*, *Diversispora erunicatum*, *Sclerocystis pakistanica*, *Sc. rubiformis*, *Sc. sinuosum*, *Sc. liquidambaris*, *Scutellospora verrucosa*, *Gigaspora albida*, *Gi. decipiens*, y *Gi. ramisporophora*, presentes en la rizosfera de *Agave angustifolia* colectado en campo en el estado de Oaxaca.

En *Jatropha dioica* se encontraron 46 esporas en 100g de suelo, su consorcio se conformó con las morfoespecies: *Diversispora spurca*, *Pacispora* sp. y *Rhizophagus intraradices*. En condiciones naturales, García *et al.* (2008) reportó 72 esporas en 100 g. de suelo, tres morfoespecies y dos géneros *Glomus* y *Scutellospora*

*Mimosa lacerata* fue la especie con el menor número de esporas en su rizosfera, ya que solo se obtuvieron 26, y presentó un consorcio de HMA con dos morfoespecies *Pacispora* sp. y *Rhizophagus intraradices*. Sin embargo, Camargo y Dhillion (2003a) reportaron 219 esporas en *M. lacerata* para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, sin embargo en el 2005 Camargo y Esperón obtuvieron de 300 a 1500 esporas dependiendo el sitio de muestreo en la misma zona de estudio. En otras especies del género, como *Mimosa depauperata* se ha

mencionado la presencia de 180 esporas y cinco morfoespecies del género *Glomus*, para el Valle del Mezquital (García *et al.*, 2008).

Se observó que *Rhizophagus intraradices* se encuentra antes y después de su masificación en *A. lechuguilla*, *A. salmiana* y *M. lacerata*, posiblemente se debió a que *R. intraradices* es una especie considerada nitrofílica por lo que se le encuentra con mayor frecuencia en plantas leguminosas con alto contenido de nitrógeno; en las legumbres (Familia Fabaceae o Leguminosae) es frecuente encontrar a *R. intraradices* en los nódulos rizobianos, donde la fijación del nitrógeno atmosférico tiene lugar, más que en las raíces. En los ecosistemas naturales por ejemplo, la temporada estacional cálida o fría influye en la esporulación de las especies de HMA causando que determinada especie de hongo sea fisiológicamente activa en una temporada estacional y no en la otra, donde seguramente otra especie puede estar colonizando activamente (Barrer, 2009; Santos *et al.*, 2007).

La especie vegetal *Karwinskia humboldtiana* fue altamente colonizada en su totalidad por *Claroideoglomus* aff. *etunicatum*, en cambio *Yucca filifera* presento un consorcio más diverso con tres especies: *Pacispora* sp., *Rhizophagus fasciculatus* y *Rhizophagus intraradices*.

Las diferencias en la composición de los consorcios de HMA entre las especies vegetales, muestran que los HMA no están distribuidos al azar o que se pueden asociar con cualquier especie vegetal, si no que sugiere que hay un cierto grado de preferencia de los HMA por la planta y viceversa (Burrows & Pflieger, 2002). De manera general se conoce que las variaciones en el número de esporas de HMA pueden estar ligadas a patrones estacionales de la esporulación, la cual puede variar de acuerdo a la especie de HMA o de

la planta hospedera. Las diferencias en el número de esporas de HMA del suelo también pueden estar relacionadas con diferentes estrategias de supervivencia de las especies de HMA al habitar en un ecosistema determinado; es decir, el ciclo de vida de los HMA presentan una alta adaptación al ambiente que los rodea, sobre todo durante la etapa de formación de esporas, además su habilidad competitiva puede ser afectada por diversos factores (Camargo y Esperón, 2005). Actualmente existe controversia al relacionar la densidad de esporas de HMA y el porcentaje de la colonización micorrízica de la raíz, por lo cual el número de esporas de HMA del suelo, no necesariamente se refleja en la capacidad de colonización de estos hongos. Para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Camargo y Esperón (2005), demostraron que 45 de 50 especies de plantas vasculares estudiadas, formaban micorrizas; aunque, el porcentaje de colonización de las raíces fue bajo, y señalaron la importancia de hacer observaciones en períodos anuales, dado que la asociación micorrízica puede variar a través del tiempo y del espacio. En forma adicional, Hayman (1982) ya había demostrado que las esporas de HMA pueden sobrevivir por un año o más y que puede haber fluctuaciones en la densidad de esporas debidas a las especies de HMA involucrados, y al estado fenológico y especie de la planta hospedera.

Consortios con mayor diversidad de especies de HMA traen consigo más funciones realizadas por éstos, lo cual brinda más oportunidades para establecer relaciones benéficas favoreciendo el desarrollo vegetal. Aunado a esto, se ha observado que las especies de HMA muestran diferencias espaciales en la adquisición de nutrientes en el suelo. Esto puede conducir a complementar los recursos y a aumentar la productividad vegetal si varias especies de HMA están presentes simultáneamente (Hart y Klironomos, 2002).

