



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Carrera de Biología

**RELACIÓN ENTRE SUCESIÓN ECOLÓGICA VEGETAL Y
HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN UN
MATORRAL XERÓFILO EN EL VALLE DEL MEZQUITAL,
HIDALGO**

TESIS

Que para obtener el título de:

Bióloga

Presenta:

RAMÍREZ SALDÍVAR KAREN YADIRA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO MONROY ATA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA VEGETAL

Investigación realizada con financiamiento de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (UNAM), mediante el proyecto PAPIIT IN218317



CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A ti hija mía, quien eres la mejor persona, quien siempre llena mi vida con amor, risas, abrazos, besos, con esa alegría y sonrisa tan única, de verdad gracias por ser mi compañera de vida, ¡Te amo Inés!

A Juan Luis, porque eres parte importante en este proyecto, porque siempre has estado conmigo y nunca me has dejado sola y sobre todo gracias por compartir nuestras vidas juntos ¡Te amo!

A mi mamá y a mi papá, por todo lo que me han brindado y enseñado a lo largo de esta vida, por su amor, comprensión, sus consejos, regaños, su apoyo en todo momento y porque gracias a ustedes hoy estoy donde quiero estar.

A mis hermanos Fernando y Luis quienes han formado parte de mi vida los quiero.

A Adela y Levinn, quienes se convirtieron en una parte importante en mi vida, tanto académica como personal (aún más en esta última), gracias por tantos consejos y sobre todo por siempre escucharme.

A mis amigos Andyfer, Karen, Guillen, Robert, Vladimir y Mario (“los mamíferos”) quienes me acompañaron a lo largo de la carrera y con quienes compartí momentos muy divertidos y agradables.

A mis amigos del vivero Enia, Vianey, Gonz y Oscar quienes también forman parte importante en mi desarrollo académico y personal, ¡como extraño esos días!

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas y darme una formación profesional.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y a sus profesores por el conocimiento compartido a lo largo de mi formación académica.

A mi director de tesis Dr. Arcadio Monroy Ata, por aceptarme en su laboratorio y brindarme la confianza para ser parte de este proyecto, por compartir conmigo siempre su conocimiento y tiempo, por apoyarme en todo momento y por ser un gran tutor.

A mis sinodales, Dra. Esther Matiana García Amador, Dra. Rosalva García Sánchez, Biol. Marco Antonio Hernández Muñoz y M. en C. Alma Bella López López, por sus aportaciones y oportunos comentarios, que enriquecieron este trabajo.

A la Bióloga Maribel Flores quien siempre nos acompaña y nos brinda su apoyo en el laboratorio, pero sobre todo por sus grandes consejos.

ÍNDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Micorrizas	3
2.2 Importancia de la asociación micorrízica	4
2.3 Clasificación de las micorrizas	4
2.4 Morfología de los HMA	6
2.5 Sucesión ecológica vegetal y hongos micorrízicos	7
2.6 Mosaico vegetal	8
2.7 Técnicas de muestreo para el análisis de la vegetación	9
2.8 <i>Buchloë dactyloides</i> (Nutt.) Engelm	9
2.9 <i>Mimosa depauperata</i> Benth	10
2.10 <i>Mimosa biuncifera</i> Benth	11
2.11 <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. Ex Wild.) M. C. Johnst	11
III. JUSTIFICACIÓN	12
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
V. HIPÓTESIS	13
VI. OBJETIVOS	13
6.1 Objetivo general	13
6.2 Objetivos particulares	13
VII. ZONA DE ESTUDIO	14
VIII. MATERIAL Y MÉTODOS	15
8.1 Fase de campo	15
8.1.1 Transectos	15
8.1.2 Muestras de suelo	15
8.2 Perfil vertical	16
8.3 Mapa de coberturas	17
8.4 Riqueza de especies	17
8.4.1 Curva de acumulación de especies	17
8.4. 2 Curva de rarefacción	17

8.5 Índice de Valor de Importancia	18
8.6 Índice de diversidad	19
8.7 Extracción y determinación de esporas de HMA	19
8.8 Porcentaje de colonización micorrízica	20
8.9 Análisis de datos	21
8.10 Fase de campo y laboratorio	22
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
9.1 Perfil vertical y mapa de coberturas	23
9.2 Riqueza de especies	26
9.2.1 Curva de acumulación de especies	26
9.2.2 Curva de rarefacción	27
9.3 Índice de Valor de Importancia	28
9.4 Índice de diversidad	30
9.5 Determinación y extracción de esporas	33
9.6 Porcentaje de colonización micorrízica	40
9.7 Distribución de la Abundancia Relativa	43
X. CONCLUSIONES	46
XI. RECOMEDACIONES	46
X. REFERENCIAS	47
Anexos	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
1. <i>Buchloë dactyloides</i> , en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.	10
2. <i>Mimosa biuncifera</i> , en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.	10
3. <i>Mimosa biuncifera</i> , en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.	11
4. <i>Prosopis laevigata</i> , en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.	12
5. Mapa de la zona de muestreo en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, localizado en el paralelo 20° 23'31" longitud Norte y el meridiano 98° 58'22" longitud Oeste.	14
6. Método de transectos en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Estrato vegetal dominado por <i>Mimosa biuncifera</i> .	15
7. Colecta de muestras de suelo en cuatro especies dominantes, en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Muestra colectada para <i>Buchloë dactyloides</i> .	16
8. Perfil vertical a través de un levantamiento de la vegetación en el matorral xerófilo. Mosaico vegetal dominado por <i>Prosopis laevigata</i> .	16
9. Mapa de cobertura, tomando como parámetro la cobertura de la vegetación en el matorral xerófilo. Cobertura vegetal de <i>Mimosa depauperata</i> .	17
10. Método de tinción de raíces para cuantificar el porcentaje de colonización micorrízica. a) Raíces en tinción con azul tripano (0.05%) y raíces en clareo con KOH (5%), b) montaje de raíces para observación en microscopio.	21
11. Diagrama de flujo del método.	22
12. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por herbáceas perenne en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Buchloë dactyloides</i> , 2 <i>Flourensia resinosa</i> , 3 <i>Mimosa depauperata</i> , 4 <i>Opuntia cantabrigiensis</i> .	23
13. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por arbustos de talla pequeña en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Flourensia resinosa</i> , 2 <i>Buchloë dactyloides</i> , 3 <i>Mimosa depauperata</i> , 4 <i>Agave salmiana</i> , 5 <i>Opuntia cantabrigiensis</i> .	23
14. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por arbustos de mayor talla en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Mimosa biuncifera</i> , 2 <i>Buchloë dactyloides</i> , 3 <i>Flourensia resinosa</i> , 4 <i>Agave salmiana</i> , 5 <i>Opuntia cantabrigiensis</i> , 6 <i>Condalia mexicana</i> , 7 <i>Opuntia imbricata</i> .	24
15. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por árboles en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Prosopis laevigata</i> , 2 <i>Flourensia resinosa</i> , 3 <i>Karwinskia humboldtiana</i> , 4 <i>Mimosa depauperata</i> , 5 <i>Opuntia streptacantha</i> , 6 <i>Condalia mexicana</i> .	24
16. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por herbáceas perenne en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Buchloë dactyloides</i> , 2 <i>Flourensia resinosa</i> , 3 <i>Mimosa depauperata</i> , 4 Pasto 3, 5 <i>Opuntia cantabrigiensis</i> , 6 <i>Condalia mexicana</i> , 7 Desconocida 1.	25
17. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por arbustos de talla pequeña en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 <i>Buchloë dactyloides</i> , 2 <i>Flourensia resinosa</i> , 3 <i>Agave salmiana</i> , 4 <i>Mimosa depauperata</i> , 5 <i>Condalia mexicana</i> , 6 Pasto 3, 7 <i>Opuntia cantabrigiensis</i> , 8 <i>Opuntia imbricata</i> .	25

- 18.** Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por arbustos de mayor talla en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Buchloë dactyloides*, 2 *Opuntia cantabrigiensis*, 3 *Flourensia resinosa*, 4 *Agave salmiana*, 5 *Condalia mexicana*, 6 pasto 3, 7 *Mimosa biuncifera*, 8 *Opuntia imbricata*, 9 *Mimosa depauperata*, 10 Herbácea. 26
- 19.** Perfil estructural horizontal semirrealista de la vegetación dominada por árboles en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Prosopis laevigata*, 2 Arbusto 1, 3 *Condalia mexicana*, 4 *Opuntia estreptacantha*, 5 *Karwinskia humboldtiana*, 6 *Mimosa depauperata*, 7 *Flourensia resinosa*, 8 Arbusto 2, 9 Arbusto 3. 26
- 20.** Curva de acumulación de especies. Se muestra el esfuerzo de muestreo en un matorral xerófilo. 27
- 21.** Curva de rarefacción de las especies muestreadas en el matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo. 27
- 22.** Índice de Valor de Importancia en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo. Las barras representan el valor promedio para cada etapa seral. Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). 30
- 23.** Índice de diversidad Shannon-Wiener de la vegetación en un matorral xerófilo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo 32
- 24.** Índice de diversidad Shannon-Wiener de morfoespecies de HMA en un matorral xerófilo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo 33
- 25.** a) *Acaulospora denticulata*; b) *Acaulospora* sp.; c) *Diversispora* sp.; d) *Claroideoglosum*; e) *Entrophospora infrequens*; f) *Funneliformis mosseae*; g) *Funneliformis geosporum*; h) *Gigaspora*; i) *Glomus caesaris*; j) *Glomus* sp. 1; k) *Glomus* sp. 2; l) *Glomus* sp. 3; m) *Glomus* sp. 5; n) *Racocetra gregaria*; ñ) *Scutellospora* sp.; o) detalle de hifa de *Scutellospora* sp.; p) *Sclerocystis sinuosum*; q) *Sclerocystis* sp. 1; r) *Sclerocystis* sp. 2; s) *Glomus* sp 6. 38
- 26.** Relación entre el número total de morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares y la etapa seral dominante en el matorral xerófilo 40
- 27.** Porcentaje de colonización de hifas (H), vesículas (V) y arbusculos (A) en raíces de *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*. 41
- 28.** Porcentaje de colonización micorrízica total (CT) en raíces de *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*. 42
- 29.** Colonización micorrízica en raíz de *Buchloë dactyloides*. 42
- 30.** Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Buchloë dactyloides*. 43
- 31.** Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Mimosa depauperata*. 44
- 32.** Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Mimosa biuncifera*. 44
- 33.** Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Prosopis laevigata*. 45

ÍNDICE DE CUADROS

Número	Página
1. Unidades de muestreo en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo.	28
2. Índice de valor de importancia en las cuatro etapas de sucesión dominantes del Valle del Mezquital, Hidalgo.	29
3. Índice de diversidad de Shannon-Wiener para la vegetación en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo.	31
4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener para las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo.	32
5. Morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en las cuatro etapas de sucesión ecológica.	37
6. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo.	39

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) presentes en cuatro mosaicos vegetales de fases sucesivas en un matorral xerófilo durante su maduración, la fase inicial consiste de herbáceas perennes como pioneras, después arbustos de pequeña talla (<100 cm) como intermedias tempranas, posteriormente arbustos de mayor talla (>1 m) como intermedias tardías y árboles (un solo fuste) en la fase madura de este ecosistema. Por otra parte, los HMA son microorganismos del suelo que contribuyen al establecimiento, crecimiento, productividad y supervivencia de comunidades vegetales. Así, se plantearon dos preguntas a contestar en este estudio: ¿Existe correlación entre los consorcios de morfoespecies de HMA y el mosaico vegetal de cada una de las cuatro fases sucesionales de un matorral xerófilo? y ¿El índice de diversidad de Shannon-Wiener de las morfoespecies de HMA varía entre las cuatro fases sucesionales? La hipótesis plantea que es posible que haya una relación entre los consorcios de HMA y los mosaicos vegetales de cada etapa seral. Para responder a esto, se realizó un muestreo de la vegetación en un matorral xerófilo ubicado en el municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo, mediante unidades de muestreo por cada mosaico vegetal. Además, se colectaron muestras de suelo, cerca de raíces de gramíneas, a una profundidad de 20 cm, en época de secas, con el objetivo de colectar esporas de HMA, para la determinación de las morfoespecies asociadas a cada tipo de mosaico vegetal.

Se caracterizaron cuatro mosaicos vegetales correspondientes a las cuatro fases sucesionales predeterminadas dominadas por: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*. Las especies con alto Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata* y *Flourensia resinosa*. No hay una diferencia significativa respecto al IVI ($p=0.8453$) entre los mosaicos de vegetación. Se registraron un total de 31 especies para la zona muestreada, obteniendo una eficiencia de muestreo del 93%. El índice de Shannon-Wiener obtenido para la vegetación fue bajo (1.19, 1.69, 1.9 y 1.91 respectivamente) y el obtenido para las morfoespecies de HMA en cada mosaico de vegetación fue similar (2.05, 1.73, 1.79 y 1.49 respectivamente); no se encontraron diferencias significativas en la riqueza de especies en ambos grupos de organismos (plantas y HMA) $p=0.266$ y $p=0.999$ respectivamente. También se determinaron 20 morfoespecies de HMA pertenecientes a ocho géneros y cinco familias, donde *Glomus* fue la más representativa por un mayor número de morfoespecies, seguida por *Acaulospora* y *Funneliformis*. El estrato dominado por *Mimosa biuncifera* presentó el mayor número de morfoespecies (15 especies), mientras que el menor número (13 especies) correspondió al estrato dominado por *Mimosa depauperata* y *Prosopis laevigata*. La colonización micorrízica total muestra que *Mimosa depauperata* fue el mosaico con una colonización mayor (88.88%) y *Buchloë dactyloides* fue el de menor porcentaje (67.85%). Las curvas de los tipos de distribución de especies de HMA y de las plantas de cada mosaico vegetal, se ajustan de manera estadísticamente significativa mediante la prueba de *chi* cuadrada (χ^2) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Por lo anterior, se concluye que sí hay una relación entre los consorcios de morfoespecies de HMA y el mosaico vegetal de cada una de las cuatro etapas serales de sucesión ecológica en un matorral xerófilo y los índices de diversidad tanto de la vegetación como de las morfoespecies de HMA, durante las etapas serales, no mostraron diferencias estadísticas significativas en ambos casos.

I. INTRODUCCIÓN

México es un país cuyo territorio presenta extensas regiones de zonas áridas y semiáridas, que cubren el 54.3% de su superficie total. De los 32 estados que integran el territorio nacional, 25 presentan porciones áridas en mayor o menor proporción. Cubren casi todas las superficies territoriales de los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Sonora; de manera parcial se presentan en los estados de Colima, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Yucatán y Zacatecas (Cervantes, 2002).

Las zonas áridas de México se han considerado especialmente importantes debido a su alto número de especies endémicas (González y Chiang, 1988; Rzedowski, 1978). Además, diversos autores han estudiado la flora y vegetación de las zonas áridas de México o las han incluido en sus estudios, entre ellos destacan: Miranda (1955), Rzedowski (1978, 1979) y González y Chiang (1988).

La sucesión ecológica es un proceso que identifica los cambios temporales que se presentan en la estructura, la composición taxonómica y las funciones de un ecosistema después de que éste es perturbado (sucesión secundaria) o cuando se desarrolla desde un nuevo sustrato (sucesión primaria) (Laska, 2001; Morin, 1999; Pickett y White, 1985).

Las transformaciones ecológicas que sufre un ecosistema en sucesión -y la velocidad con la que ocurren estos cambios- dependen de las características del disturbio (*e.g.* extensión, intensidad y frecuencia), de la disponibilidad de propágulos regenerativos (como semillas y plántulas, de origen local y foráneo), del ambiente biótico (*i.e.* depredadores, carnívoros, herbívoros, patógenos y parásitos, entre otros) y de las condiciones abióticas prevalecientes en el sitio perturbado (Pickett *et al.*, 1987; Grubb, 1985; Pickett y White, 1985).

Sin embargo, los ambientes áridos y semiáridos presentan algún grado de deterioro. La utilización de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) podría ser una herramienta con la que se caracterice el proceso sucesional de desarrollo de la vegetación (Siqueira *et al.*, 1998) y determinar la dirección de ésta después de un disturbio (Aziz *et al.*, 1995; Evans y Millar, 1990). En sistemas naturales, los hongos micorrizógenos arbusculares representan parte del estatus nutricional de la mayoría de las especies vegetales, pero cuando el sistema ha sido degradado por alguna causa, existe un deterioro del suelo y una disminución en la fertilidad del mismo, afectando a dichos hongos (Jasper *et al.*, 1991).

Asimismo, los HMA juegan un papel muy importante en el mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas y en los procesos de sucesión (Allen, 1991; Allen y Allen, 1984).

Por otra parte, el tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por hongos del *phylum* Glomeromycota, los cuales no desarrollan red de Hartig y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el hongo (Aguilera *et al.*, 2007).

Debido a esto, el presente trabajo se analizó que la relación entre diferentes estratos vegetales dominantes durante las principales fases sucesionales de un matorral xerófilo y su asociación simbiótica con consorcios de HMA presentes en el suelo; esto permitió determinar si hay un patrón en las relaciones mosaico vegetal-hongos micorrízicos en el proceso de sucesión ecológica.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Micorriza

El segundo grupo con mayor número de especies entre los seres vivos, después de los insectos, es el de los hongos. Se estima que existen cerca de 1.5 millones de especies de hongos, de las cuales sólo se han descrito 72 000; aunque, cada año se registran cerca de 1500 nuevas especies. Los hongos son, uno de los reinos biológicos menos conocido. Otros grupos funcionales con papeles fundamentales en las comunidades vegetales son los hongos parásitos y los hongos micorrizógenos arbusculares (Montaño *et al.*, 2007).

En 1885, Frank propuso el término micorriza para describir un fenómeno común que observó en las raíces de ciertos árboles de los bosques templados de Norteamérica. Estos órganos eran diferentes morfológicamente de otras raíces cuando se encontraban asociadas a hongos del suelo; así inicialmente se les da el nombre de “*raíz fungosa*” (Harley y Smith, 1983).

Entre los organismos del suelo, los hongos micorrizógenos arbusculares sobresalen por su capacidad de formar asociaciones con las raíces de las plantas, ya que se asocian con un gran número de especies vegetales; algunas especies de hongos micorrízicos arbusculares son cosmopolitas y se caracterizan porque sus hifas forman redes que pueden penetrar y colonizar las células de la raíz de la planta hospedera y los agregados del suelo, formando así un sistema de transferencia vivo, llevando nutrimentos minerales y agua del suelo a la planta, proporcionándole múltiples beneficios a su hospedero como: mayor transporte de nutrimentos, protección en condiciones de estrés contra: patógenos de hábitos radicales, salinidad, sequía, acidez y elementos tóxicos (Smith y Read, 1997).

2.2 Importancia de la asociación micorrízica

Es importante reconocer que los ecosistemas tienen grupos de especies con funciones particulares y que la desaparición de algunas de ellas puede causar modificaciones en la productividad del ecosistema (Van der Heijden *et al.*, 1998). También es preciso señalar que el papel de las micorrizas en la absorción de nutrimentos cobra cada día mayor relevancia, ya que existen evidencias de que la hifa externa de los HMA tiene la capacidad para absorber y traslocar nutrimentos como N, K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe, debido a que se encuentran concentraciones más altas de estos elementos en las plantas micorrizadas (Nakano *et al.*, 2001; Marschner y Dell, 1994).

Asimismo, en la relación planta-hongo las plantas obtienen frecuentemente un mejor desarrollo, incremento en la altura, vigor, área foliar, mayor número de hojas, aumenta la supervivencia, el uso eficiente del agua, el cociente raíz/vástago, el potencial hídrico caulinar y la tasa de crecimiento relativa. A su vez, el hongo recibe compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis (Luna, 2005; Peña, 2002; Allen, 1991; Harley y Smith, 1983).

Por otra parte, los hongos micorrízicos llevan a cabo la acumulación de solutos orgánicos, azúcares y compuestos nitrogenados, los cuales contribuyen a la nutrición de la planta hospedera (Charest *et al.*, 1993; Kothari *et al.*, 1990). Otro de los beneficios que puede mencionarse es el incremento de la tasa de fotosíntesis, lo cual indica, un aumento de la biomasa de la planta y del hongo (Gupta y Mukerji, 2000). Del mismo modo ha sido demostrado que la colonización micorrízica puede mejorar el enraizamiento, así como también el incremento en la tasa de supervivencia de las plantas.

También, se ha mostrado, que gran número de HMA producen una proteína denominada glomalina, la cual se acumula en las hifas, en las raíces y en el suelo, fortaleciendo aún más la participación de este tipo de hongos en la estructura del suelo. Al formar agregados de suelo estables en agua de esta manera, la asociación HMA-raíces contribuye a la agregación de partículas del suelo y a su estabilidad (González *et al.*, 2004).

2.3 Clasificación de las micorrizas

La clasificación de las micorrizas es morfológica y molecular, actualmente está basada esencialmente en el sitio que ocupa el micelio fúngico en su asociación con la raíz de la planta. En general, se pueden dividir en tres grupos: ectomicorriza, ectendomicorriza y endomicorriza. Con base en los grandes grupos de hongos y plantas que establecen la asociación. Harley y Smith (1983), subdividieron a la ectendomicorriza en arbutoide y monotropoide y a la endomicorriza en ericoide, orquideoide y arbuscular.

- 1) **Ectomicorrizas:** Se caracterizan por una modificación de la raíz y porque el hongo la encierra en un denso manto, compuesto por un gran número de hifas que rodean a las células del endófito; esta asociación simbiótica se forma frecuentemente entre raíces de gimnospermas y angiospermas y los hongos involucrados son Basidiomicetes, Ascomicetes y Zigomicetos. Se pueden localizar en bosques, selvas y en áreas arbustivas (Lambers *et al.*, 1998).

- 2) **Ectendomicorrizas:** Su colonización provoca pocos cambios en la morfología de la raíz, formando un manto cortical interno y penetran intercelularmente en el córtex.
 - a) Arbutoide: el hongo forma un manto, red de Hartig e hifas intercelulares. Estos hongos pertenecen a los Ascomicetes y Basidiomicetes y colonizan miembros del orden Ericales.
 - b) Monotropoide: el hongo forma un manto fúngico, hifas intracelulares e intercelulares y haustorios. Estos hongos pertenecen a los Ascomicetes y Basidiomicetes y colonizan al género vegetal *Monotropa*.
 - c) Ectendomicorriza: el hongo forma (en algunos casos) un manto, presenta hifas intercelulares e intracelulares. Estos hongos pertenecen a los Ascomicetes y colonizan a las Gimnospermas y Angiospermas.

- 3) **Endomicorrizas o endotróficas:** dentro de este grupo existen tres tipos característicos: orquideoides (Rosendhal *et al.*, 1992), ericoides y arbusculares, siendo las últimas las más importantes, por su mayor distribución geográfica, predominando en praderas, sistemas agrícolas, ambientes áridos y semiáridos y frecuentemente en selvas tropicales (Allen *et al.*, 1995; Brundrett, 1991), además son muy abundantes en la naturaleza y propias de las plantas de interés en este proyecto.
 - a. Orquideoide: el hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma enrollamientos hifales. Estos hongos pertenecen a los Basidiomicetes y Deuteromicetes y colonizan a la familia Orchidaceae.
 - b. Ericoide: el hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma enrollamientos hifales. Estos hongos pertenecen a los Ascomicetes y Basidiomicetes y colonizan a miembros del orden Ericales.
 - c. Arbuscular: el hongo penetra intracelular e intercelularmente y forma arbuscúlos. Estos hongos pertenecen al *phylum novo* Glomeromycota y colonizan a Briofitas, Pteridofitas, Gimnospermas y Angiospermas.

2.4 Morfología de los HMA

- 1) **Arbúsculos:** Son ramificaciones sucesivas de la hifa dentro de las células vegetales que permiten que se establezca un contacto íntimo entre el plasmalemma de los dos mutualistas; es importante destacar el hecho de que el hongo nunca está en contacto con el citoplasma de la célula vegetal. En estas estructuras el hongo transfiere elementos nutritivos a la planta y recibe los carbohidratos en forma de azúcares simples que ésta produce por fotosíntesis. La vida media de los arbúsculos es de aproximadamente 14 días, después de los cuales la célula vegetal se restablece y el arbúsculo se degrada.
- 2) **Vesículas:** Las vesículas son engrosamientos apicales de la hifa, donde se almacenan lípidos y son órganos de reserva del hongo. Durante situaciones de estrés (bajo suministro de agua y metabolitos desde la planta hospedera), estas reservas son utilizadas por el hongo y entonces las vesículas degeneran.
- 3) **Hifas:** Son las estructuras encargadas de la exploración del suelo y la captura de nutrimentos y agua, que a través de corrientes citoplasmáticas transportan hacia los arbúsculos. Estas estructuras se ramifican a partir de una hifa exploradora (*runner hyphae*), que constituye la parte principal de las hifas extra-radicales. Las hifas exploradoras de primer orden se ramifican formando un ángulo de aproximadamente 45° y a partir de ahí las ramas van ramificándose progresivamente, siendo más finas cada vez y extendiéndose de forma radial alrededor de la raíz. Las hifas de segundo y tercer orden presentan ramificaciones menos uniformes con características similares a los arbúsculos y a las que actualmente se les denomina BAS por su significado en inglés “*branched absorbent structures*” (estructuras absorbentes ramificadas); en algunos casos están asociadas con esporas y su función es la absorción de elementos minerales del suelo (Bago *et al.*, 1998a, b; Friese y Allen, 1991).
- 4) **Esporas:** Las esporas son estructuras de resistencia y propagación de los HMA; pueden ser de color blanco, crema, amarillo, naranja o café y a veces con tintes verdes; son multinucleadas y con abundantes compuestos de carbono (glicógeno y lípidos) (Bonfante *et al.*, 1994). La forma es globosa a su globosa, irregular y elíptica (sobre todo aquellas extraídas desde las raíces micorrizadas). Los tamaños van desde 40 a 140 µm. Son producidas asexualmente en hifas extra-radicales y ocasionalmente intra-radicalmente; las esporas pueden formarse solas, o formar organizaciones de esporocarpos. Se encuentran en el suelo o dentro de las raíces de las plantas. A través de las esporas se pueden colonizar las raíces ya que, si las condiciones ambientales lo permiten, al germinar la espora, las hifas que emergen se dirigen hacia las raíces más próximas por atracción química y las penetra. La morfología de las esporas es el criterio principal para la identificación y clasificación de las diferentes morfoespecies de HMA.

2.5 Sucesión ecológica vegetal y hongos micorrízicos

Fue Clements (1916) quien ofreció una primera teoría acerca del fenómeno de sucesión en plantas, la cual dominó el pensamiento científico durante la primera mitad del siglo XX. El definió la sucesión vegetal como una secuencia de reemplazo de comunidades de plantas, en un proceso unidireccional y determinístico que involucra la convergencia de las comunidades hacia un estado de equilibrio y madurez determinista, cuyas características son controladas exclusivamente por el clima regional. Posteriormente Tansley (1935), consideraba que los factores locales como tipo de roca y posición topográfica pueden determinar un tipo de vegetación que difiere a aquellas asociadas al clima regional. Margalef (1968, 1963 y 1958) desde la teoría de la información, considera la sucesión como un proceso de autoorganización que ocurre en todos los sistemas cibernéticos, siendo equivalente a un proceso de acumulación de información. Por su parte, Odum (1969) enumera una serie de tendencias sucesionales en los parámetros de las comunidades y ecosistemas (biomasa, diversidad) que describen la tendencia de cambio de los mismos hacia situaciones de máxima homeostasis.

Por otra parte, la sucesión ecológica puede definirse como el cambio de las comunidades en composición y estructura a lo largo del tiempo por las interacciones entre los factores que la integran (Pickett y Cadenasso, 2006; Pickett y McDonnell, 1989) y que tiende a conformar un ecosistema maduro.

Las etapas de cada sucesión son:

1. Etapa inicial (constitución): dominada por especies pioneras y oportunistas, con poco requerimiento de energía (nutrientes) y una estrategia reproductiva basada en la producción de un gran número de semillas donde algunas no son que son poco viables (estrategia r).
2. Etapa intermedia (desarrollo): fase de desplazamiento de la vegetación pionera hacia una comunidad con un mayor número de interacciones
3. Etapa final (madura): caracterizada por poblaciones especializadas (alto requerimiento de energía y estrategia reproductiva basada en la producción de pocas semillas con alta viabilidad).

Sobre la sucesión ecológica la mayoría de los estudios se han centrado en las comunidades vegetales debido a que estas componen la mayor parte de la biomasa de los ecosistemas y resultan determinantes para la estructura y el funcionamiento de los mismos (Myster 2001).

Walker y del Moral (2011) definen a la sucesión primaria como el ensamblaje de ecosistemas en paisajes estériles tras graves perturbaciones que dejan poco o ningún legado biológico (caudales de lava, deslizamientos de tierra y desechos de minas). Este proceso implica la colonización de sustratos recién expuestos y las interacciones entre las plantas colonizadoras, los animales y los microbios del suelo.

La sucesión secundaria ocurre en ambientes con un ecosistema establecido, afectado por disturbios naturales o antropogénicos que causan la pérdida total o parcial de la cobertura vegetal y en la que existen propágulos disponibles para colonizar (Cook *et al.*, 2005).

Los HMA son susceptibles a las presiones sucesionales resultantes de cambios en el ambiente abiótico y biótico; Sin embargo, hay poca información definitiva disponible sobre los mecanismos detrás de los cambios de la comunidad de HMA (Piotrowski, 2007)

Johnson *et al.*, (1991) proporcionaron la primera y más completa documentación de la sucesión de HMA durante el desarrollo de un campo antiguo. Este estudio sugiere que podrían existir especies de "sucesión temprana" versus "sucesión tardía" de HMA. No encontraron un aumento en la riqueza de HMA a través del tiempo, pero aumentando la uniformidad de las especies a través del tiempo a medida que las esporas de *Glomus aggregatum* se hicieron menos abundantes. Sin embargo, algunas especies fueron mucho más abundantes en sitios de sucesión tardía (*Acaulospora elegans*) y algunos en sitios tempranos (*Scutellospora persica*). Koske y Gemma (1997) presentaron un patrón similar basado en datos de esporas de un sistema de dunas del este de Estados Unidos. Este estudio de una cronosecuencia de cinco años, donde documentó un aumento en la riqueza de especies a través del sistema artificialmente plantado. Al igual que Johnson *et al.*, (1991), Koske y Gemma (1997) identificaron ciertas especies características de ciertas etapas sucesionales. Por ejemplo, una especie de *Acaulospora* sólo se encontró en suelos de sucesión media a tardía, y *Glomus* sólo estaba presente en los sitios más antiguos.

Hasta ahora, no se han definido patrones consistentes de especies HMA tempranas y tardías, y algunos estudios no han documentado cambios durante la sucesión (Johnson y Wedin, 1997), ni una disminución en la riqueza de especies a través del tiempo (Beauchamp *et al.*, 2007).

2.6 Mosaico vegetal

Un mosaico vegetal es una asociación de plantas que coexisten conformando una unidad tanto estructural como funcional, que tiende a hacer un uso eficiente de los recursos limitantes en su desarrollo. Estas plantas han coevolucionado para aprovechar de manera óptima los escasos recursos de uso común y dar lugar a mutualismos múltiples. Así, las comunidades vegetales no son simples ensamblajes al azar, sino que representan subconjuntos estructurados de la diversidad regional de especies (De-la-Rosa y Monroy-Ata, 2006).

Un componente fundamental de las comunidades vegetales son los hongos micorrízicos, los cuales presentan simbiosis mutualistas con un 95% de las plantas terrestres. La asociación entre hongo y planta es cosmopolita, ya que las micorrizas (*mico* = hongo; *riza* = raíz) pueden explorar mayores volúmenes de suelo que las raíces, aportando minerales (esencialmente fosfatos) y agua a las plantas mediante sus hifas, en tanto, los vegetales (fitobionte) transfieren entre el 10 y el 20% de sus azúcares al hongo micorrízico (micobionte) (Gerdeman, 1968). Un grupo de micorrizas omnipresente en la mayoría de los ecosistemas es el de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), los cuales están asociados a un 80% de las plantas terrestres y en el presente constituyen el *phylum novo*: Glomeromycota.

2.7 Técnicas de muestreo para el análisis de la vegetación

Existe un gran número de técnicas (transectos, cuadrantes, punto centrado en un cuadrado, punto de intercepción, cuadrantes, etc.), disponibles para obtener información cuantitativa acerca de la estructura y composición de las comunidades vegetales (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Dichas técnicas pueden ser adaptadas para su uso en los distintos tipos de comunidades vegetales.

El método de los transectos sin área (*plotless transect*) es ampliamente utilizado por la rapidez con que se mide y por muestrear con la mayor heterogeneidad de la vegetación. Un transecto con área es una superficie (cuadrada, circular, rectangular), situada en un sitio para medir varios parámetros de un determinado tipo de vegetación.

2.8 *Buchloë dactyloides* (Nutt.) Engelm.

El zacate búfalo (figura 1) es una hierba de estación cálida, son pastos cortos, perennes (Carlson *et al.*, 1990). Son resistentes al calor y frío. El follaje es generalmente de 13.5 cm de altura, aunque en el sur de las Grandes Planicies el follaje puede llegar a 30 cm. La planta es generalmente dioica ocasionalmente monoica, a veces con flores perfectas. Las hojas son cortas y enroscadas; lígula ciliada; inflorescencia en cañas separadas; la femenina fasciculada o capitulada, de espiguillas uniflosculares, sésiles, formando grupos de tres a cinco unidades todas en su base, las glumas que en el grupo quedan hacia fuera, se prolongan en espinas formando un falso involucre cubierto por las hojas; cada inflorescencia de este tipo se compone en general de dos de estos pseudoinvolucros y éstos se desarticulan con una unidad; la inflorescencia masculina se compone de una a tres espigas unilaterales de espiguillas con dos flósculos, glumas desiguales, uninervadas, agudas; lemas más largas que las glumas, tres nervadas, glabras y sin arista, (Gould, 1979). El zacate búfalo crece sobre todo en tierras altas secas y/o en los sitios perturbados de pradera mixta de pastos altos. Se adapta ampliamente, incluso a climas y elevaciones extremas. Para el Noreste México está reportado en altitudes que van de los 244 a 2700 msnm. Se encuentra distribuido en: Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Zacatecas (Mejía y Dávila, 1992).



Figura 1. *Buchloë dactyloides*, en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

2.9 *Mimosa depauperata* Benth.

Arbusto de 0.3 a 1.5 m de alto; ramas jóvenes estriadas a ligeramente acostilladas, ramas maduras rollizas a estriadas, glabras o rara vez puberulentas, armadas con aguijones infraestipulares solitarios, recurvados; capítulos globosos, de 0.6 a 1 cm de diámetro, con 11 a 21 flores, axilares, solitarios o en fascículos de 2; flores bisexuales, pediceladas o rara vez sésiles, pedicelo de 0.1 a 0.5 mm de largo; semillas lenticulares, de 2.6 a 3.9 mm de largo, de 2.4 a 3.4 mm de ancho, de 2 a 2.8 mm de grosor, testa parda, lisa a estriada, línea fisural de 40 a 50% de extensión. Se encuentra con frecuencia en vegetación secundaria derivada de matorrales xerófilos y a orillas de caminos y terrenos abandonados. Altitudes que van de los 1600 a 2200 msnm. Florece de abril a octubre y fructifica de Junio a Noviembre. Especie endémica del centro de México, Querétaro, Hidalgo (figura 2).

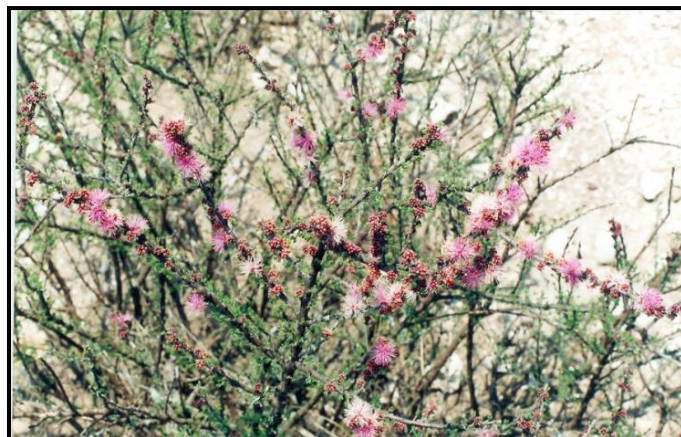


Figura 2. *Mimosa biuncifera*, en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

2.10 *Mimosa biuncifera* Benth.

Localmente se le conoce como Garabatlillo, uña de gato (figura 3). Arbusto de 1-2.5 m de altura armado de cortas y recurvadas espinas que miden de 4-5 mm, hojas bipinnadas de contorno general oblongo, con 3-4 pares de divisiones primarias, cada una provista de foliolos ovales, de unos 12 mm inflorescencias axilares de 7-8 mm de diámetro sobre pedúnculos cortos de 9-10 mm de color blanco rosado frutos oscuros comprimidos, espinosos en el margen, angosto en ambos extremos de unos 3-5 cm de largo. Es una especie codominante de los matorrales xerófilos. Se encuentra distribuido desde el Sur de Arizona y Nuevo México hasta Oaxaca y Chiapas.

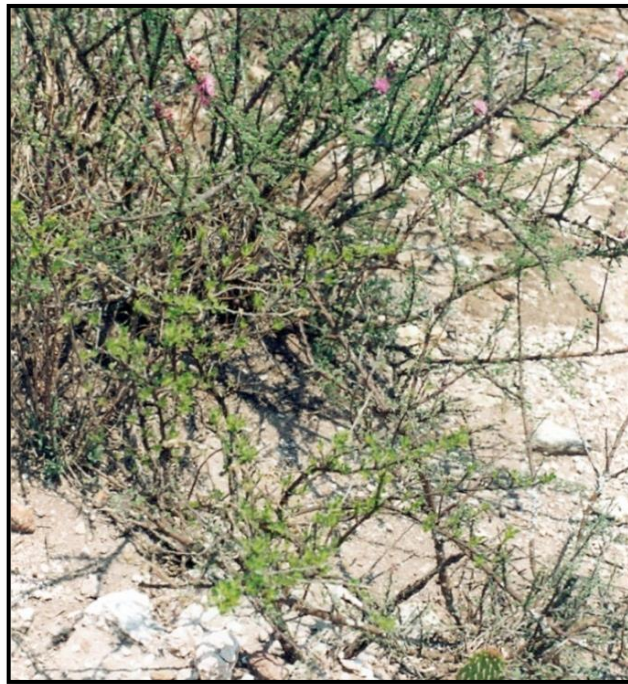


Figura 3 *Mimosa biuncifera*, en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

2.11 *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.

Es el mezquite típico del centro y sur de México. En cuanto a su morfología no se trata de una entidad uniforme y lo mismo es válido para sus afinidades ecológicas. Esta especie es un árbol de hasta 9 m de altura y 80 cm de diámetro del tronco erecto y corto (figura 4), de corteza oscura o negruzca, fisurada y a veces muy lignificada, de copa irregular, también crece en forma arbustiva. Hojas bipinnadas dispuestas en espiral; de 4 a 12 cm de largo incluyendo el pecíolo, foliolos secundarios sésiles, lineares, oblongos, verde pálido y glabros, flores amarillo verdosas aromáticas, agrupadas en espigas largas de contorno oblongo de los frutos con vainas de 8 a 16 cm. De color verde y comprimidos cuando jóvenes y de color amarillo violáceo y casi cilíndricos en la madurez, de olor y sabor dulces. Su madera es utilizada indiscriminadamente para la fabricación de artesanías y muebles por lo que su número está siendo cada vez más reducido. Suele encontrarse en terrenos aluviales profundos, florece en el mes de marzo y en micrositios es de follaje

perenne. Su área de distribución se encuentra en la vertiente del pacífico desde Michoacán hasta Oaxaca y en la del Golfo en Nuevo León, Tamaulipas y Norte de Veracruz en la central de Chiapas y en las regiones altas centrales del país.



Figura 4. *Prosopis laevigata*, en el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

III. JUSTIFICACIÓN

Se llevó a cabo este estudio, debido a la limitada información acerca de la sucesión ecológica de la vegetación en matorrales xerófilos y su relación con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Esto se hizo con el fin de determinar si la sucesión en las plantas tiene una relación con los consorcios de HMA o si existe un patrón de variación de la relación planta-HMA, durante la maduración de la comunidad vegetal. Además, tiene relevancia ecológica conocer si un determinado mosaico vegetal está vinculado específicamente a un grupo de HMA, ya que esta simbiosis proporciona un mejor desarrollo en la comunidad vegetal, lo cual sería de utilidad en programas de restauración ecológica de ambientes semiáridos. Por ello, es necesario conocer los distintos procesos involucrados en la relación entre consorcios de HMA y mosaicos vegetales, para la comprensión del funcionamiento de ecosistemas del semidesierto mexicano.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas principales que se presentan para la vegetación en zonas áridas y semiáridas son la escasez de agua, el sobre-pastoreo y los incendios, entre otros factores de deterioro, lo cual modifica la estructura de los ecosistemas y lleva a una sucesión ecológica a través del tiempo. Por esta razón, los HMA son de gran importancia para las plantas, ya que éstos aumentan la capacidad de captar agua y nutrientes para la vegetación, incrementando sus

posibilidades de establecimiento y desarrollo, además de formar parte en los procesos de sucesión ecológica. Por ello, se llevó a cabo un estudio en cuatro tipos de mosaico vegetal (herbáceas perennes, arbustos bajos, arbustos altos y árboles) y su asociación con consorcios de hongos micorrizógenos arbusculares.

Para este estudio se plantea responder las siguientes preguntas:

1. ¿Existe una correlación entre los consorcios de morfoespecies de HMA y el mosaico vegetal de cada una de cuatro fases sucesionales de un matorral xerófilo?
2. ¿El índice de diversidad de Shannon-Wiener de las morfoespecies de HMA varía entre las cuatro fases sucesionales?

V. HIPÓTESIS

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo, contribuyen al establecimiento, crecimiento, productividad y supervivencia de comunidades vegetales. Por ello, se plantea que la asociación mutualista entre HMA y un tipo de mosaico vegetal, de cada una de las etapas serales siguientes: herbáceas perennes, arbustos bajos, arbustos altos y árboles, sea diferente para cada etapa sucesional, esperando que en etapas tempranas se encuentre mayor abundancia de especies del género *Glomus* y en etapas medias a tardías se encuentren presentes morfoespecies de *Acaulospora* y *Gigaspora*.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Determinar, en cuatro etapas sucesionales, la relación entre la vegetación y los hongos micorrizógenos arbusculares en una zona semiárida con matorral xerófilo.

6.2 Objetivos particulares

- Determinar los hongos micorrizógenos arbusculares asociados a cuatro tipos de mosaicos de vegetación, con herbáceas perennes, arbustos bajos, arbustos altos y árboles, como plantas dominantes en cada uno.
- Caracterizar parámetros de la vegetación en cada fase sucesional (abundancia, altura, diámetro, frecuencia, cobertura, área basal).
- Realizar perfiles verticales de vegetación en cada mosaico vegetal.
- Realizar mapas de coberturas en cada mosaico vegetal.
- Obtener el índice de diversidad de Shannon-Wiener para las especies de cada mosaico vegetal y para las morfoespecies relacionadas a cada mosaico.

VII. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en la zona semiárida que forma parte del municipio de Santiago de Anaya, en el Estado de Hidalgo (figura 5). Este municipio se encuentra localizado en el paralelo $20^{\circ} 23'31''$ longitud norte y el meridiano $98^{\circ} 58' 22''$ longitud oeste, a una altitud de 2054 msnm. El municipio limita al norte con los municipios de Cardonal, Ixmiquilpan y Meztlán; al sur con San Salvador y Actopan; al oeste con Chilcuautla, Ixmiquilpan y San Salvador; al este con la Sierra de Actopan. El clima es templado con régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual del sitio está comprendida entre 16 y 20 °C, con 550 mm de precipitación media anual. El tipo de vegetación es matorral subinerme con dominancia de *Flourensia resinosa* y *Mimosa depauperata*. Es una zona semiárida donde las principales causas de deterioro son el sobrepastoreo y la destrucción de la vegetación por desmonte para fines agrícolas, y donde actualmente se observan signos de erosión, lo que ocasiona la falta de retención de agua por ser suelos someros y la presencia de afloramientos de tepetate.



Figura 5. Mapa de la zona de muestreo (recuadro) en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, localizado en el paralelo $20^{\circ} 23'31''$ longitud Norte y el meridiano $98^{\circ} 58'22''$ longitud Oeste (Fuente: googleart.com.mx).

VIII. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 Fase de campo

8.1.1 Transectos

Se tomaron datos de la vegetación a través del método de transectos con área (figura 6). En total se establecieron ocho unidades de muestreo (UM), empleando dos repeticiones por cada mosaico vegetal (cuatro mosaicos de vegetación), los cuales fueron elegidos al azar. El muestreo se llevó a cabo formando un rectángulo de 20 x 1 m donde se determinaron atributos de vegetación tales como: dominancia, frecuencia, densidad, altura y cobertura.