## IX. CONCLUSIONES

- ✚ Las seis especies vegetales analizadas presentaron valores de colonización micorrízica arbuscular del 80% al 99%. De ellas *Yucca filifera* fue la especie con el valor más bajo (80.59%) y *Agave salmiana* con el porcentaje más alto (99.26%).
- ✚ La masificación de los HMA que colonizan las especies de interés mediante la siembra de plantas trampa fue un método viable. El frijol presentó 94.66% de colonización creciendo en las macetas con *Yucca filifera*, en cambio *Karwinskia humboldtiana* tuvo los valores bajos de colonización en jitomate (46.09%) y frijol (54.20%).
- ✚ La mayor densidad de esporas se presentó en la rizósfera de *A. salmiana* y en *M. lacerata* la menor densidad.
- ✚ *Agave lechuguilla* presentó el consorcio más diverso, con cuatro especies de HMA y *K. humboldtiana* sólo se asoció a un especie.
- ✚ *Pacispora* sp. y *Rhizophagus intraradices* son los HMA más frecuentes en los consorcios de las especies vegetales, con excepción de *K. humboldtiana*.
- ✚ *Claroideoglobus* aff. *etunicatum* se asoció únicamente a *K. humboldtiana* y fue el único hongo arbuscular que estuvo presente en esta planta (100%). *Funneliformis mosseae* sólo estuvo presente en *A. lechuguilla* (28%).
- ✚ Las diferencias en la composición de los consorcios de HMA formados en las especies vegetales sugiere que hay una cierta preferencia de los hongos arbusculares por la planta y viceversa, lo que algunos autores llaman diversidad funcional.

---

## X. LITERATURA CITADA

- Azcón R. 2000. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Alarcón A. y Ferrera-Cerrato (eds.). IRENAT-Colegio de Postgraduados, Montecillo. Mundi Prensa, México 251 p.
- Bago B., Pfeffer P. & Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Journal of Plant Physiology*. 124:949-957.
- Barker S., Tagu D. & Delp G. 1998. Regulation of root and fungal morphogenesis in mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiology* 116: 1201-1207.
- Barrer S. E. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultas de Ciencias Agropecuarias* 7:123-132.
- Burrows L.R. & Pflieger F. L. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Can. J. Bot.* 80:120-130.
- Carballar H. S. 2009. Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrízico en especies silvestres de *Agave* en Oaxaca. Tesis de maestría, CIIDIR-Unidad Oaxaca, IPN. 72 p.
- Camargo R. S. L. & Dhillion S. S. 2003a. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13:129–136
- Camargo R. S. L., Dhillion S. S. & Jiménez G. C. 2003b. Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semiarid Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13:77-83.
- Camargo R. S. L. y Esperón R. M. 2005. Efecto de la heterogeneidad espacial y estacional del suelo sobre la abundancia de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares en el valle semiárido de Tehuacán-Cuicatlán , México. *Revista de biología tropical* 53: 339-352
- Camargo R. S. L., Grether R., Martínez B. A., García G. V. y Barrios del Rosal S. 2001. Especies útiles del género *Mimosa* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 68: 33-44
- Camargo R. S. L., Montañó N. M., Reyes J. I., Jiménez G. C. & Dhillion S. S. 2010. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae–Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán–Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees* 24:67–78

- Chimal S. E. 2010. Ensayos para la obtención de inóculos de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 84 p.
- Espinosa V. D. 2000. Diálogo Molecular: Hongo Micorrízico arbuscular-raíz. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Alarcón A. y Ferrera-Cerrato (eds.). IRENAT-Colegio de Postgraduados, Montecillo. Mundi Prensa, México 251 p.
- Fernández N. R. 1992. Nombres comunes, usos y distribución geográfica del género *Karwinskia* (Rhamnaceae) en México. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica 63 (1): 1-23
- Ferrera C. R., González C. M. C. y Rodríguez M. 1993. Manual de agromicrobiología. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 142 p.
- García S. R., Monroy A. A. y Chimal S. E. 2008. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Pg 125 a 136 en Montaña N. M., Camargo-Ricalde S. L., García S. R., Monroy A. (eds.) Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México. 460 pp.
- 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
- Gentry H. S. 1982. Agaves of continental North America. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA. 670 p.
- Gómez F. M. E. y Morales R. H. L. 2005. Biología floral de *Agave salmiana*. Tesis de licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. 42 p.
- González P. A y Sosa C. M. 2003. Análisis de la vegetación del área de protección de flora y fauna cañón de Santa Elena (Desierto Chihuahuense, México) utilizando modelos digitales de elevación. Ecosistemas. Asociación española de ecología terrestre. 12: 1-6.
- Granados, D. 1993. Los Agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Grether R., Camargo-Ricalde S.L. y Martínez-Bernal A. 1996. Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 58: 149-152.
- Grether R., Martínez B. A., Lckow A. y Zárata M. 2006. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 44 MIMOSACEA Tribu Mimoseae. Instituto de Biología. UNAM. 84 p.