Los mosaicos analizados son cuatro y corresponden a las plantas dominantes: 1) herbáceas perennes, 2) arbustos bajos (<1 m), 3) arbustos altos (>1 m) y 4) árboles (un solo fuste).



Figura 6. Método de transectos en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Estrato vegetal dominado por *Mimosa biuncifera*.

8.1.2 Muestras de suelo

Las muestras de suelo fueron colectadas en los distintos mosaicos vegetales dentro de los transectos seleccionados; para esto fue necesario retirar la mayor cantidad de rocas posibles así como la hojarasca (figura 7). Posteriormente se almacenó el material recolectado en bolsas de plástico y fue etiquetado; se colectaron cinco muestras por cada mosaico vegetal, obteniendo 20 muestras en total. Las muestras se colectaron en época de secas a una profundidad de 20 cm, para garantizar la presencia de esporas de HMA.



Figura 7. Colecta de muestras de suelo en cuatro especies dominantes, en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Muestra colectada para *Buchloë dactyloides*.

8.2 Perfil vertical

La estructura vertical se refiere a la disposición de las plantas de acuerdo a sus formas de vida en los diferentes estratos de la comunidad vegetal. Para la visualización de un perfil vertical fue necesaria la realización de diagramas gráficos de la vegetación (figura 8). Esto se llevó a cabo a través de un levantamiento de la vegetación, tomando como parámetro principal la altura y la forma de la silueta de la vegetación. (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

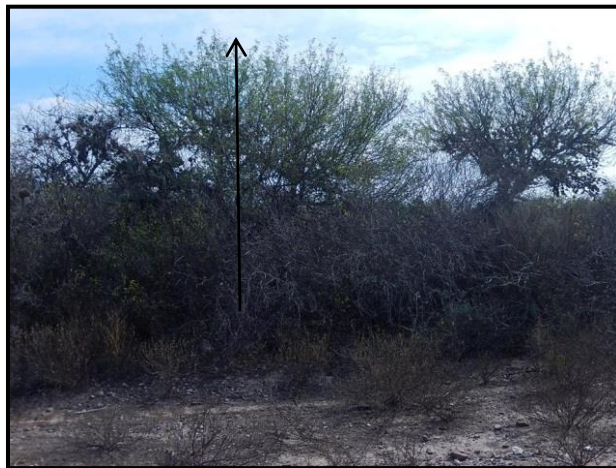


Figura 8. Perfil vertical a través de un levantamiento de la vegetación en el matorral xerófilo. Mosaico vegetal dominado por *Prosopis laevigata*.

8.3 Mapa de coberturas

La estructura horizontal es la proyección de las coberturas del estrato vegetal sobre el suelo (figura 9). De acuerdo a su forma de vida fue necesario medir la cobertura de las plantas y tomar en cuenta la forma de vida de cada especie (Mostacedo y Fredericksen, 2000).



Figura 9. Mapa de cobertura, tomando como parámetro la cobertura de la vegetación en el matorral xerófilo. Cobertura vegetal de *Mimosa depauperata*.

8.4 Riqueza de especies

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno y Halfpter, 2001). Es una expresión mediante la cual se obtiene una idea rápida y sencilla de la diversidad (Gastón, 1996; Magurrán, 1988).

8.4.1 Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies se utilizó para estimar el número de especies a partir del muestreo realizado en campo. Muestra cómo el número de especies se va acumulando en función del tamaño del área muestreada.

8.4.2 Curva de rarefacción

Para estimar la diversidad alfa se generó una curva de rarefacción. Esta curva además de tomar en consideración el número de especies presentes toma en consideración la

abundancia relativa de cada uno de ellas en la comunidad. La rarefacción implica construir una curva suavizada de acumulación de especies mediante un remuestreo al azar de los datos. La curva fue realizada con el programa Estimate S 9 Windows (Colwell, 2013).

8.5 Índice de Valor de Importancia

El Índice de Valor de Importancia (I. V. I.) es un parámetro que se utilizó para la medición de la presencia y frecuencia de las especies y se calculó en base a la fórmula definida por Mueller-Dombois y Ellenberg (1974) teniendo una modificación de la siguiente manera:

$$IVI = \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

El I.V.I. es la suma de estos dos parámetros. Este valor revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal. El I.V.I. es un mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados individualmente.

La densidad relativa se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta por cada especie}}{\text{Densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

donde:

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

La frecuencia relativa se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

donde:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Número de cuadros en los que se presenta cada especie}}{\text{Número total de cuadros muestreados}}$$

8.6 Índice de diversidad

Para el cálculo de la diversidad se utilizó el índice de Shannon-Wiener, dado que es uno de los indicadores más utilizados para determinar la diversidad de especies de todo tipo de un determinado hábitat. Para utilizar este índice, el muestreo fue mediante transectos elegidos de forma aleatoria y así, todas o la mayoría de especies de una comunidad vegetal están presentes en la muestra. Este índice se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

p_i = Abundancia relativa

ln = Logaritmo natural

8.7 Extracción y determinación de esporas de HMA

La extracción de esporas se realizó mediante el método propuesto por Gerdemann y Nicolson (1963), consistió en pesar 100 g de suelo, después se agregó la muestra en un vaso de 750 mL de capacidad, adicionando 500 mL de agua de la llave, luego se realizó una agitación mecánica durante cinco minutos, con la finalidad de romper los agregados y las raíces, y de esta manera mantener en suspensión las esporas, posteriormente se filtró únicamente el sobrenadante de la suspensión en tamices de apertura de 44 μm y este proceso se llevó a cabo en dos ocasiones más, después el sobrenadante se centrifugó a 2000 rpm durante cinco minutos, posteriormente únicamente se conservó el botón del tubo y se le agregó sacarosa al 50%, centrifugando a 1000 rpm durante tres minutos, se decantó la muestra en un tamiz de 44 μm , se enjuagó con abundante agua y luego se colocó sobre una caja Petri lo retenido en el tamiz, para observar las esporas con ayuda de un estereoscopio, agrupando las esporas de acuerdo con sus características morfológicas como color, forma, tamaño y presencia/ausencia de hifas y finalmente se elaboraron preparaciones permanentes en alcohol polivinílico en lactoglicerol y PVLG + reactivo Melzer para su determinación. Las cuales se encuentran disponibles en el invernadero de la FES-Zaragoza, UNAM.

La determinación se llevó a cabo tomando características de la espora como lo es: el diámetro, el color, presencia/ausencia de la hifa, el número de paredes, el número de capas y si presentó reacción al reactivo Melzer.

8.8 Porcentaje de colonización micorrízica

El porcentaje de colonización se obtuvo a partir de raíces de gramíneas colectados en los diferentes mosaicos vegetales, las cuales en la fase de campo se colocaron en frascos de vidrio con alcohol al 70% para su transporte al laboratorio, guardándolas en el refrigerador para su posterior tinción.

Las raíces fueron colocadas en tubos de ensaye, con una solución de KOH al 5% durante 48 horas en completa oscuridad. Después del tiempo transcurrido las raíces se enjuagaron con agua destilada y se colocaron en peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 10% durante tres horas a temperatura ambiente, para eliminar los residuos de pigmentos que pudiesen afectar la observación. Al finalizar este lapso, se procedió a enjuagar con agua destilada y se adicionó ácido clorhídrico (HCl) al 1% durante un periodo de cinco minutos, después se eliminó el exceso de ácido y sin enjuagar, se agregó una solución de azul tripano al 0.05% durante 24 horas. Posteriormente, se retiró el exceso de colorante en las raíces pigmentadas y se conservaron en lactoglicerol.

Las raíces pigmentadas se colocaron sobre un portaobjetos y se les adicionó de una a dos gotas de lactoglicerol, después se le colocó un cubreobjetos y se presionó de manera uniforme y gradual para aplastar las raíces y eliminar cualquier burbuja de aire para obtener una mejor visión (figura 10). La observación de las raíces se realizó con ayuda de un microscopio compuesto. Iniciando por un extremo superior de la preparación del primer segmento de raíz a partir de ahí se comenzó a mover la placa de manera horizontal sobre una línea imaginaria hacia los 10 segmentos de raíz del extremo opuesto y esto se repitió dos veces más en la parte media y la inferior de la placa (Phillips y Hayman, 1970). Una vez en observación, a cada segmento de la raíz que contenía hifas, vesículas o arbusculos se les asignó un valor determinado, independientemente de la cantidad de estructuras micorrízicas que se encontraron presentes.

El número de puntos colonizados anotados sobre el total de puntos observados de la relación pudo ser convertido en un porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

$$\% C = D/T (100)$$

donde:

% C= Porcentaje de colonización

D = Presencia de vesículas, arbusculos y/o hifas

T = Campos totales observados

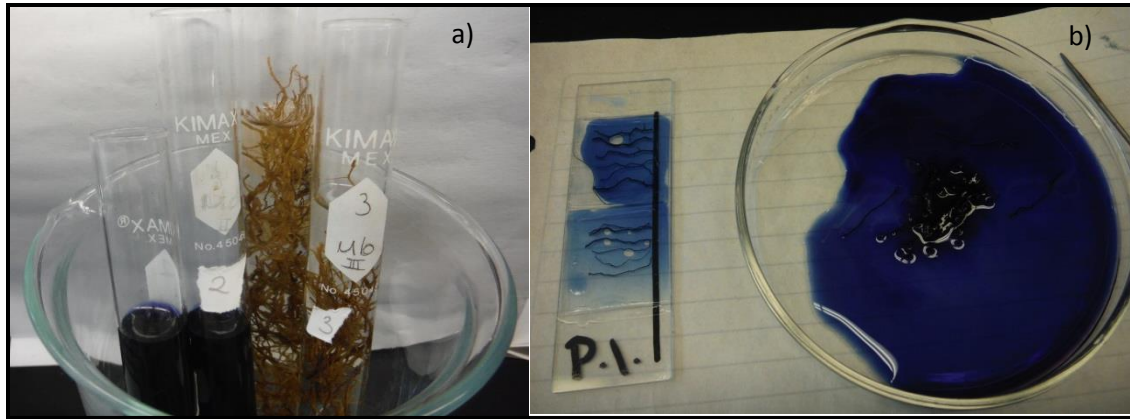


Figura 10. Método de tinción de raíces para cuantificar el porcentaje de colonización micorrízica. a) Raíces en tinción con azul tripano (0.05%) y raíces en clareo con KOH (5%), b) montaje de raíces para observación en microscopio.

8.9 Análisis de datos

Para determinar si había diferencias para el Índice de Valor de Importancia (IVI) entre los mosaicos de vegetación y el índice de diversidad Shannon-Wiener de la diversidad de vegetación en los mosaicos y diversidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), los datos de cada variable se analizaron con una prueba de Normalidad (Shapiro-Wilks modificado; $p < 0.05$) basado en una muestra. Posteriormente cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad para determinar si existían diferencias significativas se realizó una prueba de análisis estadístico Kruskal Wallis ($p < 0.05$). Los análisis fueron realizados con el programa InfoStat (2008).

Para conocer si la diversidad de esporas y la diversidad de vegetación en cada etapa seral mostraban correlación se realizaron gráficas de Distribución de la Abundancia Relativa y se hizo una prueba de X^2 (bondad de ajuste entre curvas).

8.10 Fase de campo y laboratorio

En la figura 11 se presenta el diagrama de flujo de la metodología en campo y en el laboratorio.

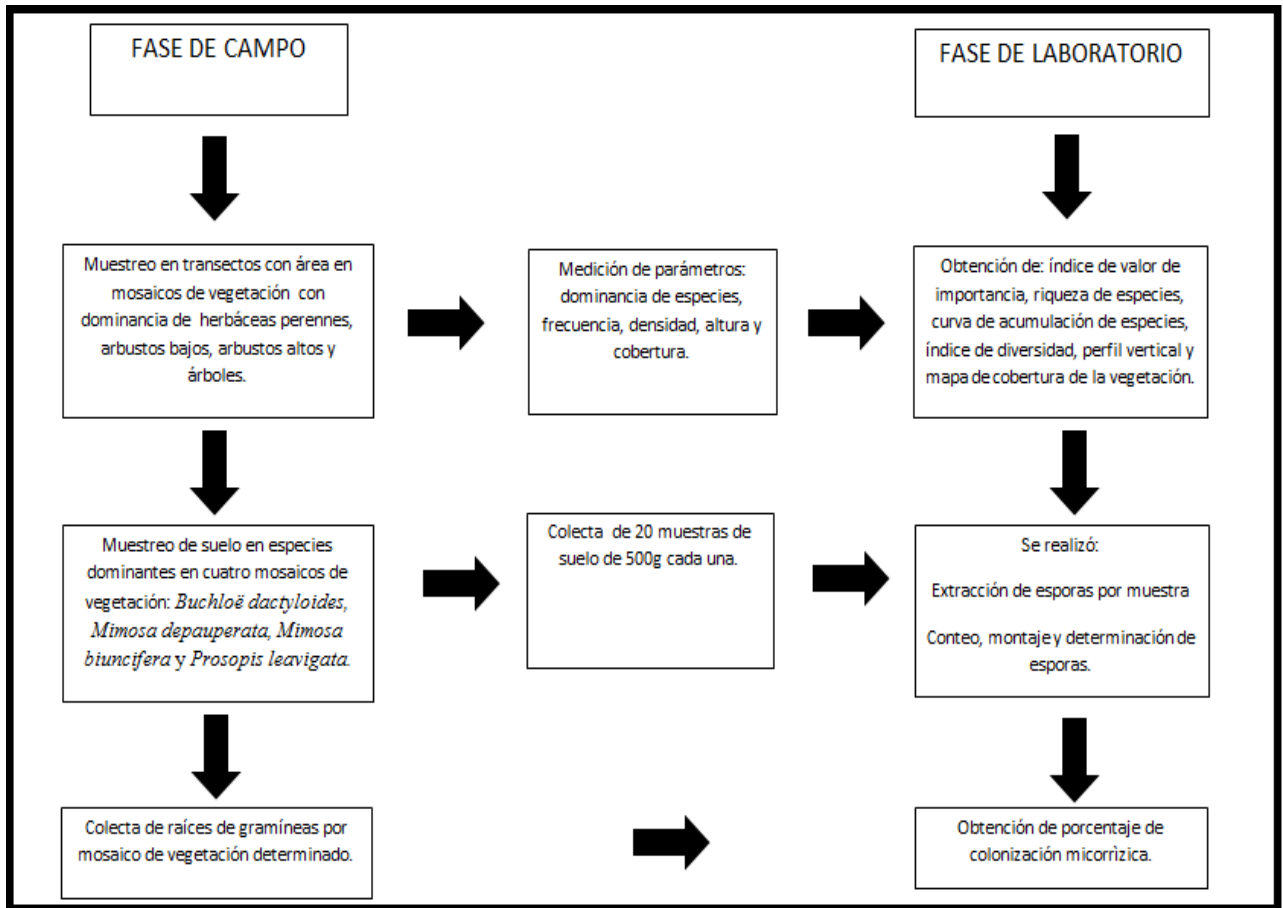


Figura 11. Diagrama de flujo del método.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Perfil vertical y mapa de coberturas

En la primera etapa seral (herbáceas perennes) dominada por *Buchloë dactyloides*, las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son en orden de importancia: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Flourensia resinosa*, pasto 3, *Condalia mexicana*, *Opuntia cantabrigiensis*, *Mimosa biuncifera*, especie 2 y especie 1 (figura 12).

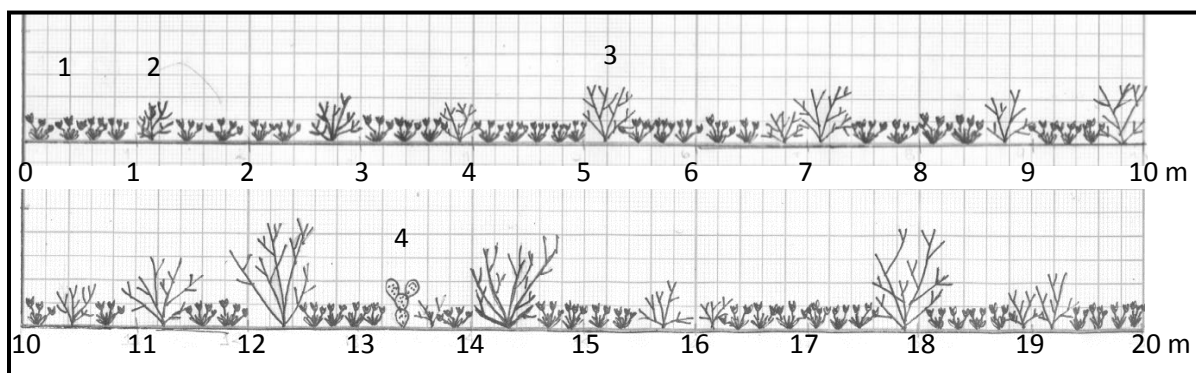


Figura 12. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por herbáceas perenne en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Buchloë dactyloides*, 2 *Flourensia resinosa*, 3 *Mimosa depauperata*, 4 *Opuntia cantabrigiensis*.

En la segunda etapa seral (arbustos bajos <1 m) dominada por *Mimosa depauperata*, las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son en orden de importancia: *Mimosa depauperata*, *Buchloë dactyloides*, *Flourensia resinosa*, *Agave salmiana*, *Condalia mexicana*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia cantabrigiensis*, pasto 1, pasto 3, pasto 2, cactácea, *Jatropha dioica*, herbácea, herbácea 1, Musgo y pasto (figura 13).

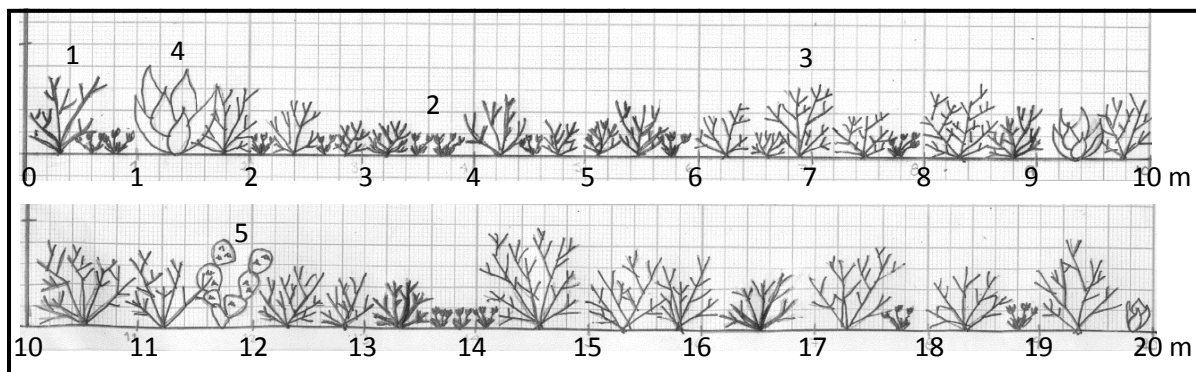


Figura 13. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por arbustos de talla pequeña en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Flourensia resinosa*, 2 *Buchloë dactyloides*, 3 *Mimosa depauperata*, 4 *Agave salmiana*, 5 *Opuntia cantabrigiensis*.

En la tercera etapa seral (arbustos altos >1 m) dominada por *Mimosa biuncifera*, las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son en orden de importancia: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa biuncifera*, *Flourensia resinosa*, *Mimosa depauperata*, *Condalia mexicana*, *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia imbricata*, pasto 3, cactácea, *Prosopis laevigata*, *Agave salmiana*, planta 1, *Acacia farnesiana* y arbusto (figura 14).

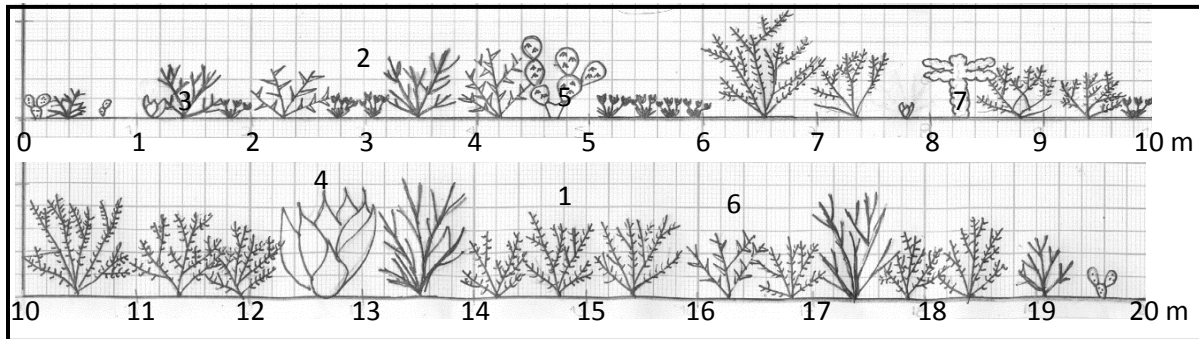


Figura 14. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por arbustos de mayor talla en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Mimosa biuncifera*, 2 *Buchloë dactyloides*, 3 *Flourensia resinosa*, 4 *Agave salmiana*, 5 *Opuntia cantabrigiensis*, 6 *Condalia mexicana*, 7 *Opuntia imbricata*.

En la cuarta etapa seral (árboles) dominada por *Mimosa biuncifera*, las especies vegetales que caracterizan esta comunidad son en orden de importancia: *Flourensia resinosa*, *Mimosa depauperata*, *Karwinskia humboldtiana*, *Prosopis laevigata*, *Condalia mexicana*, *Agave salmiana*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia imbricata*, arbusto 3, arbusto 4, *Stenocereus*, arbusto 1, arbusto 2 y *Tillandsia recurvata* (figura 15).