- Guillot O. D. y Van der Meer P. 2008. El género *Yucca* L. en España. Monografías de la revista *Bouteloua*. 2:55-57.
- Harley J. L. & Smith S. E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London. 483 pp.
- Hart M. M. & Klironomos J. N. 2002. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem functioning. En: Van der Heijden M. G., Sanders I. R. (eds.). *Mycorrhizal Ecology*. Springer. Berlin. Pp. 225-240.
- Hayman, D.S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72: 1119-1125.
- Hernández S. R., Lugo C. E. C., Díaz J. L. y Villanueva S. 2005. Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de *Agave lechuguilla* Torrey. *e-Gnosis* 3: 1-9.
- Hernández C. L., Guadarrama C. P., Sánchez G. I. y Ramos Z. J. 2008. Micorriza Arbuscular, colonización intraradical y extracción de esporas del suelo. En: Álvarez S. J. y Monroy A. A. (compiladores). *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. UNAM. Facultad de Ciencias. P 232.
- José J. R. y García M. E. 2000. Remoción cuticular (“mixiote”) y desarrollo foliar en los agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:73-79.
- López G. I. F. 2006. Hongos de micorriza arbuscular en diferentes sistemas de producción de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) en Oaxaca. Tesis de maestría CIIDIR, IPN, Unidad Oaxaca, México. 92 p.
- Lovera M. & Cuenca G. 2007. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (amf) and mycorrhizal potential of the soil from a natural and a disturbed savannah from la gran sabana, Venezuela. *INCI*. 32:108-114.
- Martínez del Río C. y Eguiarte L. E. 1987. Bird visitation to *Agave salmiana*: Comparisons among hummingbirds and perching birds. *The Condor* 89:357-363.
- Manzanero M. I. G., Flores M. A., Sandoval Z. E. y Bye B. R. 2009. Etnobotánica de siete raíces medicinales en el mercado de Sonora de la Ciudad de México. *Polibotánica*. 27:191-228
- McGonigle T. P. & Fitter A. H. 1990. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations. *Mycological Research* 94(1): 120-122.
- Molles C. M. 1999. *Ecology, concepts and applications*. McGraw-Hill. USA. 640 p.
- Montaño N. M., Camargo R. S. L., García S. R. y Monroy A. (eds.) 2008. *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems)*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-

Prensa SA de CV, UAM Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México. 460 pp.

- Montaño N. M., Alarcón A., Camargo R. S. L., Hernández C. L. V., Álvarez S. J., González C. M. C., Gavito M. E., Sánchez G. I., Ramos Z. J., Patricia Guadarrama P., Maldonado M. I. E., Castillo A. S., García S. R., Trejo D. & Ferrera C. R. 2012. Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: an historical synthesis and future prospects. *Symbiosis*. 57:111–126
- Mukerji K. G., Chamola B. P. & Singh J. 2000. *Mycorrhizal Biology*. Kluwer Academic Plenum Publishers, New York, USA. 336 p.
- Ochoa M. A., Esqueda M., Fernández V. R. y Herrera P. R. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. en la Sierra Sonorense, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 189-198.
- Peterson L., Massicote H. & Melville L. 2004. *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Ottawa: NRC Research Press, 173.
- Pezzani F. C., Montaña & Guevara R. 2006. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the sucesional context of a two phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza*. 16:285-295.
- Phillips J. M. & D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for cleaning and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-161.
- Porras A. A., Herrera J., Sinsabaugh R.L., Odenbach K. J., Lowrey T. & Natvig D. O. 2008. Novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Applied and environmental microbiology* 74(9): 2805-2813
- Quilambo O. 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African Journal Biotechnology* 2(12): 539-546.
- Rentería L. y Cantú C. 2003. El efecto de *Tegeticula yuccasella* Riley (Lepidoptera: Prodoxidae) sobre la fenología reproductiva de *Yucca filifera* Chabaud (Agavaceae) en Linares, N.L., México. *Acta Zoológica Mexicana* 89: 85-92.
- Reyes A. J. A., Aguirre R. J. R. y Peña V. C. B. 2000. Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:75-88.
- Rodríguez H. G. 2002. Inducción del enraizamiento en *Agave salmiana* Otto con *Agrobacterium rhizogenes* y colonización de raíces transformadas por *Glomus intraradices*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Colima.