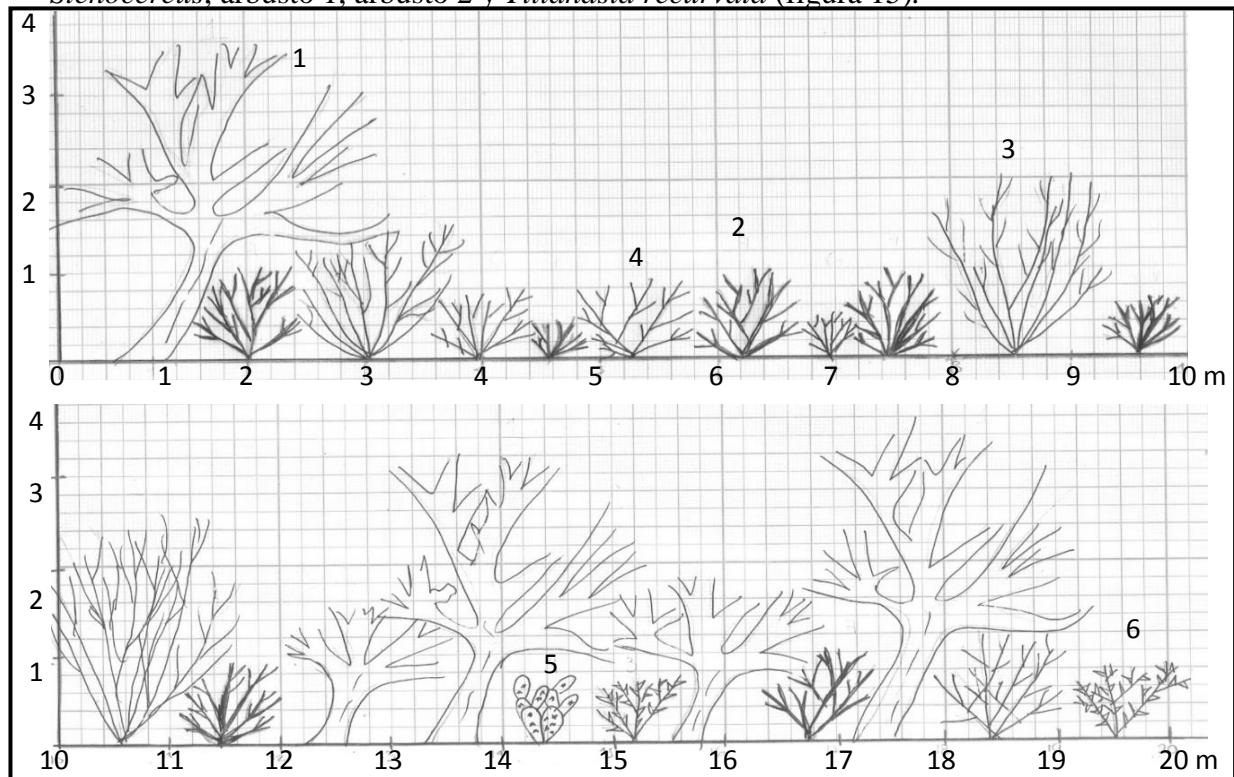


Figura 15. Perfil estructural vertical de la vegetación dominada por árboles en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Prosopis laevigata*, 2 *Flourensia resinosa*, 3 *Karwinskia humboldtiana*, 4 *Mimosa depauperata*, 5 *Opuntia streptacantha*, 6 *Condalia mexicana*.

La vegetación de los matorrales xerófilos está dominada por arbustos o árboles bajos de 3 a 5 m de altura caducifolios o por plantas rastreras. Son particularmente notables los diferentes tipos de plantas suculentas, de hojas arrosetadas o concentradas hacia los extremos de los tallos, plantas afilas, los tipos gregarios o coloniales, los provistos de tomento blanco, etc. La microfilia y la presencia de espinas son caracteres comunes, al igual que la pérdida de las hojas durante la época desfavorable (Rzedowski 2006). Las zonas áridas presentan patrones espaciales y temporales característicos debido al clima y la topografía que son los principales factores que crean estos patrones al ser una limitante en la productividad vegetal; la densidad y la composición de especies que influyen indirectamente en los procesos de formación del suelo (Huerta-Martínez y García-Moya, 2004; Godínez, 1998).

Las figuras 16, 17, 18 y 19 muestran el mapa de coberturas con etapas serales dominadas por *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*, respectivamente, para un matorral xerófilo en el Valle del Mezquital en Hidalgo.

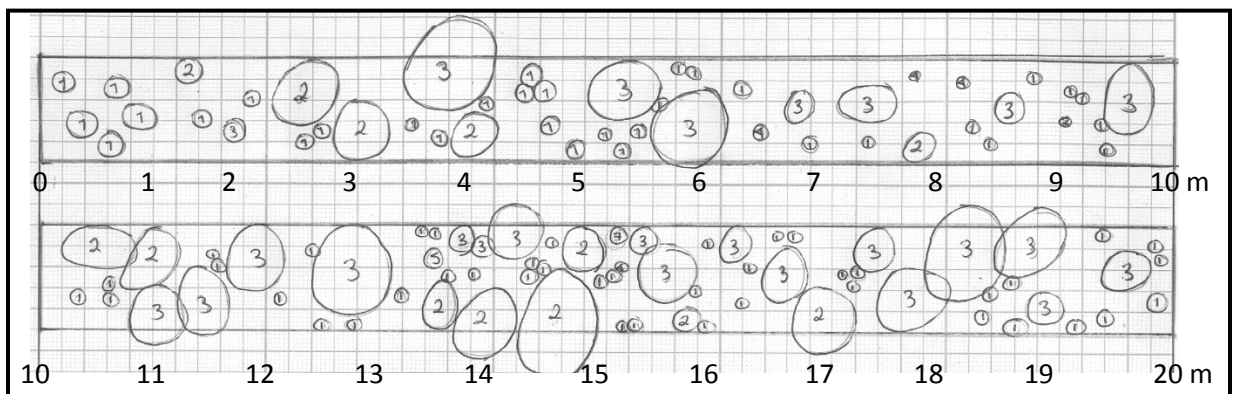


Figura 16. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por herbáceas perenne en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Buchloë dactyloides*, 2 *Flourensia resinosa*, 3 *Mimosa depauperata*, 4 Pasto 3, 5 *Opuntia cantabrigiensis*, 6 *Condalia mexicana*, 7 especie 1.

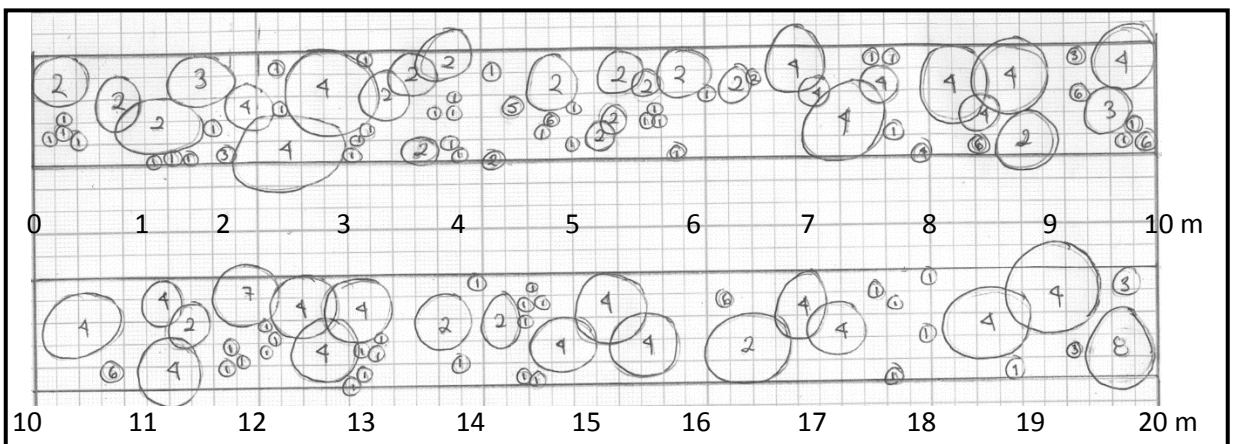


Figura 17. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por arbustos de talla pequeña en un matorral xerófilo. 1 *Buchloë dactyloides*, 2 *Flourensia resinosa*, 3 *Agave salmiana*, 4 *Mimosa depauperata*, 5 *Condalia mexicana*, 6 Pasto 3, 7 *Opuntia cantabrigiensis*, 8 *Opuntia imbricata*.

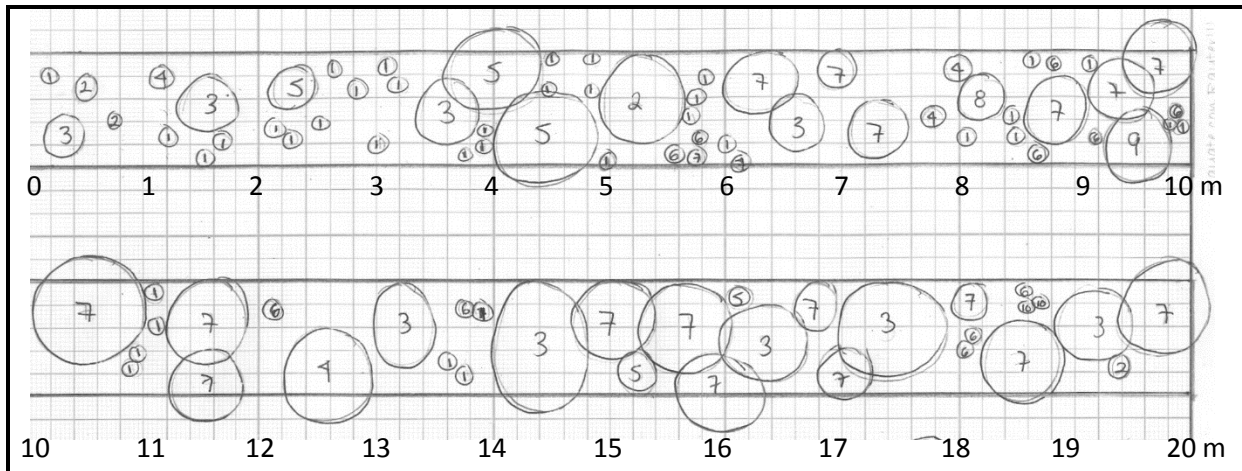


Figura 18. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por arbustos de mayor talla en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Buchloë dactyloides*, 2 *Opuntia cantabrigiensis*, 3 *Flourensia resinosa*, 4 *Agave salmiana*, 5 *Condalia mexicana*, 6 pasto 3, 7 *mimosa biuncifera*, 8 *Opuntia imbricata*, 9 *Mimosa depauperata*, 10 Herbácea.

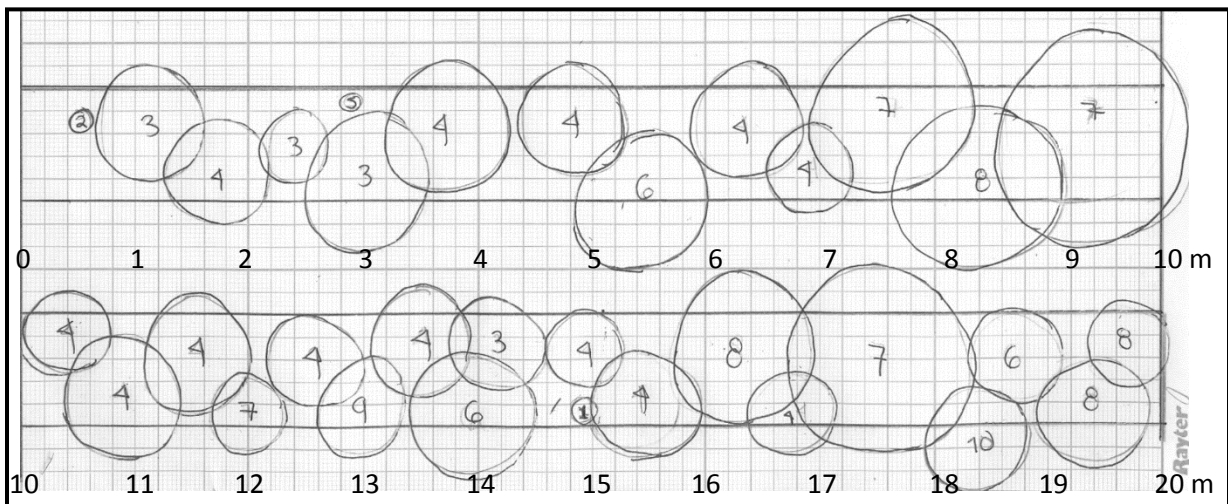


Figura 19. Perfil estructural horizontal de la vegetación dominada por árboles en un matorral xerófilo en Hidalgo. 1 *Prosopis laevigata*, 2 Arbusto 1, 3 *Condalia mexicana*, 4 *Opuntia streptacantha*, 5 *Karwinskia humboldtiana*, 6 *Mimosa depauperata*, 7 *Flourensia resinosa*, 8 Arbusto 2, 9 Arbusto 3.

9.2 Riqueza de especies

9.2.1. Curva de acumulación de especies

La figura 20 muestra la curva de acumulación de especies que se obtuvo para el matorral xerófilo de la zona de estudio. En este trabajo se registraron 31 especies (cuadro 2) lo que puede indicar una riqueza baja en comparación con los estudios de Villavicencio *et al.*, (1998) en los matorrales xerófilos de Hidalgo, en los cuales han reportado la presencia de 70 especies arbustivas o en otras comunidades similares como las estudiadas en Querétaro por Treviño y Hernández (2000), quienes reportaron 83 especies; asimismo las de Coahuila por Encina-Domínguez *et al.* (2013) que registraron 97 especies o las registradas en

Tamaulipas por Alanís-Rodríguez *et al.* (2015) quienes reportaron 35 especies. Sin embargo, esto se puede explicar por la menor superficie de muestreo y que únicamente se realizó en una época del año. La familia mejor representada fue Fabaceae, con cuatro géneros. Además, la zona estudiada es un agostadero deteriorado por sobrepastoreo donde la mayoría de las especies han sido desplazadas por el ganado ovino-caprino.

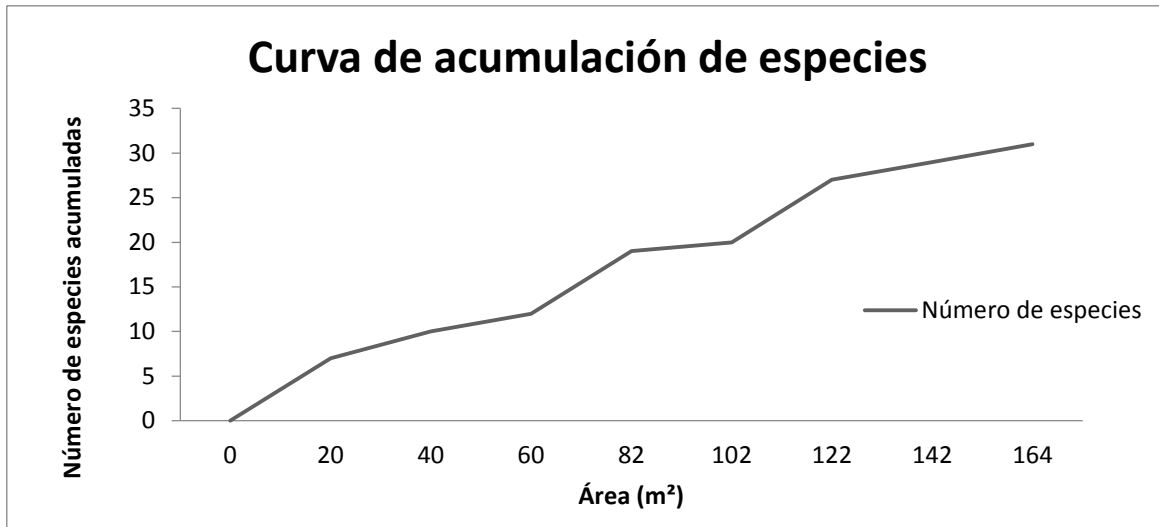


Figura 20. Curva de acumulación de especies. Se muestra el esfuerzo de muestreo en un matorral xerófilo

9.2.2 Curva de rarefacción

La curva de rarefacción (figura 21) muestra que se obtuvo una eficiencia de muestreo del 93%. Obteniendo además una tendencia a adquirir una curva asintótica por lo tanto las muestras que se tomaron son las adecuadas para explicar la riqueza (Sonco 2013).

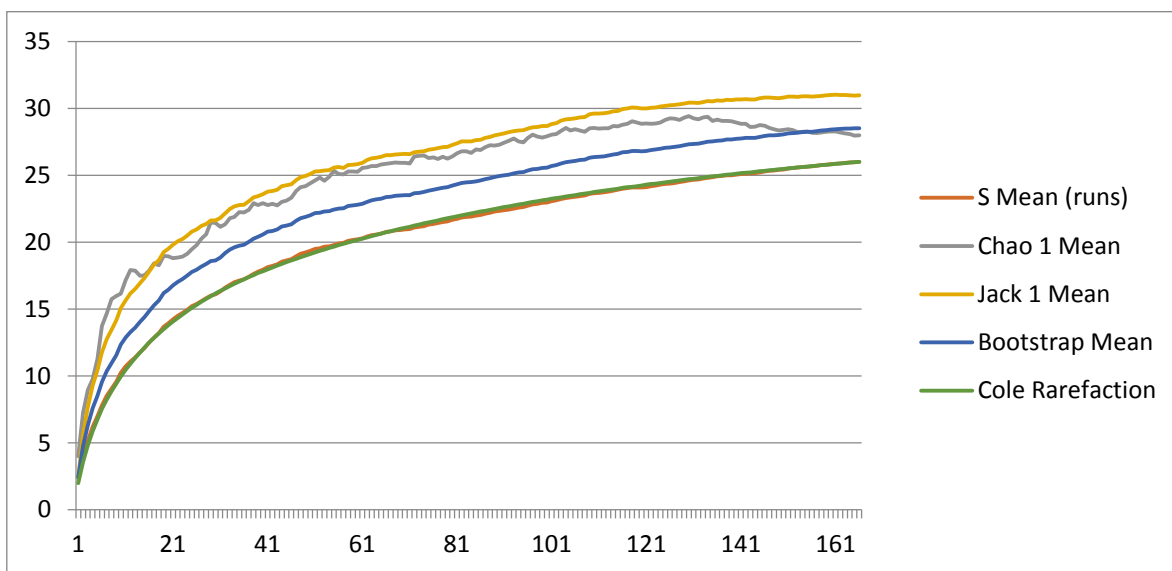


Figura 21. Curva de rarefacción de las especies muestreadas en el matorral xerófilo del Valle del Mezquital, Hidalgo.

9.3 Índice de Valor de Importancia

El Índice de Valor de Importancia (IVI), se calculó para cuatro mosaicos de vegetación con dos repeticiones por cada mosaico, obteniendo un total de ocho unidades de muestreo (UM) (cuadro 1 y anexo 1), basado en dos parámetros: densidad relativa y frecuencia relativa. El IVI define cuáles de las especies presentes contribuyen en el tipo y estructura de un ecosistema (Cottam y Curtis, 1956).

Cuadro 1. Unidades de muestreo en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo.

Unidades de Muestreo (UM)	Especie dominante
1 y 5	<i>Buchloë dactyloides</i>
2 y 6	<i>Mimosa depauperata</i>
3 y 7	<i>Mimosa biuncifera</i>
4 y 8	<i>Prosopis laevigata</i>

Las especies con altos IVI presentes en las ocho UM fueron: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata* y *Flourensia resinosa* (cuadro 2). Los valores de densidad relativa y frecuencia relativa determinaron el IVI.

Campo y Duval (2014) mencionan que aquellas especies que presentan un valor mayor son aquellos que poseen un patrón regular, mientras aquellas con valor bajo son características de un patrón agregado, irregular y disperso.

En la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para las etapas serales dominados por: herbáceas perennes, arbustos bajos, arbustos altos y árboles, el valor obtenido fue de $p=0.8453$, por lo que no hay diferencias significativas entre los IVI de las etapas serales (Figura 22).

Cuadro 2. Índice de valor de importancia en las cuatro etapas de sucesión dominantes del Valle del Mezquital, Hidalgo.

	<i>Buchloë dactyloides</i>	<i>Mimosa depauperata</i>	<i>Mimosa biuncifera</i>	<i>Prosopis laevigata</i>
Especie	Herbáceas perennes	Arbustos bajos (< 1 m)	Arbustos altos (> 1 m)	Arboles
<i>Acacia farnesiana</i>			2.18	
<i>Agave salmiana</i>	7.66	18.5	6.52	10.7
Arbusto			2.18	
Arbusto 1				3.32
Arbusto 2				2.4
Arbusto 3				7.88
Arbusto 4				3.98
<i>Buchloë dactyloides</i>	74.32	37.81	43.81	
Cactácea		6.41	7.47	
<i>Condalia mexicana</i>	8.30	12.01	15.2	14.38
Especie 1	1.72			
Especie 2	1.94			
<i>Flourensia resinosa</i>	32.75	32.12	26.1	60.05
Herbácea		1.61		
Herbácea 1		1.61		
<i>Jatropha dioica</i>		2.22		
<i>Karwinskia humboldtiana</i>				20.94
<i>Mimosa biuncifera</i>	4.8		29.91	
<i>Mimosa depauperata</i>	44.4	40.56	20	32.46
Musgo		1.61		
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	6.98	10.62	15,105	
<i>Opuntia streptacantha</i>				10.12
<i>Opuntia imbricata</i>		11.01	11.36	8.07
Pasto		1.61		
Pasto 1		7.71		
Pasto 2		7.1		
Pasto 3	17.11	7.46	10.78	
<i>Prosopis laevigata</i>			6.55	19.28
Planta 1			2.81	
<i>Stenocereus</i>				3.98
<i>Tillandsia recurvata</i>				2.4

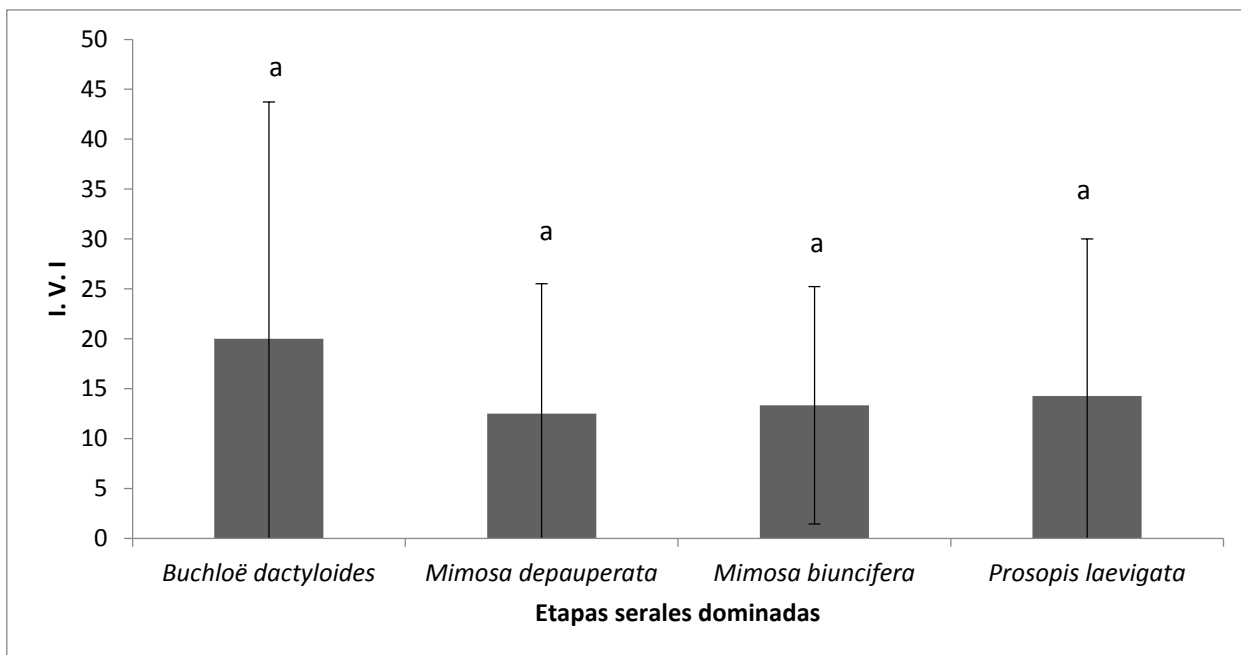


Figura 22. Índice de Valor de Importancia en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo. Las líneas sobre las barras representan una desviación estándar por arriba de la media, para cada etapa seral. Las letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

9.4 Índice de diversidad

En el cuadro 3 se muestra la diversidad (índice de Shannon-Wiener) para la vegetación en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo y en la figura 23 se muestra que no hay una diferencia significativa entre éstas ($p = 0.2667$). Los valores obtenidos con el índice de Shannon-Wiener para este estudio fueron bajos (menor a 2), de acuerdo con Margalef (1972). Para este estudio la mayor diversidad la obtuvo el mosaico vegetal dominado por *Prosopis laevigata* con un valor de 1.91; en un estudio realizado por Montaña-Arias *et al.* (2006), en el municipio de Santiago de Anaya obtuvieron para la vegetación dominada por *Prosopis laevigata* un valor de diversidad (H') de 2.5; de igual manera García (2010) en un estudio realizado para el Valle del Mezquital reporta que el sitio muestreado con una codominancia de *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* obtuvo mayor diversidad de especies en comparación con sitios donde cada leguminosa era la dominante; también Huerta y García (2004), en otros estudios donde trabajaron con cuatro distintos tipos de matorrales, que variaron de 1.07 a 2.17; asimismo Alanís-Rodríguez *et al.* (2015), para el matorral rosetófilo en el noreste de México, reportan valores entre 0.36 y 1.36; también, trabajos realizados en una comunidad madura del matorral espinoso tamaulipeco reportan valores entre 1.94 y 2.40 (Mora *et al.*, 2013; Ramírez-Lozano *et al.*, 2013; González-Rodríguez *et al.*, 2010), también Mata *et al.* (2014) evaluaron comunidades maduras de tres matorrales del noreste de México (matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo y matorral submontano) y obtuvieron valores de 1.90, 1.89 y 1.88

respectivamente, por lo que los valores obtenidos en este trabajo están dentro de los parámetros para matorrales en México.

Por otra parte, los valores en este trabajo para el matorral son bajos, comparando con el estudio realizado por Flores (2015) en Coahuila para el matorral desértico rosetófilo, el cual obtuvo valores mayores a 3, Mata *et al.* (2015) para un matorral desértico rosetófilo del Noroeste de México reportan un valor de 3.13 y en otros estudios como Encina *et al.* (2016), para el matorral submontano en la sierra de Zapalinamé, reportan valores de 2.6,

También en un estudio realizado por Zarco-Espinosa (2010) para una selva alta perennifolia en Chiapas obtuvo un índice de 2.5, por lo que sugiere, que la vegetación en el área puede encontrarse en diferentes etapas de sucesión ecológica; y para la selva Lacandona en Chiapas Hernández (2013) reporto valores de 0.80 a 1.17 durante la época de secas.

Cuadro 3. Índice de diversidad de Shannon-Wiener para la vegetación en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo.

Especie dominante	Diversidad (H')
<i>Buchloë dactyloides</i>	1.19
<i>Mimosa depauperata</i>	1.69
<i>Mimosa biuncifera</i>	1.9
<i>Prosopis laevigata</i>	1.91

En relación a la diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) muestreada (cuadro 4 y figura 24), se muestra el índice de diversidad Shannon-Wiener (H') para las morfoespecies de HMA en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo. Los valores obtenidos con el índice de Shannon-Wiener para este estudio fueron bajos (cerca de 2) de acuerdo con la clasificación de Margalef (1972).

García (2010), en el Valle del Mezquital obtuvo el índice de diversidad para las morfoespecies de HMA asociadas a *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*, encontrando valores altos para este índice; también Muñoz (2013) realizó un estudio para seis especies de vegetación provenientes de un matorral xerófilo, donde evaluó el índice de diversidad de Shannon-Wiener para los consorcios de esporas y obtuvo un valor máximo de 1.29 para el *Agave lechuguilla* mencionando que esto se debe a que la especie presenta el consorcio más diverso y el mínimo con un valor de 0 para *Karwinskia humboldtiana* mencionando que se debe a que no formó consorcios. Por lo que los valores obtenidos para las esporas de HMA en las cuatro especies muestreadas se encuentran dentro del rango para este tipo de matorral y no se encontraron diferencias significativas de este índice entre los mosaicos vegetales ($p > 0.999$).

Cuadro 4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener para las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en cuatro etapas serales de un matorral xerófilo.

Especie dominante	Diversidad (H')
<i>Buchloë dactyloides</i>	2.05
<i>Mimosa depauperata</i>	1.73
<i>Mimosa biuncifera</i>	1.79
<i>Prosopis laevigata</i>	1.49

En las figuras 23 y 24 se muestra el índice de diversidad (H') calculado para la vegetación y para las morfoespecies de HMA, en cada etapa seral, no mostraron diferencias estadísticas significativas en ambos casos.

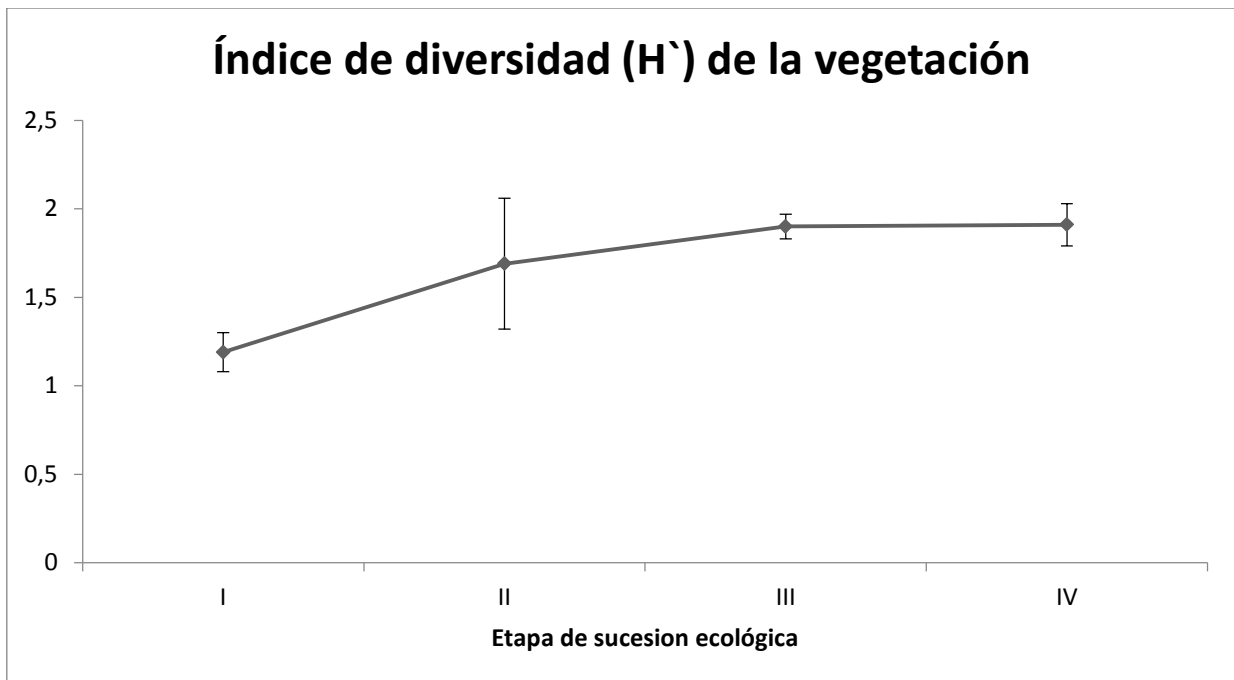


Figura 23. Índice de diversidad Shannon-Wiener de la vegetación en un matorral xerófilo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

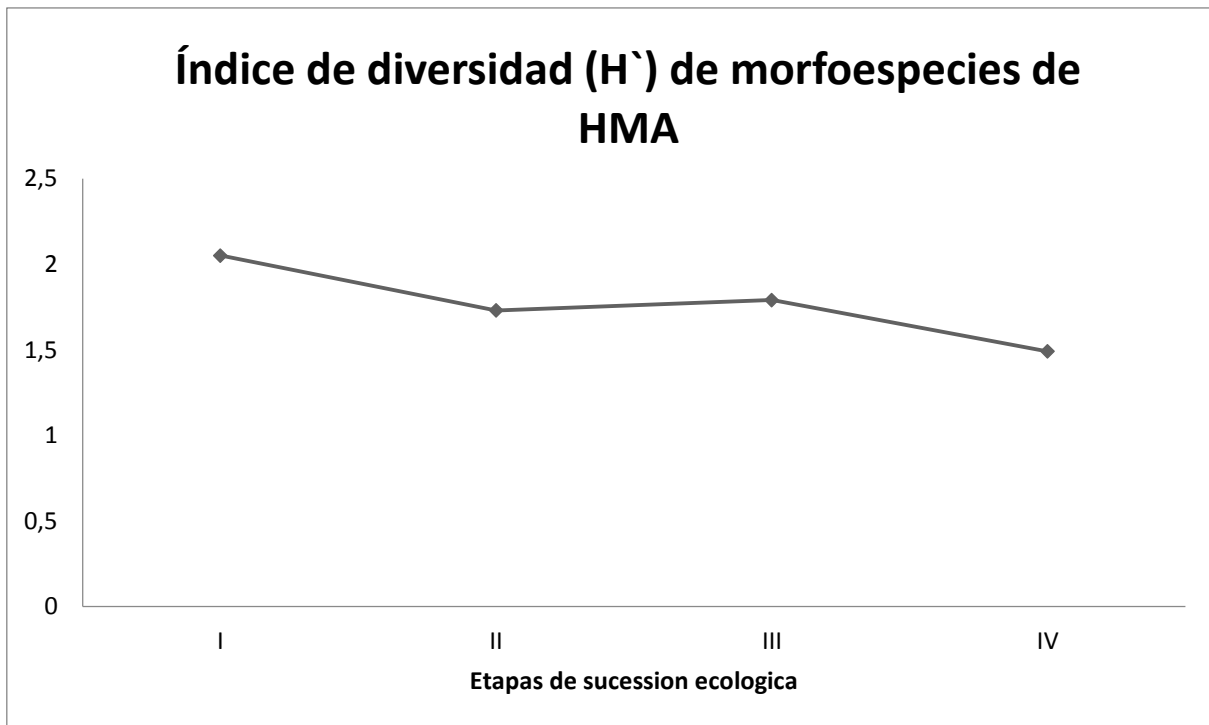


Figura 24. Índice de diversidad Shannon-Wiener de morfoespecies de HMA en un matorral xerófilo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

9.5 Determinación y extracción de esporas

En la extracción y determinación de esporas de HMA, se cuantificaron y se observaron características enfocadas a presencia o ausencia de hifa, la ornamentación de la pared, número de paredes, color, tamaño y su reacción al reactivo Melzer de las capas de la pared de las esporas.

La determinación taxonómica se llevó a cabo mediante las descripciones de los diferentes géneros y especies de HMA que se encuentran disponibles en el International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). Se obtuvo para muestras edáficas de los mosaicos vegetales dominados por: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*. Se registraron un total de cinco familias, ocho géneros y 20 morfoespecies de HMA (Anexo 2). El mosaico vegetal que tuvo el mayor número de morfoespecies (15 sp.) fue el estrato dominado por *Mimosa biuncifera*, mientras que el menor número (13 sp.) correspondieron al estrato de *Mimosa depauperata* y *Prosopis laevigata* (cuadro 5). El género representado por un mayor número de morfoespecies fue *Glomus* con seis. En relación a la abundancia de morfoespecies y las fases sucesionales de vegetación, *Mimosa depauperata* tuvo una mayor abundancia, seguido por *Prosopis laevigata*, posteriormente *Mimosa biuncifera* y la menor abundancia la presentó *Buchloë dactyloides*.

En la etapa seral dominada por herbáceas perennes (*Buchloë dactyloides*), cuenta con una riqueza de morfoespecies de HMA de 14, pero es la que menos riqueza de especies vegetales tiene con 10 especies muestreadas; se encontró una dominancia de morfoespecies del género *Glomus*, seguida por *Acaulospora* y *Sclerocystis*.

En la etapa seral dominada por arbustos bajos (*Mimosa depauperata*), se determinaron en campo 16 especies vegetales relacionadas con 13 morfoespecies de HMA; *Glomus* sp. 2 es el más abundante en esta etapa seral seguido de *Acaulospora* sp. 1 y al final *Glomus caesaris*. *Acaulospora* es el género más representativo en cuanto a número de morfoespecies, sin embargo, en cuanto a la abundancia *Glomus* es el que tiene valores más altos, también hay presencia de la especie *Racocetra gregraria*. Allen *et al.* (1998) señalan que *Gigaspora* y *Racocetra* son géneros asociados a buenas condiciones de la vegetación, lo que sugiere que la presencia de estos géneros indica buena condición del ecosistema.

Posteriormente la etapa seral dominada por arbustos altos (*Mimosa biuncifera*), se determinaron en campo 15 especies vegetales relacionados con 15 morfoespecies de HMA; *Glomus* es el género que presenta mayor abundancia. Hernández (2011) realizó un estudio para *Mimosa biuncifera* en un matorral xerofito del Valle del Mezquital, Hidalgo los resultados que obtuvo para la densidad de esporas en una zona perturbada y una conservada es de 341 esporas y 114 respectivamente, así mismo obtuvo 15 morfoespecies de HMA para la zona perturbada y 21 morfoespecies para la zona conservada. Así mismo García (2010) menciona que *Mimosa biuncifera* coloniza los terrenos cuando son abandonados después de un cultivo, dando origen a la vegetación secundaria, lo que sugiere una etapa seral intermedia, y por ello obtuvo mayor diversidad de HMA.

En la última etapa seral dominada por arboles (*Prosopis laevigata*), se determinaron en campo 14 especies vegetales y 13 morfoespecies de HMA; de los trabajos realizados para *Prosopis laevigata*, Monroy *et al.* (2016) obtuvieron una abundancia de esporas con un máximo de 206 y un mínimo de 75, para las especies de HMA encontraron una riqueza de cinco a seis géneros/especies. Para este trabajo realizado con una etapa seral dominada por *Prosopis laevigata* se encontró una abundancia máxima de 46 esporas lo que es un porcentaje menor al reportado por Monroy *et al.* (2016) y una riqueza de HMA de 13 morfoespecies lo cual es mayor a lo reportado para esta especie.

La dominancia del género *Glomus* en ambientes perturbados y en estadios sucesionales tempranos puede deberse a sus elevadas tasas de esporulación (Bever *et al.*, 1996; Husband *et al.*, 2002) y a que es un mejor promotor del crecimiento de plántulas con respecto a *Gigaspora* y *Scutellospora*, cuyas especies son colonizadores más lentos que producen un balance negativo de carbono y fósforo en estadios sucesionales tempranos y hospederos jóvenes además de promover el desarrollo de la red hifal (Allen *et al.*, 2003).

En la abundancia de esporas el género *Glomus* es el más representativo, seguido de *Acaulospora*. Medrano (2002) menciona que el género *Glomus* es el más abundante en el suelo de Santiago de Anaya y probablemente es el que presenta más resistencia y por lo tanto la especie más funcional bajo las condiciones semiáridas del sitio de estudio (Montaño 2000). Algunas especies del género son cosmopolitas pues las especies se

encontraron en casi todos los hábitats, asociados a una amplia gama de especies vegetales. En el trabajo realizado por Montaña (2000) se reporta la presencia de los géneros *Glomus* y *Scutellospora*, así mismo señala a *Glomus* como el más representado para el sitio, lo que concuerda con Medrano (2002). Así también García (2010) reportó para el Valle del Mezquital el 40% de las especies pertenecientes a la familia Glomeraceae; Chimal-Sánchez *et al.* (2015) en un estudio realizado en el Parque Ecológico “Cubitos” reportó que el 54.5% de la riqueza de HMA pertenecen a los géneros *Claroideoglomus*, *Funneliformis* y *Glomus* (Glomerales), también reporta para *Mimosa biuncifera* la mayor riqueza de géneros con 6 spp. en un sitio conservado.

García-Sánchez *et al.* (2012) en un estudio realizado en el Valle del Mezquital, encontraron una abundancia de esporas de HMA mayor bajo el dosel de *Prosopis laevigata* y *Mimosa biuncifera*. Por otra parte, en un estudio realizado en el matorral xerófilo Monroy *et al.* (2007) encontraron una dominancia del género *Glomus* en suelo del zacate navajita azul (*Bouteloua gracilis*) mencionando que el papel probable de inóculos con dominancia de *Glomus* en etapas serales tempranas sea promover el establecimiento y crecimiento de las plantas hospederas. García (2007) también describe para el Valle del Mezquital la presencia de esporas de los géneros: *Glomus* y *Acaulospora*.

Cuevas (2016) en un estudio realizado en cuatro mosaicos forestales en la selva estacional de Veracruz (selva baja caducifolia), encontró que para el matorral *Acaulospora* fue el género mejor representado (siete de las 22 morfoespecies descritas en el trabajo). Sin embargo, lo reportado para Veracruz no concuerda con los resultados encontrados en este trabajo para un matorral xerófilo en Hidalgo, ya que *Glomus* es la especie con mayor abundancia y *Acaulospora* es la segunda más abundante. Sin embargo, en un bosque de montaña en Veracruz, Arias *et al.* (2012), describieron a *Glomus* y *Glomus clarum* con 16 spp. como la más dominante seguida por *Acaulospora* con 12 spp.

Jansa *et al.* (2002) relacionaron la prevalencia de las especies del género *Glomus* con el cambio de uso de suelo en campos agrícolas, en contraste con comunidades más ricas en esporas de HMA y en suelos no cultivados donde predominan especies de los géneros *Gigaspora*, *Scutellospora* y *Acaulospora*.

En estudios realizados por Li *et al.* (2007), en cuatro sitios con distinto grado de perturbación en un ecosistema árido, encontraron que en los sitios más perturbados, la producción de esporas estuvo dominada por morfoespecies del género *Glomus* (48%). Encontraron además que las especies de *Acaulosporas* (principalmente *A. scrobiculata*) dominaron la producción de esporas (47%) en el sitio sin perturbaciones aparentes. Además Lovelock *et al.* (2003) en su estudio realizado en Costa Rica, encontraron que la abundancia de *Glomus* fue relativamente mayor que la de *Acaulospora* en un sitio con precipitaciones más bajas y más estacionales, además estas esporas son menos susceptibles a la depredación y el parasitismo en condiciones ambientales áridas. Por esta razón los niveles de abundancia de *Glomus* en los cuatro mosaicos muestreados en el matorral xerófilo fueron mayores en comparación con las otras morfoespecies, también se sabe que las altas temperaturas y una elevada intensidad lumínica incrementa la producción de

esporas en HMA (Cardoso *et al.*, 2003; Koide y Mosse, 2004). La elevada producción de esporas en el matorral puede deberse a que en este sitio los HMA se encuentran bajo condiciones de estrés.

Diversos autores describen a *Acaulospora* y *Glomus* como los géneros con mayor número de especies presentes en ambientes áridos y semiáridos en todo el mundo (Menezes *et al.*, 2016; Kamalvanshi *et al.*, 2012; Dandan y Zhiwei, 2007; Picone, 2000).

Cuando un suelo se encuentra perturbado hay un aumento en las esporas más pequeñas, generalmente de la familia Glomeraceae y del género *Acaulospora* (Allen *et al.*, 2003), ya que parecen ser más tolerantes a las perturbaciones del suelo, en comparación de esporas de gran tamaño de la familia Gigasporaceae (Boddington y Dodd, 2000). Tiene relación con lo que menciona Piotrowski (2007) quien describe que en los sitios de sucesión temprana, los miembros de las esporas de Glomeraceae probablemente serán los inmigrantes primarios. Por otra parte, los miembros de las Glomeraceae producen esporas copiosas de pequeño volumen en comparación con las Gigasporaceae que producen menos esporas de un tamaño significativamente mayor (Hart y Reader, 2002).

En relación a la sucesión ecológica vegetal y los HMA, Johnson *et al.* (1991) identificaron ciertas especies características de ciertas etapas sucesionales. Por ejemplo, una especie de *Acaulospora* sólo se encontró en suelos de sucesión media a tardía, y *Glomus* sólo estaba presente en los sitios más antiguos. Además, la evaluación de la abundancia de HMA de algunos ecosistemas de dunas ha mostrado un aumento constante de la abundancia de HMA durante la sucesión, con las mayores abundancias en el sitio más antiguo (Greipsson y El-Mayas, 2000; Koske y Gemma, 1997; Allen y Allen, 1980).

Algunos estudios sugieren que las especies de *Acaulospora* son más tolerantes al bajo pH del suelo (Johnson *et al.*, 1991). Esto podría explicar la proliferación de estos HMA en sucesión tardía (Oehl *et al.*, 2004; Jansa *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 1991). Curiosamente, esta especie es también más asociada a la adquisición de fósforo que las especies de *Glomus* o *Gigaspora* (Jakobsen *et al.*, 1992). Lo que podría relacionarse con los resultados obtenidos ya que la mayor riqueza de *Acaulospora* se presentó en las fases sucesionales dominadas por *Mimosa depauperata* y *Mimosa biuncifera* las cuales pueden considerarse como etapas medias a tardías de la sucesión vegetal.

Cuadro 5. Morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en las cuatro etapas de sucesión ecológica.