- Rodríguez H. G., Morales D.F., Gutiérrez C. R., Aguilar E. S. y Pérez M. B. E. 2007. Generación de raíces transformadas de *Agave salmiana* Otto y su colonización por *Glomus intraradices*. Revista Fitotecnia Mexicana 30:215-222.
- Rodríguez, Y. Y., Noval P. B., Fernández M. F. y Rodríguez H. P. 2004. Estudio comparativo de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* M. var "Amalia"). Ecología Aplicada 13: 162-171.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, D.F. 373 p.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana. 14:3-21.
- Rzedowski, G.C. y Rzedowski J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), México. 1406 pp.
- Sánchez C. M. J. 2005. Micorrizas aspectos generales. UNAM, FES-Zaragoza. México. DF., 96 p.
- Sanders I. 2003. Preference, specificity and cheating in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Trends in Plant Science. 8: 143-145.
- Santos G. C. J., Finlay R. D. & Anders T. 2007. Seasonal Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities in roots in a seminatural grassland. Applied and Environmental Microbiology 73:5613-5623.
- Silva M. A. & Eguiarte E. L. 2003. Geographic patterns in the reproductive ecology of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) in the Chihuahuan desert. I. Floral characteristics, visitors, and fecundity. American Journal of Botany 90: 377-387.
- Smith S. E. & Read D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2a. ed. Academic Press, London. 605 pp.
- Tapia P.F., Mercado R. P., López S. A. y Gómez A. S. 2002. Estudio citogenético en *Karwinskia humboldtiana* (Rhamnaceae) del Valle de Actopan, Hidalgo, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México 73(1): 17-25
- Toledo V. M. & Ordóñez M. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. F (eds.). Biological diversity of Mexico. Origins and distribution, Oxford University Press. Nueva York.
- Trejo D., Ferrera C. R., García R., Varela L., Lara L y 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: 23-31

- Valladares S. K. 2010. Crecimiento de plantas de *Agave salmiana* Otto y *Mimosa lacerata* Rose inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM. México. 74 p.
- Vandenkoornhuyse P., Husband R., Daniell I.J., Watson J.M., Duck M., Fitter A.H. & Young J. P. W. 2002 Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Mol. Ecol.* 11:1555-1564.
- Van der Heijden M., Boller T., Wiemken A. & Sanders I. R. 1998a. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79(6): 2082-2091.
- Van der Heijden M., Klironomos J. N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A. & Sanders I.R. 1998b. Mycorrhizal fungal diversity determines plants biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.

**Páginas consultadas de internet:**

CONABIO, 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Edición digital: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia\\_nacional/doctos/estudiodepais/CAP1\\_Contento\\_fisico.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/estudiodepais/CAP1_Contento_fisico.pdf)

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. & Robledo C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> (Consulta 2013)

Schüßler A & Walker C. 2010. Versión electrónica: [http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/species\\_infos/higher\\_taxa/](http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/species_infos/higher_taxa/) (Consulta 2012).

<http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/speciesID.htm> (Consulta 2012)

<http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/> (Consulta 2012)

## XI. ANEXOS.

**Anexo 1.** Análisis de datos mediante la prueba de Kruskal Wallis para densidad de esporas.

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Densidad A. lechuguilla		5	85,20	63,19	62,00	12,13	0,0317
Densidad A. salmiana		5	171,80	353,06	24,00		
Densidad J. dioica		5	9,20	9,65	4,00		
Densidad K. humboldtiana		5	45,20	99,96	0,00		
Densidad M. lacerata		5	5,20	3,90	4,00		
Densidad Y. filifera		5	14,40	3,85	14,00		

Trat.	Medias	Ranks	
K. humboldtiana	45,20	9,00	A
M. lacerata	5,20	10,30	A
J. dioica	9,20	12,80	A
Y. filifera	14,40	17,40	A B
A. salmiana	171,80	17,90	A B
A. lechuguilla	85,20	25,60	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

**Anexo 2.** Análisis de datos mediante la prueba de Kruskal Wallis para colonización micorrízica.

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Colonización A. lechuguilla		5	82,74	9,29	84,44	14,51	0,0120
Colonización A. salmiana		5	99,26	0,91	99,26		
Colonización J. dioica		5	94,95	4,94	95,56		
Colonización K. humboldtiana		5	96,74	4,49	100,00		
Colonización M. lacerata		5	94,55	2,01	94,07		
Colonización Y. filifera		5	80,59	17,64	86,42		

Trat.	Medias	Ranks	
A. lechuguilla	82,74	7,00	A
Y. filifera	80,59	8,80	A
M. lacerata	94,55	15,00	A B
J. dioica	94,95	17,30	A B
K. humboldtiana	96,74	20,50	B
A. salmiana	99,26	24,40	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*