Morfoespecies	<i>Buchloë dactyloides</i>	<i>Mimosa depauperata</i>	<i>Mimosa biuncifera</i>	<i>Prosopis laevigata</i>
<i>Acaulospora denticulata</i>	X	X	X	
<i>Acaulospora</i> sp.	X	X	X	X
<i>Diversispora</i> sp		X	X	X
<i>Claroideoglopus</i>		X		X
<i>Entrophospora infrequens</i>	X			
<i>Funneliformis mosseae</i>	X	X	X	X
<i>Funneliformis geosporum</i>	X	X	X	X
<i>Gigaspora</i> sp.			X	
<i>Glomus caesaris</i>	X	X	X	X
<i>Glomus</i> sp. 1	X	X	X	X
<i>Glomus</i> sp. 2	X	X	X	X
<i>Glomus</i> sp. 3	X	X	X	X
<i>Glomus</i> sp. 4	X		X	X
<i>Glomus</i> sp. 5	X	X	X	X
<i>Racocetra gregaria</i>		X	X	
<i>Scutellospora</i> sp.		X	X	
<i>Sclerocystis sinuosum</i>	X		X	X
<i>Sclerocystis</i> sp. 1	X			
<i>Sclerocystis</i> sp. 2				
Sin determinar	X			X
TOTAL	14	13	15	13

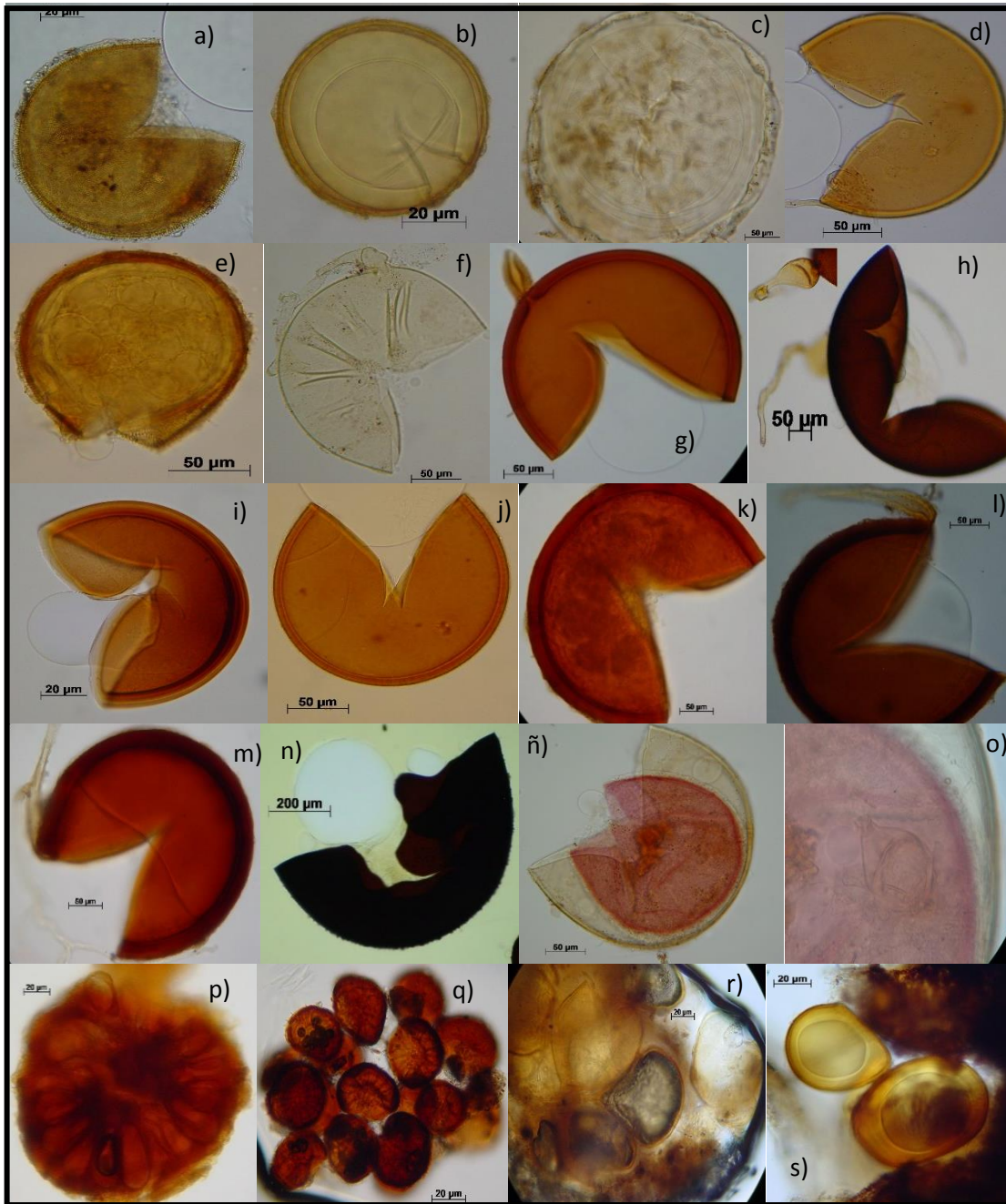


Figura 25. a) *Acaulospora denticulata*; b) *Acaulospora* sp.; c) *Diversispora* sp; d) *Claroideoglomus*; e) *Entrophosphora infrecuens*; f) *Funneliformis mosseae*; g) *Funneliformis geosporum*; h) *Gigaspora*; i) *Glomus caesaris*; j) *Glomus* sp. 1; k) *Glomus* sp. 2; l) *Glomus* sp. 3; m) *Glomus* sp. 5; n) *Racocetra gregaria*; ñ) *Scutellospora* sp.; o) detalle de hifa de *Scutellospora* sp.; p) *Sclerocystis sinuosum*; q) *Sclerocystis* sp. 1; r) *Sclerocystis* sp. 2; s) *Glomus* sp. 6

Cuadro 6. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

Morfoespecies	Color	Forma	Diámetro	No. de paredes	Detalle en la hifa
<i>Acaulospora denticulata</i>	Color castaño claro a naranja claro	subglobosa	120-180 μm	tres	Ausente
<i>Acaulospora</i> sp.	Amarillo	globosa a subglobosa	80-120 μm	tres	Ausente
<i>Diversispora</i> sp.	Hialina	globosa a subglobosa	μm	tres	Ausente
<i>Claroideoglomus</i>	Amarillo a naranja	globosa	60-160 μm	dos	Transparente
<i>Entrophospora infrequens</i>	Naranja castaño claro a naranja castaño oscuro	globosa a subglobosa	110-160 μm	dos	Presente
<i>Funneliformis mosseae</i>	Paja hasta naranja marrón	globosa a subglobosa	100-260 μm	tres	Forma un embudo
<i>Funneliformis geosporum</i>	Amarillo-castaño hasta naranja-café oscuro	globosa a subglobosa	120-240 μm	tres	Forma un embudo delgado
<i>Gigaspora</i> sp.	Amarillo oscuro	globosa a subglobosa	240- 400 μm	tres	Forma un bulbo
<i>Glomus caesaris</i>	Naranja a naranja marrón	globosa a subglobosa	156-212 μm	cuatro	Presente
<i>Glomus</i> sp. 1	Naranja	globosa a subglobosa	130-200 μm	dos	Ausente
<i>Glomus</i> sp. 2	Amarillento a café claro	globosa a subglobosa	100-170 μm	tres	Ausente
<i>Glomus</i> sp. 3	Naranja a naranja marrón	globosa a subglobosa	140- 180 μm	tres	Presente
<i>Glomus</i> sp. 4	Naranja a naranja marrón	globosa a subglobosa	80-130 μm	dos	Presente
<i>Glomus</i> sp. 5	Naranja a naranja marrón	globosa a subglobosa	160-210 μm	dos	Presente
<i>Glomus</i> sp. 6	amarillo pálido	subglobosa a elipsoidal	40-100 μm	tres	Presente
<i>Racocetra gregaria</i>	Rojo-marrón a oscuro	globosa a subglobosa	380-520 μm	dos	Ausente
<i>Scutellospora</i> sp.	Hialina	subglobosa	214-300 μm	tres	Presente
<i>Sclerocystis sinuosum</i>	Naranja marrón a oscuro	globosa a subglobosa	200-360 μm	capa densa	Presente
<i>Sclerocystis</i> sp. 1	naranja	globosa a subglobosa	25-50 μm	una	Ausente
<i>Sclerocystis</i> sp. 2	amarillo	subglobosa	50- 120 μm	una	Presente

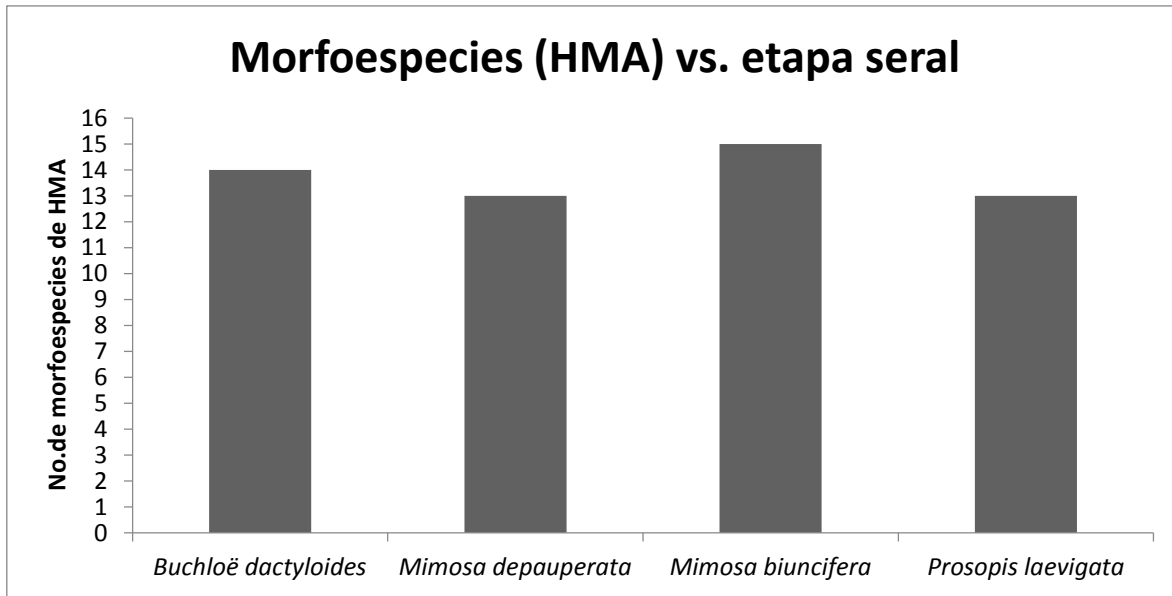


Figura 26. Relación entre el número total de morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares y la etapa seral dominante en el matorral xerófilo.

9.6 Porcentaje de colonización micorrízica

La figura 27 muestra el porcentaje de colonización micorrízica de hifas, vesículas y arbusculos de las raíces de las plantas de *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata* respectivamente, recolectadas en campo. En la observación (figura 29) las hifas y vesículas fueron encontradas en mayores cantidades, mientras que los arbusculos fueron casi nulos, a excepción de *Mimosa depauperata* y *Mimosa biuncifera*, en donde sí se registraron observaciones.

Miller *et al.* (1995) reportan que en temporada de secas el micelio permanece mientras que la producción de raíces se reduce; por lo tanto, el micelio puede facilitar las respuestas funcionales de crecimiento en condiciones limitadas por disponibilidad de agua. En el caso de la colonización por arbusculos, su presencia puede deberse a que es la estructura donde ocurre el mayor intercambio de nutrientes entre las plantas y los HMA y en la temporada de secas las plantas están limitadas no sólo por el estrés hídrico, sino por una baja disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo; por lo tanto es necesaria la translocación de carbono al hongo para la producción de los arbusculos.

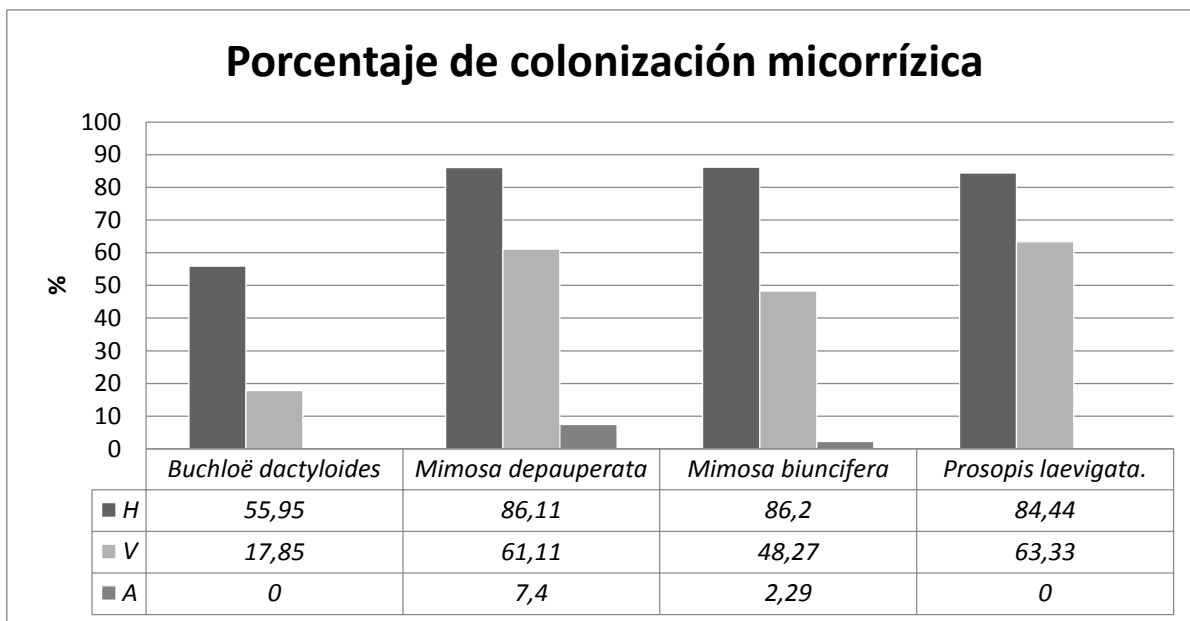


Figura 27 Porcentaje de colonización de hifas (H), vesículas (V) y arbusculos (A) en raíces de *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*.

La colonización micorrízica total (figura 28), muestra que *Mimosa depauperata* fue el mosaico con una colonización mayor (88.88%), seguido de *Mimosa biuncifera* (85.50%), después *Prosopis laevigata* (86.66%) y *Buchloë dactyloides* fue el de menor porcentaje (67.85%).

Barragán (2003) menciona que el porcentaje de colonización micorrízica sirve para conocer qué tanto interactúan las plantas con los hongos micorrízicos; entre más alto sea el porcentaje de colonización mayor influencia tendrá en el crecimiento y desarrollo de una planta. En su estudio encontró un porcentaje máximo de 80% en plantas inoculadas en invernadero, un porcentaje menor en comparación a los obtenidos en este trabajo, por lo tanto, la interacción de la planta con los HMA favorece a ambos simbiontes y así los vegetales micorrizados normalmente aumentan su crecimiento y vigor según lo menciona Rubio *et al.* (1997), debido al estrés hídrico que presentan las plantas sin mutualismo micorrízico en campo.

Hernández (2011) reporta una colonización micorrízica para *Mimosa biuncifera* de 70% con inóculo proveniente de una zona perturbada y 55% con inóculo de una zona conservada, el porcentaje de colonización total micorrízica para este trabajo fue alta en comparación del trabajo mencionado, ya que se obtuvo un porcentaje del 88.5% para *Mimosa biuncifera* y se encuentra dentro del rango reportado por Muñoz (2013) quien obtuvo porcentajes de colonización total micorrízica para diferentes especies vegetales de un matorral xerófilo inoculadas en invernadero entre 80% y 94.9%.

García-Sánchez *et al.* (2007) reportó una colonización del 54% en *Mimosa depauperata*. Por otra parte, para *Prosopis laevigata* la colonización micorrízica varía entre 3.5% y 53% (García-Sánchez *et al.*, 2007; Monroy *et al.*, 2007).

Cruz (2013) menciona que el micelio es importante para el desempeño funcional de las plantas bajo condiciones de estrés hídrico. En algunos estudios se ha observado que el micelio disminuye en condiciones secas (Staddon *et al.*, 2003); sin embargo, también existen estudios en los que la producción de micelio aumentó en estas condiciones (Khalvati *et al.*, 2005; Davies *et al.*, 1992; Bethlenfalvay *et al.*, 1988).

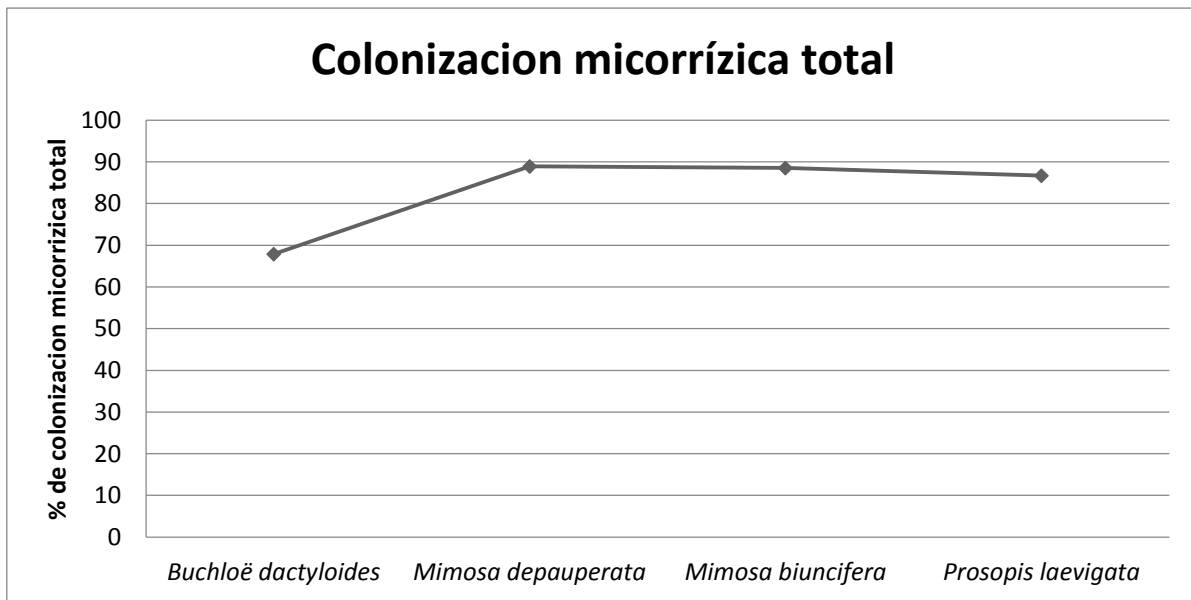


Figura 28. Porcentaje de colonización micorrízica total (CT) en raíces de *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*.

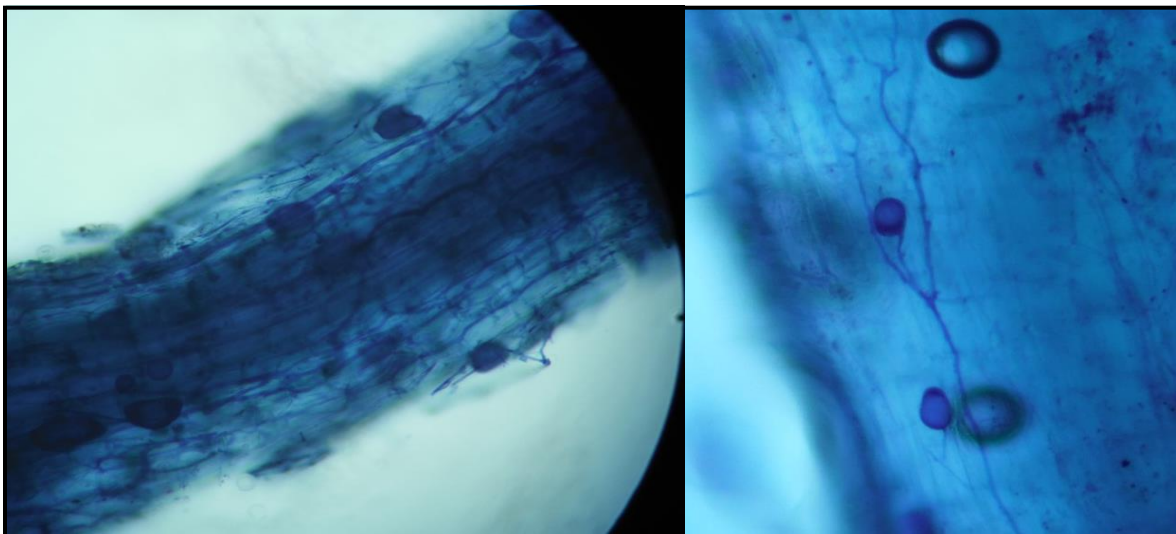


Figura 29. Colonización micorrízica en raíz de *Buchloë dactyloides*.

9.7 Distribución de la Abundancia Relativa

La Distribución de abundancia relativa de vegetación (figuras 30, 31, 32 y 33) representada para cuatro etapas de sucesión vegetal dominadas por: *Buchloë dactyloides*, *Mimosa depauperata*, *Mimosa biuncifera* y *Prosopis laevigata*.

Los resultados obtenidos para la prueba de *chi* cuadrada (χ^2 - bondad de ajuste) con $\alpha = 0.05$, muestran una clara tendencia a acercarse a una bondad de ajuste, por lo tanto si hay una relación entre los consorcios de morfoespecies de HMA y la vegetación en las etapas serales de sucesión ecológica. Los datos finales para cada etapa seral se calcularon a partir de una transformación de la abundancia relativa de la vegetación y de las morfoespecies de HMA a raíz cuadrada. Valor de χ^2 calculada: *Buchloë dactyloides* ($\chi^2 = 7.98$, gl=16.91), *Mimosa depauperata* ($\chi^2 = 3.04$, gl=23.68), *Mimosa biuncifera* ($\chi^2 = 1.00$, gl=23.68) y *Prosopis laevigata* ($\chi^2 = 2.27$, gl=23.68).

Por otra parte el modelo logarítmico de abundancia muestra cierta dominancia de especies en las cuatro etapas serales para especies vegetales y para consorcios de morfoespecies ya que la forma de las curvas son en forma de “S” (Wilson 1999).

May (1975) menciona que el crecimiento de las plantas se verá afectado por varias otras especies, y por varios factores ambientales además Monroy *et al.* (2016) mencionan que la estructura de la comunidad vegetal refleja la dinámica del agua debido a los pulsos de precipitación y la distribución espacio-temporal del potencial hídrico del suelo. Lo que podría explicar la dominancia de algunas especies de vegetación y la relación con la red hifal de los hongos micorrizógenos arbusculares.

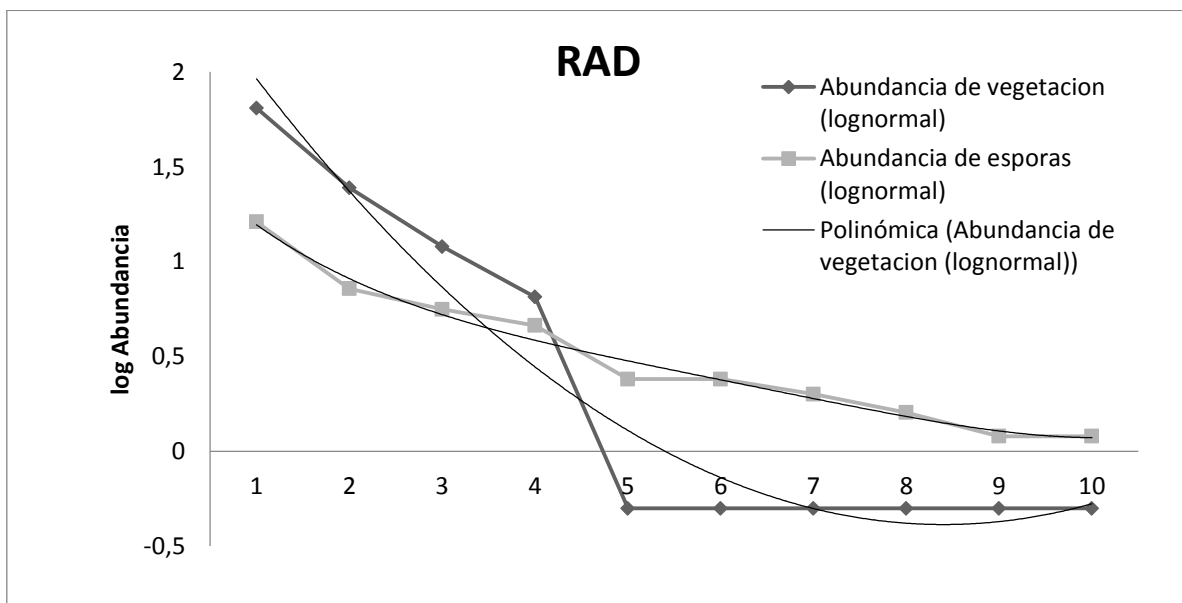


Figura 30. Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Buchloë dactyloides*.

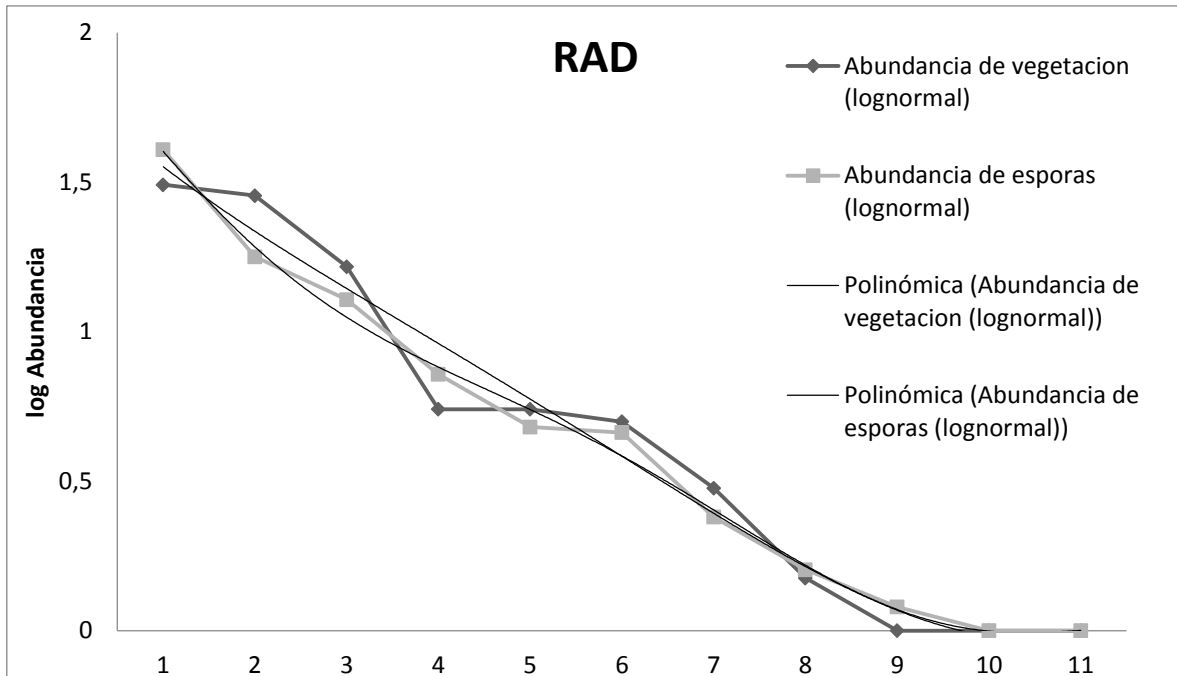


Figura 31. Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Mimosa depauperata*.

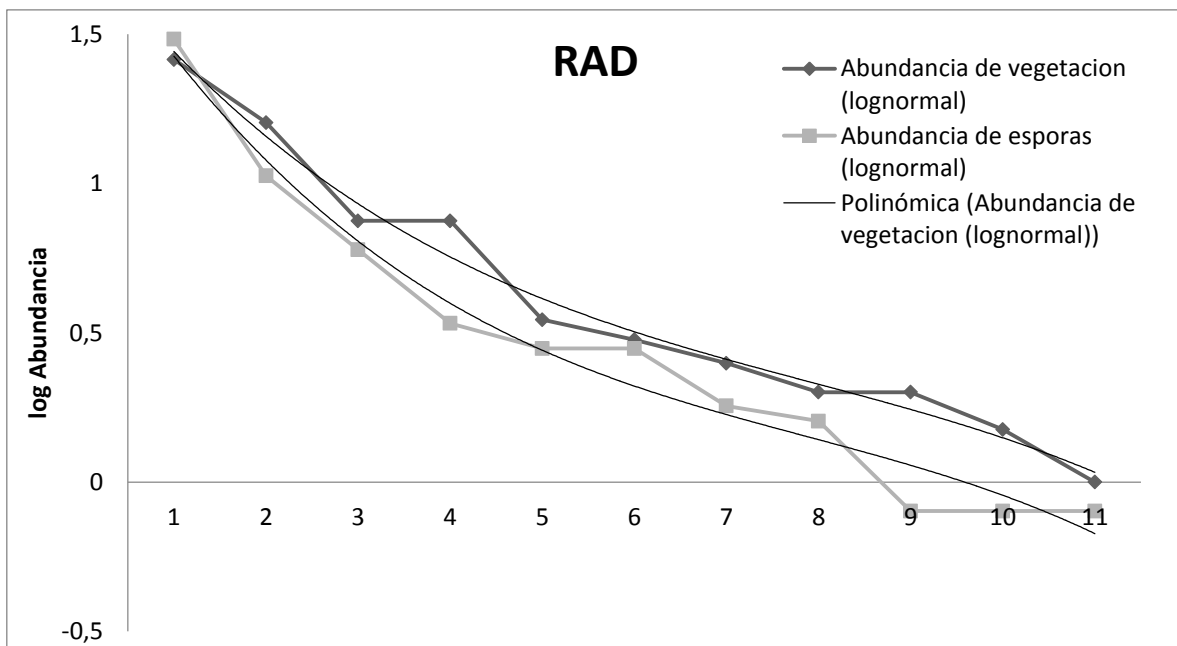


Figura 32. Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Mimosa biuncifera*.

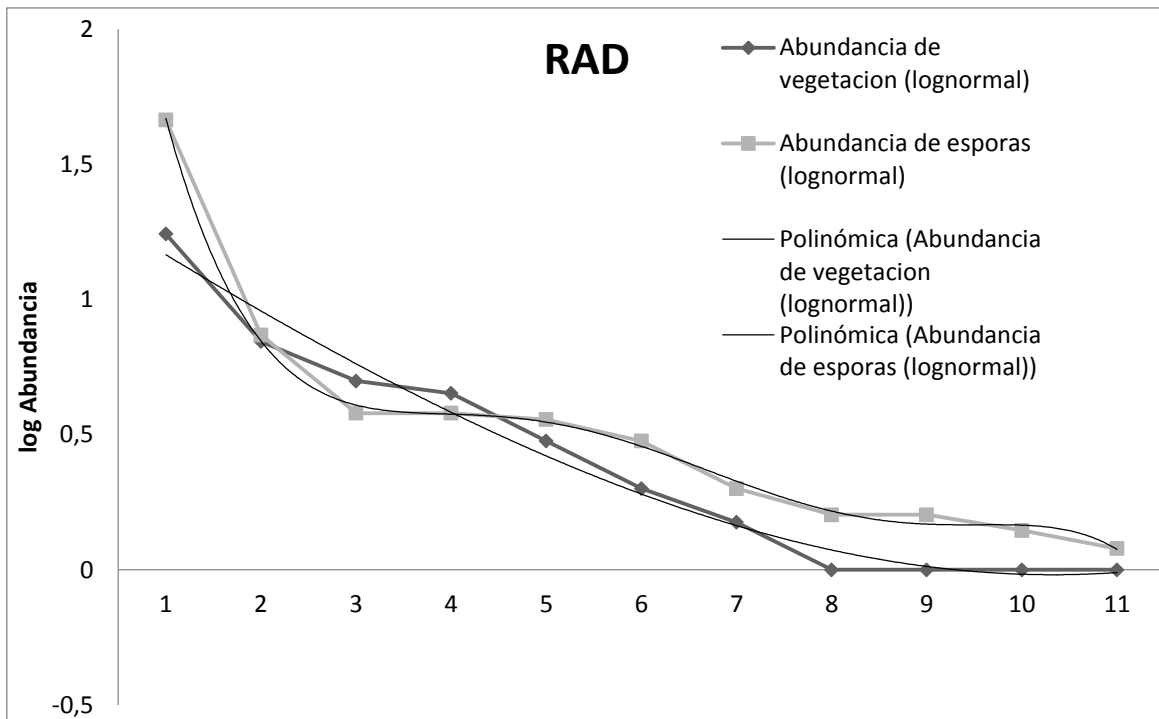


Fig. 33 Distribución de la Abundancia Relativa entre morfoespecies de HMA y vegetación en etapa seral dominado por *Prosopis laevigata*.

X. CONCLUSIONES

- La hipótesis fue aceptada ya que sí existe una correlación entre los consorcios de morfoespecies de HMA y el mosaico vegetal de cada una de las cuatro fases sucesionales estudiadas.
- Se planteó que se encontrarían diferencias en las morfoespecies de HMA para cada etapa sucesional, sin embargo la dominancia de *Glomus* en todas las fases y la presencia de *Acaulospora* no muestran una diferencia significativa para las fases sucesionales.
- Los valores obtenidos en el índice de Shannon-Wiener para las morfoespecies de HMA y los mosaicos de vegetación fueron similares.
- Se determinaron ocho especies de HMA y se obtuvieron un total de 20 morfoespecies presentes para el Municipio de Santiago de Anaya, en el Valle del Mezquital.
- Se realizaron perfiles verticales y mapas de cobertura de la vegetación de un matorral xerófilo, para las cuatro etapas de sucesión vegetal, lo cual muestra una transición de dominancia en cobertura, herbáceas a arbustos y a árboles en la fase madura.

XI. Recomendaciones

1. Ampliar el tamaño de la muestra para los mosaicos de vegetación, así como realizar mayor número de repeticiones para cada uno.
2. Determinar todas las especies vegetales en cada mosaico.
3. Realizar un cuadro de correspondencia de especies en los 4 mosaicos (índice de similitud).
4. Determinar las especies de HMA.

X. REFERENCIAS

- Alanís-Rodríguez E., Mora-Olivo A., Jiménez-Pérez J., González-Tagle M., Yerena Y.J.I., Martínez-Avalos J. y González-Rodríguez L. 2015. Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana* 110:105-117.
- Allen. M.F. 1991. *The Ecology of mycorrhizae*. Cambridge University Press, Cambridge. 184 pp.
- Allen E.B. & Allen M.F. 1984. Competition between plants of different successional stages: Mycorrhizae regulators. *Canadian Journal of Botany*, 62, 2625-2629 pp.
- Allen, E.B.; Allen, M.F. 1980. Natural Re-Establishment of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Following Stripmine Reclamation in Wyoming. *Journal Applied Ecology* 17, 139-147.
- Allen E.B., Allen M.F., Egerton-Warburton L., Corkidi L. & Gómez-Pompa A. 2003. Impacts of early- and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, Mexico. *Ecological Applications*, 13 (6) 1701-1717
- Allen E.B., Allen M.F., Helm D.J., Trappe J.M., Molina R., & Rincon E. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*, 63, 47-62 pp.
- Aguilera G.L.I., Olalde P.V., Arriaga M.R., Contreras A.R. 2007. Micorrizas arbusculares. *Ciencias Ergo Sum*, 14, 300-306 pp.
- Arias R.M., Heredia-Abarca G., Sosa V.J., Fuentes-Ramirez L.E. 2012 Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico *Agroforestry Systems* 85:179–193
- Aziz T., Sylvia D.M. & Doren R.F. 1995. Activity and species composition of arbuscular mycorrhizal fungi following soil removal. *Ecological Applications*, 5, 776-784 pp.
- Bago B., Azcón-Aguilar C., Goulet A. & Piché Y. 1998a. Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 139, 375-388 pp.
- Bago, B., Azcón-Aguilar C. & Piché Y. 1998b. Architecture and development dynamics of the external mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown under monoxenic conditions. *Mycologia*, 90, 52-62 pp.
- Barragán V.E.A. 2003. Inoculación micorrízica de *Prosopis laevigata* L (mezquite) en condiciones de invernadero y su efecto al trasplante a condiciones de campo. Tesis Licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México.
- Beauchamp V.B., Stromberg J.C., & Stutz, J.C. 2007. Flow regulation has minimal influence on mycorrhizal fungi of a semi-arid floodplain ecosystem despite changes in hydrology, soils, and vegetation. *Journal of Arid Environments* 68, 188-205.
- Bethlenfalvay G.J., Brown M.S., Ames R.N. & Thomas R.S. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologia Plantarum* 72: 565-571.
- Bever J.D., Morton J.B., Antonovics J. & Schultz P.A. 1996. Host-dependent sporulation and species diversity of Arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. *Journal Ecology* 84:71–82
- Boddington C.L. & Dodd J.C. 2000. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant and Soil* 218: 137-144.
- Bonfante P., Balestrini R. & Mendgen K. 1994. Storage and secretion process in the spore *Gigaspora margarita* Becker & Hall as revealed by high-pressure freezing and freeze substitution. *New Phytologist* 128, 93-101 pp.
- Brundrett M.C. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 21, 171-313 pp.

- Campo A.M. y Duval V. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*, 34, 25-42 pp.
- Cardoso I.M., Boddington C., Janssen B.H., Oenema O. & Kuyper T.W. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems* 58: 33-43.
- Carlson D.H., Thurow T.L., Knight R.W. & Heitschmidt R.K. 1990. Effect of honey mesquite on the water balance of Texas rolling plains rangeland. *Journal of range management*. 43(6), 491-496.
- Cervantes R.M.C. 2002. *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Instituto de Geografía. UNAM. México, 17, 50–142 pp.
- Charest C., Dalphe Y. & Brown A. 1993. The effect of vesicular–arbuscular mycorrhizae and chilling on two hybrids of maize. *Mycorrhiza*, 4, 89–92 pp.
- Chimal-Sánchez E., Araiza-Jacinto M.L. & Román-Cárdenas V.J. 2015 El efecto del fuego en la riqueza de especies de hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de matorral xerófilo en el Parque Ecológico “Cubitos”. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 18(2):107-115.
- Clements, F.E. 1916. Plant succession, an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute Washington Publication 242.
- Colwell R.K. 2013 Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Version 9. User’s Guide and application published at <http://purl.oclc.org/estimates> (Consultado Febrero de 2017)
- Cook W.M., Yao J., Foster B.L., Holt R.D. & Patrick L.B. 2005. Secondary Succession in an experimentally fragmented Landscape: Community Patterns across space and time. *Ecology*, 86(5), 1277-1279.
- Cottam G. & Curtis J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37, 451- 460.
- Cruz P.C. 2013 Cuantificación de la colonización intrarradical y extrarradical de hongos micorrizógenos arbusculares en un mosaico heterogéneo en el trópico seco de Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis Maestría, México, 95 pp.
- Cuevas V.I. 2016 Caracterización de la comunidad de Hongos micorrizógenos arbusculares y su relación con la vegetación en un mosaico forestal del trópico seco de Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, México, D.F.
- Dandan, Z. & Zhiwei Z. 2007. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology* 37, 118–128.
- Davies Jr. F.T., Potter J.R. & Linderman R.G. 1992. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. *Journal of Plant Physiology* 139: 289-294
- De-la-Rosa-Mera C.J. y Monroy-Ata A. 2006. Mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 9(2):96-100
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Encina D.J.A., Castellón E.E., Villareal Q.J.A, Villaseñor J.L., Cantú A.C.M. & Arévalo J.R. 2016. Floristic richness of the Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Phyto Taxa* 283.
- Encina-Domínguez J.A., Meave A.J. & Zárate-Lupercio A. 2013. Structure and woody species diversity of the *Dasyllirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila State, Mexico. *Botanical Sciences* 91(3):335-347

- Evans D.G. & Miller M.H. 1990. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. *New Phytologist*, 114, 65-75 pp.
- Flores H.C.J. 2015. Estructura y Diversidad del Matorral Desértico Rosetófilo de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de agronomía. Departamento forestal, Saltillo, Coahuila, México Junio 69 p.
- Friese C.F. & Allen M.F. 1991. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture. *Mycologia*. 83, 409-418 pp.
- García S.R. 2010. Diversidad funcional de los hongos micorrizógenos arbusculares de islas de recurso del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de botánica. Estado de México, 125p.
- García D.M. 2007. Estudio taxonómico de los hongos micorrízicos arbusculares asociados a *Bouteloua curtipendula* en cuatro poblaciones del Valle del Mezquital Hgo. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de México, FES Zaragoza, D.F., 71 p.
- García-Sánchez R., Camargo-Ricalde S.L., García-Moya E., Luna-Cavazos M., Romero-Manzanares A. & Montaña M.N. 2012. *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae) jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical*, 60 (1):87-103.
- García-Sánchez R., Monroy-Ata A. y Chimal-Sánchez E. 2007. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. 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.
- Gaston K.J. 1996 Biodiversity. A biology of numbers and difference. Blackwell Science. Cambridge. 408p.
- Gerdeman J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhizal and plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, 6, 397-418 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.
- Godínez, H. 1998. Los desiertos mexicanos, sus características e importancia. *Ciencia y Desarrollo* 143: 17-22.
- González-Chávez, M.C.A, Gutiérrez-Castorena M.C. & Wright S. 2004. Hongos Micorrízicos Arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana*. 22, 507-514 pp.
- González-Rodríguez H., Ramírez-Lozano R.G., Cantú-Silva I., Gómez-Meza M.V. & Uvalle-Sauceda J.I. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 29: 91-106.
- González M.F. y Chiang F. 1988. Diversidad florística y fitogeográfica de las zonas áridas del centro y sur de México. Resumen de ponencias. Simposio sobre diversidad biológica de México, Oaxtepec. 34-36 pp.
- Gould F.W. 1979. The genus *Bouteloua* (Poaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 66(3), 348-416.
- Greipsson S. & El-Mayas H. 2000. Arbuscular Mycorrhizae of *Leymus arenarius* on Coastal Sands and Reclamation Sites in Iceland and Response to Inoculation. *Restoration ecology* 8, 144-150pp.
- Grubb P.J. 1985. Plant population and vegetation in relation to habitat, disturbance and competition: problems of generalization. *The Population Structure of Vegetation*. 3, 595-621 pp.
- Gupta R. & Mukerji K.G. 2000. The growth of Vam fungi under stress conditions. *Mycorrhizal Biology*. 57-65 pp.

- Harley J.L. & Smith S.E. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press Inc., London, UK. 483 pp.
- Hart M.M. & Reader R.J. 2002. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 153, 335-344.
- Hernández O.L. 2013. Diversidad y abundancia de hongos micorrizógenos arbusculares en la Selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de México, Facultad de Ciencias, D.F., 90p.
- Hernández L.G.M. 2011. Crecimiento en invernadero de *Mimosa biuncifera* Benth., inoculada con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) provenientes de matorrales xerofitos del Valle del Mezquital, Hgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. D. F., México, 66 p.
- Huerta-Martínez F.M. & García-Moya E. 2004. Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: implicaciones para la conservación. *Interciencia* 29: 435-444.
- Husband R., Herre E.A., Turner S.L., Gallery R. & Young J.P. 2002. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and patterns of host association over time and space in a tropical forest. *Molecular Ecology* 11(12): 2669–2678.
- Jakobsen I., Abbott L.K. & Robson A.D. 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*. 120, 371-380.
- Jansa J., Mozafar A., Anken T., Ruth R., Sanders I.R. & Frossard E. 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12: 225-234.
- Jasper D.A., Abbott L.K. y Robson A.D. 1991. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. *New Phytologist*. 118, 417-476 pp.
- Johnson N.C., Zak, D.R., & Tillman D. 1991. Dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizae during old field succession. *Oecologia* 86, 349-358.
- Johnson N.C. & Wedin D.A. 1997. Soil carbon, nutrients, and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecological Applications* 7, 171-182.
- Kamalvanshi M., Kumar A., Jha A. & Dhyani S.K. 2012. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere of *Jatropha curcas* L. in arid and semiarid regions of India. *Indian J. Microbiol.* 52, 492–494.
- Khalvati M.A., Hu Y., Mozafar A. & Schmidhalter U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology* 7: 706-712.
- Koide R.T. & Mosse B. 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*. 14(3):145-63.
- Koske R.E. & Gemma J.N. 1997. Mycorrhizae and Succession in Plantings of Beachgrass in Sand Dunes. *American Journal of Botany*. 84, 118-134
- Kothari S.K., Marschner H. & Romheld V. 1991. Effects of a Vesicular-arbuscular and rhizosphere micro-organisms on manganese reduction in the rhizosphere and manganese concentrations in maize (*Zea mays* L.) *New Phytologist*. 117, 649–655 pp.
- Lambers H., Chapin III., F.S. & Pons T.L. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. 590 pp.
- Laska G. 2001. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology* 157, 77-99 pp.
- Li L-F., Li T. & Zhao Z-W. 2007. Differences of arbuscular Mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, an old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China. *Mycorrhiza*, 17:655-665
- Lovelock C.E., Andersen K. & Morton J.B. 2003. Arbuscular Mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia* 135:268-279.

- Luna C.L.A. 2005 Influencia de Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA) sobre el desarrollo de *Agave salmiana* (Agavaceae) y *Opuntia streptacantha* (Cactaceae) en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. 92 pp.
- Magurrán A.E. 1988. Ecological diversity and its measurements. Princeton University Press. New Jersey-U.S.A. 179 p.
- Margalef R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transaction of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. 44: 211-235.
- Margalef R. 1968. Perspectives in ecological theory. University of Chicago Press, Chicago 111p.
- Margalef F.R. 1963. On certain unifying principles in ecology. *The American Naturalist*. 97: 357-374.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *General Systems*. 3 : 36-71.
- Marschner H. & Dell B. 1994. Nutrient Uptake in Mycorrhizal Symbiosis. *Plant and soil*. 159, 89 - 102 pp.
- Mata B.J.M., Treviño G.E.J., Jiménez P.J., Aguirre C.O.A., Alanís R.E. & Mora O.A. 2015 Estructura y composición florística del matorral desértico rosetófilo del noreste de México. *Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciencia UANL*. 75:67-74.
- Mata M., Treviño E., Valdecantos A., Jiménez J., Aguirre O., Alanís E. & Foroughbackhch R. 2014. Diversidad y composición vegetal de matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(3):3-15.
- May R.M. 1975. Patterns of species abundance and diversity, En: Wilson, J. B. 1991 Methods for fitting dominance/diversity curves. *Botany Department, University of Otago, New Zealand. Journal of Vegetation Science* 2: 35-46.
- Medrano C.H.I. 2002. Obtención de un inoculo endomicorrizico nativo para un agostadero semiárido degradado de Santiago de Anaya, Hidalgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México 98p.
- Mejía, M.T. y Dávila, P. 1992. Gramíneas útiles de México. México. 1ra edición. D.F. UNAM. Instituto de Biología.
- Menezes K.M.S., Silva D. K.A., Queiroz M.A.A., Wagner P.F & Yano-Melo A.M. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in buffelgrass pasture under intercropping and shading systems in Brazilian semiarid conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 230: 55–67
- Miller R.M., Reinhardt D.R. & Jastrow J.D. 1995. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia* 103: 17-23.
- Miranda F. 1955. Formas de vida vegetales y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México. en: Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. Edic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México, D. F. pp. 85-119.
- Monroy A.A., Estevez T.J., Garcia S.R. & Rios G.R. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 80:49-57.
- Monroy A.A., Peña-Becerril J.C. & Garcia-Diaz M. 2016 Mycorrhizal symbiosis organization of dominant tree *Prosopis laevigata* (mesquite) in a xeric shrub of central México Recent *Advances on Mycorrhizal Fungi*. 35-45 pp.
- Montaño A.N.M. 2000. Potencialidad de los hongos micorrizógenos arbusculares de las islas de fertilidad de Mezquite (*Prosopis laevigata*) de dos agostaderos semiáridos del Valle de Actopan, México central un enfoque Ecológico para recuperar la vegetación. Tesis Licenciatura, F. E. S. Zaragoza, UNAM, México.
- Montaño-Arias N.M., García-Sánchez R., Ochoa-de-la-Rosa G. & Monroy-Ata A. 2006 Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México *Terra Latinoamericana*. 24(2): 193-205 pp.

- Montaño A.N.M, Camargo-Ricalde S.L., García-Sánchez R. & Monroy A.A. 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid semiarid ecosystems). Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi Prensa SA de CV. Distrito Federal, México. 460 pp.
- Mora D.C.A., Alanís R.E. Jiménez P.J., González T.M.A., Yerena Y.J.I & Cuellar R.L.G. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12(1): 29-34.
- Moreno C.E. & Halfpeter G. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 38:487-490 p.
- Morrin P.J. 1999. Community Ecology. Blackwell Science, Oxford.
- Mostacedo B. & Fredericksen T.S. 2000. Manual de metodos basicos de muestreo y analisis en ecologia vegetal. El pais. Bolivia. 92 pp.
- Mueller-Dombois D. & Ellenberg H. 1974. Aims and Methods of vegetation Ecology. Jhon Willer and Sons, Nueva York 547 p.
- Muñoz C.A.A. 2013, Consorcios de hongos micorrizógenos arbusculares asociados a seis especies vegetales provenientes de matorral xerófilo. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, 62 p.
- Myster R.W. 2001. What is Ecosystem Structure? Caribbean Journal of Science. 37, 132-134.
- Nakano A., Kazushi T. & Kimura M. 2001. Effect of Host Shoot Clipping on Carbon and Nitrogen Sources for Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Mycorrhiza*. 10, 287-293 pp.
- Odum E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164: 262-270.
- Oehl F., Sieverding E., Mäder P., Dubois D., Ineichen K., Boller T. & Wiemken A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574–583.
- Peña B.J.C. 2002. Influencia de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el establecimiento de *Mimosa biuncifera* Benth bajo condiciones de sequía en un invernadero. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. 64pp.
- Pickett S.T.A & Cadenasso M.L. 2006. Vegetation dynamics. en: Pickett S.T.A., Kolasa J. & Jones C.G. (eds), Ecological understanding. The nature of theory and the theory of nature. Academic Press Inc., San Diego, Second edition. pp. 172-98.
- Pickett S.T.A. & McDonnell M.J. 1989. Changing perspectives in community dynamics: A theory of successional forces. *Trends in Ecology & Evolution*. 4: 241-5.
- Pickett S.T.A. & White P.S. 1985. Patch dynamics: a synthesis. *Unknown Journal*, 371-384 pp.
- Picone C. 2000. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. *Biotropica* 32, 734–750.
- Piotrowski J.S. 2007. Succession of arbuscular mycorrhizal fungi: causes, consequences, and considerations. Theses, Dissertations, Professional Papers. Paper. 187p.
- Phillips J.M. & Hayman D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158-161
- Ramírez-Lozano R.G., Domínguez-Gomez T.G., González-Rodríguez H., Cantú-Silva I., Gómez-Meza M.V., Sarquís-Ramírez J.I. & Jurado E. 2013. Composición y diversidad de la vegetación en cuatro sitios del noreste de México. *Madera Bosques* 19:59-72.
- Rosendahl S., Rosendahl C.N. & Sochting U. 1992. Distribution of VA mycorrhizal endophytes amongst plants from a Danish grassland community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 29, 329-335 pp.
- Rubio R. H., Cepeda M. P., Borie F. B. y Contreras A. N., 1997. “Efecto de hongos micorrizógenos arbusculares sobre el crecimiento de algunas hortalizas en almacigo y posterior trasplante”. *Agricultura Técnica* (Chile) 57(3): 161-168.
- Rzedowski J., 2006. *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico, 1ª edición digital. (CONABIO).

- Rzedowski J. 1979. Los bosques secos y semihúmedos de México con afinidades neotropicales en: Rabinovich J., Halffer G. (eds). Tópicos de Ecología Contemporánea. Fondo de Cultura Económica. México. 37-46 pp.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Limusa S.A. México, DF. 432 pp.
- Siqueira O., Carbone C.M.A., Curi N., da Silva R.S.C. & Davide A.C. 1998. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in South eastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 107, 241-252 pp.
- Shannon C.E. & Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, EUA: University of Illinois Press 132pp.
- Smith S.E. & Read D. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. Gran Bretaña. 606: 1-9 pp.
- Sonco S.R. 2013 Estudio de la diversidad alfa (α) y beta (β) en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de san Andrés. Facultad de Agronomía. Bolivia. 154p.
- Staddon P.L., Thompson K., Jakobsen I., Grime J.P., Askew A.P. & Fitter, A.H. 2003. Mycorrhizal fungal abundance is affected by longterm climatic manipulation in the field. *Global Change Biology* 9:186-194.
- Stürmer S.L. & Siqueira J.O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21: 255-267
- Tansley A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16: 284-307.
- Treviño C.J. & Hernández S.L.G. 2000. Introducción a los matorrales rosetófilos de Querétaro, México. Memorias de los Mejores Trabajos del Simposio 2000. La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en Querétaro. Consejo de Ciencia y Tecnología de Querétaro. Querétaro, México. pp. 16-25.
- Van der Heijden G.A., Boller T., Wiemken A. & Sanders I.R. 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*. 79, 2082-2091 pp.
- Villavicencio N.M.A., Pérez E.B.E. & Ramírez A.A. 1998. Lista florística del estado de Hidalgo recopilación bibliográfica. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas.
- Walker L.R. & Del Moral R. 2011. Primary Succession. John Wiley & Sons Ltd, Chichester 1-8 pp.
- Wilson J.B. 1999 Assembly rules in plant communities. In: Weiher E, & Keddy P. (eds) Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats. Cambridge University Press, Cambridge, pp 130-164.
- Zarco-Espinosa V.M., Valdez-Hernández J.I., Ángeles-Pérez G., Castillo-Acosta O. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y ciencia trópico húmedo* 26(1):1-17.

Anexos

Anexo 1

UM 1					
Especie	Densidad absoluta	Densidad relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	I. V. I.
<i>Buchloë dactyloides</i>	3,85	62,09677419	0,75	15,789473	77,88
<i>Flourensia resinosa</i>	0,7	11,29032258	1	21,052631	32,34
<i>Mimosa depauperata</i>	1,25	20,16129032	1	21,052631	41,21
Pasto 3	0,25	4,032258065	0,5	10,526315	14,55
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	0,05	0,806451613	0,625	13,157894	13,96
<i>Condalia mexicana</i>	0,05	0,806451613	0,75	15,789473	16,59
Desconocida	0,05	0,806451613	0,125	2,6315789	3,43
Total					200
UM 2					
<i>Flourensia resinosa</i>	1	16,39344262	1	16	32,39
<i>Buchloë dactyloides</i>	3	49,18032787	0,75	12	61,18
<i>Agave salmiana</i>	0,3	4,918032787	1	16	20,91
<i>Mimosa depauperata</i>	1,3	21,31147541	0,375	6	27,31
Cactácea	0,05	0,819672131	0,75	12	12,81
<i>Condalia mexicana schlecht</i>	0,05	0,819672131	0,625	10	10,81
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	0,05	0,819672131	0,5	8	8,81
Pasto 3	0,3	4,918032787	0,625	10	14,91
<i>Opuntia imbricata</i>	0,05	0,819672131	0,625	10	10,81
Total					200
UM 3					
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	0,2	3,773584906	0,625	9,2592592	13,03
<i>Flourensia resinosa</i>	0,5	9,433962264	1	14,814814	24,24
Cactácea	0,05	0,943396226	0,375	5,5555555	6,49
<i>Agave salmiana</i>	0,2	3,773584906	0,625	9,2592592	13,03
<i>Mimosa depauperata</i>	0,1	1,886792453	1	14,814814	16,70
<i>Buchloë dactyloides</i>	2,05	38,67924528	0,75	11,111111	49,79
Planta 1	0,2	3,773584906	0,125	1,8518518	5,62
<i>Opuntia imbricata</i>	0,05	0,943396226	0,625	9,2592592	10,20
Pasto 3	0,75	14,1509434	0,5	7,4074074	21,55
<i>Condalia mexicana</i>	0,25	4,716981132	0,75	11,111111	15,82
<i>Mimosa biuncifera</i>	0,95	17,9245283	0,375	5,5555555	23,48
Total					200

UM 4					
<i>Prosopis laevigata</i>	0,272727273	11,111111111	0,375	8,8235294	19,93
<i>Tillandsia recurvata</i>	0,045454545	1,851851852	0,125	2,9411764	4,79
Arbusto 1	0,090909091	3,703703704	0,125	2,9411764	6,64
<i>Condalia mexicana</i>	0,272727273	11,111111111	0,75	17,647058	28,75
<i>Opuntia streptacantha</i>	0,090909091	3,703703704	0,25	5,8823529	9,58
Arbusto 2	0,045454545	1,851851852	0,125	2,9411764	4,79
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	0,363636364	14,81481481	0,25	5,8823529	20,69
Arbusto 3	0,045454545	1,851851852	0,25	5,8823529	7,73
<i>Flourensia resinosa</i>	1	40,74074074	1	23,529411	64,27
<i>Mimosa depauperata</i>	0,227272727	9,259259259	1	23,529411	32,78
Total					200
UM 5					
<i>Agave salmiana</i>	0,05	1,030927835	0,625	14,285714	15,31
<i>Buchloë dactyloides</i>	2,6	53,60824742	0,75	17,142857	70,75
Desconocido f	0,05	1,030927835	0,125	2,8571428	3,88
<i>Mimosa depauperata</i>	1,2	24,74226804	1	22,857142	47,59
<i>Flourensia resinosa</i>	0,5	10,30927835	1	22,857142	33,16
Pasto 3	0,4	8,24742268	0,5	11,428571	19,67
<i>Mimosa biuncifera</i>	0,05	1,030927835	0,375	8,5714285	9,60
Total					200
UM 6					
<i>Opuntia imbricata</i>	0,05	1,219512195	0,625	10	11,21
<i>Agave salmiana</i>	0,25	6,097560976	0,625	10	16,09
<i>Mimosa depauperata</i>	1,55	37,80487805	1	16	53,80
<i>Condalia mexicana</i>	0,05	1,219512195	0,75	12	13,21
<i>Buchloë dactyloides</i>	0,1	2,43902439	0,75	12	14,43
<i>Flourensia resinosa</i>	0,65	15,85365854	1	16	31,85
Pasto	0,05	1,219512195	0,125	2	3,219
Herbácea	0,05	1,219512195	0,125	2	3,219
Pasto 2	0,5	12,19512195	0,125	2	14,19
Musgo	0,05	1,219512195	0,125	2	3,219
Pasto 1	0,55	13,41463415	0,125	2	15,41
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	0,1	2,43902439	0,625	10	12,43
Herbácea 1	0,05	1,219512195	0,125	2	3,21
<i>Jatropha dioica</i>	0,1	2,43902439	0,125	2	4,43
Total					200
UM 7					

<i>Prosopis laevigata</i>	0,15	6,976744186	0,375	6,1224489	13,09
Arbusto	0,05	2,325581395	0,125	2,0408163	4,36
<i>Flourensia resinosa</i>	0,25	11,62790698	1	16,326530	27,95
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	0,15	6,976744186	0,625	10,204081	17,18
<i>Acacia farnesiana</i>	0,05	2,325581395	0,125	2,0408163	4,36
<i>Buchloë dactyloides</i>	0,55	25,58139535	0,75	12,244897	37,82
<i>Condalia mexicana</i>	0,05	2,325581395	0,75	12,244897	14,57
<i>Mimosa depauperata</i>	0,15	6,976744186	1	16,326530	23,30
<i>Mimosa biuncifera</i>	0,65	30,23255814	0,375	6,1224489	36,35
Cactácea	0,05	2,325581395	0,375	6,1224489	8,44
<i>Opuntia imbricata</i>	0,05	2,325581395	0,625	10,204081	12,52
Total					200
UM 8					
<i>Opuntia imbricata</i>	0,045454545	2,272727273	0,625	13,513513	15,78
<i>Mimosa depauperata</i>	0,181818182	9,090909091	1	21,621621	30,71
<i>Flourensia resinosa</i>	0,590909091	29,54545455	1	21,621621	51,16
<i>Stenocereus</i>	0,090909091	4,545454545	0,125	2,7027027	7,24
<i>Opuntia streptacantha</i>	0,090909091	4,545454545	0,25	5,4054054	9,95
Arbusto 4	0,090909091	4,545454545	0,125	2,7027027	7,24
<i>Prosopis laevigata</i>	0,181818182	9,090909091	0,375	8,1081081	17,19
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	0,272727273	13,63636364	0,25	5,4054054	19,04
Arbusto 3	0,045454545	2,272727273	0,25	5,4054054	7,67
<i>Agave salmiana</i>	0,136363636	6,818181818	0,625	13,513513	20,33
Total					186,3636

Anexo 2

Prueba de Normalidad para las etapas serales dominados por: herbáceas perennes, arbustos bajos, arbustos altos y árboles (Shapiro-Wilks modificado; $p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	10	19.99	23.73	0.0072
<i>Mimosa depauperata</i>	16	12.49	13.04	0.0002
<i>Mimosa biuncifera</i>	15	13.33	11.89	0.0107
<i>Prosopis laevigata</i>	14	14.28	15.74	<0.0001

Prueba de Análisis estadístico Kruskal Wallis ($p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	14	19.99	23.73	0.8453
<i>Mimosa depauperata</i>	13	12.49	13.04	
<i>Mimosa biuncifera</i>	15	13.33	11.89	
<i>Prosopis laevigata</i>	13	14.28	15.74	

Anexo 3

Familia	Especie	Nombre común	Distribución	Forma de crecimiento
Agavaceae	<i>Agave salmiana</i>	Maguey verde, maguey maso, maguey pulquero	Centro y sur de México	Arrosetado
Asteraceae	<i>Flourensia resinosa</i>	San Pedro, t'sapto	Noroeste de México	Arbustiva
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i>	Gallinitas, heno de bola	Desde el sur de Estado Unidos hasta Argentina y Chile.	Epífita
Cactaceae	<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	Nopal de tapón, coyonoxtle	Norte y centro de México	Arbustiva
	<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal cardón	Norte de México	Arbustiva
	<i>Opuntia imbricata</i>	Cardón	Centro y Sureste de E. U. hasta el Centro de México	Arbustiva
	<i>Stenocereus</i>	Órgano	E. U. hasta Venezuela.	
Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Sangregado, telondilla, sangre de grado	Valle de México	Arbustiva
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Centro de México	Arbustiva
	<i>Mimosa biuncifera</i>	Uña de gato	E. U. hasta Valle de México	Arbustiva
	<i>Mimosa depauperata</i>	Gatillo	Centro de México, Querétaro e Hidalgo.	Arbustiva
	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	Durango, San Luis a Oaxaca	Arbustiva
Poaceae	<i>Buchloë dactyloides</i>	Hierba búfalo, Pasto búfalo, Zacate chino	Canadá hasta el centro de México	Herbácea
Rhamnaceae	<i>Condalia mexicana Schlecht</i>	Granjero, Membrillo cimarrón	Durango, Zacatecas, hasta el Distrito Federal y Veracruz	Arbustiva
	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Tullidora	E. U. hasta Valle de México	Arbustiva

Anexo 4

Índice Shannon-Wiener para vegetación en las cuatro etapas serales.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilks modificado; $p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	2	1.19	0.11	0.9883
<i>Mimosa depauperata</i>	2	1.69	0.37	0.9002
<i>Mimosa biuncifera</i>	2	1.9	0.07	0.9883
<i>Prosopis laevigata</i>	2	1.91	0.12	0.0154

Prueba de Análisis estadístico Kruskal Wallis ($p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	2	1.19	0.11	0.2667
<i>Mimosa depauperata</i>	2	1.69	0.37	
<i>Mimosa biuncifera</i>	2	1.9	0.07	
<i>Prosopis laevigata</i>	2	1.91	0.12	

Índice Shannon-Wiener para las morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares en las cuatro etapas serales.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilks modificado; $p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	1	0.98	0.00	0.9999
<i>Mimosa depauperata</i>	1	0.75	0.00	0.9999
<i>Mimosa biuncifera</i>	1	0.71	0.00	0.9999
<i>Prosopis laevigata</i>	1	0.72	0.0	0.9999

Prueba de Análisis estadístico Kruskal Wallis ($p < 0.05$)

Variable	n	Media	D. E.	P (unilateral)
<i>Buchloë dactyloides</i>	1	0.98	0.00	>0.9999
<i>Mimosa depauperata</i>	1	0.75	0.00	
<i>Mimosa biuncifera</i>	1	0.71	0.00	
<i>Prosopis laevigata</i>	1	0.72	0.0	

Anexo 5

Orden	Familias	Géneros	Morfoespecies HMA
Diversisporales	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora aff. denticulata</i>
			<i>Acaulospora sp.</i>
	Claroideoglomeraceae	Claroideoglomerus	<i>Claroideoglomerus</i>
	Entrophosporaceae	Entrophospora	<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid.
	Gigasporaceae	Gigaspora	<i>Gigaspora sp.</i>
Racocetra		<i>Racocetra gregaria</i> (N.C. Schenck & T.H. Nicolson) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	
Glomerales	Glomeraceae	Funneliformis	<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler
			<i>Funneliformis geosporum</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler
		Glomus	<i>Glomus caesaris</i> Sieverd. & Oehl
			<i>Glomus sp. 1</i>
			<i>Glomus sp. 2</i>
			<i>Glomus sp. 3</i>
			<i>Glomus sp. 4</i>
			<i>Glomus sp. 5</i>
		Sclerocystis	<i>Sclerocystis sinuosa</i> Gerd. & B.K. Bakshi
			<i>Sclerocystis sp. 1</i>
			<i>Sclerocystis sp. 2</i>

Anexo 6

Calculo de chi cuadrada (χ^2) para el mosaico dominado por *Buchloë dactyloides*.

fi=Oi	Ei	
8.0311892	4.02492236	7.98510155 χ^2 calculada 16.919 gl
4.94974747	2.68328157	
3.46410162	2.48997992	
2.54950976	2.36643191	
0.70710678	1.54919334	
0.70710678	1.54919334	
0.70710678	1.54919334	
0.70710678	1.09544512	
0.70710678	1.09544512	
0.70710678	0.89442719	

Calculo de chi cuadrada (χ^2) para el mosaico dominado por *Mimosa depauperata*

fi=Oi	Ei	
5.56776436	6.37181293	3.04401457 χ^2 calculada 23,685 gl
5.33853913	4.19523539	
4.0620192	3.57770876	
2.34520788	2.68328157	
2.34520788	2.19089023	
2.23606798	2.14476106	
1.73205081	2	
1.22474487	1.67332005	
1	0.4472136	
1	0.4472136	
1	0.4472136	
0.70710678	0.4472136	
0.70710678	0.4472136	

Calculo de chi cuadrada (χ^2) para el mosaico dominado por *Mimosa biuncifera*

fi=Oi	Ei	
5.09901951	5.5136195	1.00265458 χ^2 calculada 23,685 gl
4	3.25576412	
2.73861279	2.44948974	
2.73861279	2.0976177	
1.87082869	1.67332005	
1.73205081	1.54919334	
1.58113883	1.4832397	
1.41421356	1.34164079	
1.41421356	1	
1.22474487	0.89442719	
1	0.77459667	
0.70710678	0.77459667	
0.70710678	0.4472136	

Calculo de chi cuadrada (χ^2) para el mosaico dominado por *Prosopis laevigata*

fi=Oi	Ei	
4.18330013	6.79705819	2.27794364 χ^2 calculada 23,68 gl
2.64575131	2.7202941	
2.23606798	2.0976177	
2.12132034	2	
1.73205081	1.94935887	
1.41421356	1.8973666	
1.22474487	1.41421356	
1	1.26491106	
1	1.18321596	
1	0.89442719	
1	0.4472136	
0.70710678	0.4472136	
0.70710678	0.4472136	