

50322  
26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

ESTABLECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE PLANTAS DE  
*Acacia schaffneri* INOCULADAS CON HONGOS MICORRIZÓGENOS  
ARBUSCULARES EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y CAMPO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**B I Ó L O G O**  
P R E S E N T A:  
JUAN ) **MIRANDA RAMÍREZ**

DIRECTOR: DR. ARCADIO MONROY ATA

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE 2003

INVESTIGACIÓN REALIZADA CON FINANCIAMIENTO DE LA DIRECCIÓN  
GENERAL DE ASUNTOS DEL PERSONAL ACADÉMICO (DGAPA) A TRAVÉS  
DEL PROYECTO No. IN-205599



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## DEDICATORIA

A mi madre: Jovita Ramírez Motolinía, por enseñarme a valorar la vida y por todo lo que me ha dado durante todos estos años aún cuando las cosas hayan sido difíciles. ¡Gracias mamá!

A mi bisabuela: Maurilia Rosete, aunque desafortunadamente ya no estás junto a mí para disfrutar el alcanzar esta meta. Te agradezco de manera muy profunda el haberme impulsado siempre, aún durante los momentos más difíciles de mi vida dándome cariño y alegría. Te dedico éste que es mi trabajo. ¡Gracias donde quiera que estés, abuel!

A mi padre: Raúl Miranda Capilla, por retarme para seguir adelante y apoyarme para alcanzar esta meta.

A mis hermanas: Guadalupe, Lucía, Isabel, Olga y Carmen, por quererme tanto, ayudarme en los momentos en que más las necesité y por creer en mí. Las quiero a todas.

TESIS CON  
FALLA DE URGEN

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Arcadio Monroy Ata por brindarme un espacio en el invernadero y por la oportunidad de realizar este trabajo bajo su dirección, por lo cual le agradezco mucho el tiempo y la dedicación para orientarme en la etapa de mi formación profesional.

A mis sinodales, al Biólogo Ramiro Ríos, las M en C. Rosalva García S. y María de Jesús Sánchez C. y la Dra. María Socorro Orozco, por sus críticas y sugerencias para enriquecer y terminar este trabajo de tesis. A todos, gracias.

A cada una de las personas que laboran en el invernadero. Al biólogo: Roberto Ramos, por la asesoría prestada en el uso de las computadoras y programas de cómputo, y a Maribel Flores por el apoyo brindado durante mi estancia en este lugar y por último a Mariano García por la asesoría de la cámara fotográfica y las fotos tomadas por él.

A mis compañeros y amigos de la carrera de biología porque pasamos momentos difíciles, pero también muchos otros aprendiendo de nosotros mismos y de manera especial a Ricardo Colima y Guillermo García, y por supuesto, también a Alondra Perea por su amistad y gran apoyo moral para la terminación de esta tesis.

A mis amigos del invernadero: Juan Estevez, Gustavo Pérez, Juan Carlos Peña, Enrique Salas y Sandra Enriqueta, por sus comentarios y aportaciones a la mejoría de éste trabajo de tesis, pero sobre todo por su gran amistad y porque hicieron que mi estancia en el invernadero fuera algo increíble, lo cual recordaré siempre.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto No. IN-205599.

# ÍNDICE

	<b>RESUMEN</b>	1
1.	<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
2.	Marco teórico	6
	2.1. Micorrizas	6
	2.2. Clasificación de las micorrizas	6
3.	Factores que afectan la colonización micorrízica	9
	3.1. Hospedero	9
	3.2. Endófito	10
	3.3. Factores edáficos	11
4.	Zonas áridas	12
	4.1. Las micorrizas en zonas áridas	13
5.	Nutricismo	13
	5.1. Micrositios	14
	5.2. Rizósfera	15
6.	Restauración ecológica	16
7.	Género <i>Acacia</i>	17
	7.1. <i>Acacia schaffneri</i> (Wats.) Hermann	18
	7.2. Clasificación taxonómica	18
8.	<b>JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA</b>	20
9.	<b>PROBLEMÁTICA</b>	21
10.	<b>HIPÓTESIS</b>	22
11.	<b>OBJETIVOS</b>	23
	11.1. Objetivo general	23
	11.2. Objetivos particulares	23
12.	<b>ZONA DE ESTUDIO</b>	24
13.	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	26
	13.1. Ubicación del lugar de trabajo	26
	13.2. Colecta y preparación del sustrato	26
	13.3. Preparación de macetas	26
	13.4. Preparación del inóculo	27
	13.5. Germinación de semillas	28
	13.6. Transplante e inoculación	28
	13.7. Riegos	28
	13.8. Medición de variables de respuesta semanales	29
	13.9. Transplante en campo y selección de micrositios	29
	13.10. Biomasa seca	30
	13.11. Porcentaje de humedad en el suelo	30
	13.12. Montaje de raíces y determinación del porcentaje de colonización micorrízica	30
	13.13. Separación y conteo de esporas	31
	13.14. Análisis estadístico de datos	31
14.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	32
	14.1. Germinación de semillas	32
	14.2. Establecimiento de plántulas en invernadero	34

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	14.3. Crecimiento	34
	14.4. Concentración de clorofila	38
	14.5. Biomasa seca	39
	14.6. Colonización micorrízica	41
	14.7. Supervivencia y crecimiento en campo	44
15	<b>CONCLUSIONES</b>	49
16	<b>RECOMENDACIONES</b>	50
17	<b>REFERENCIAS</b>	51
18	<b>ANEXOS</b>	61

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	Clasificación de los hongos MA (según Redecker, 2000). Pertenecen al orden de los Glomales y de acuerdo sus características estructurales, moleculares y ecológicas se clasifican en 5 familias con siete géneros	7
2.	Representación gráfica de los diferentes tipos de micorrizas (tomada de Barea, 1998)	8
3.	<i>Acacia schaffneri</i> (Wats.) Hermann (tomada de Calderón y Rzedowski, 2001)	19
4.	Mapa de localización de la zona de estudio	25
5.	Macetas utilizadas en el experimento	27
6.	Porcentaje de germinación de semillas y comparación de los tratamientos	32
7.	Temperatura registrada en el invernadero durante el experimento	33
8.	Humedad registrada en el invernadero durante el experimento	33
9.	Porcentaje de sobrevivencia de plántulas en invernadero	34
10.	Crecimiento de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en la fase de invernadero	35
11.	Número de pinnas en plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en fase de invernadero	35
12.	Crecimiento del diámetro medio en invernadero	36
13.	Plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en la fase de invernadero	37
14.	Concentración de clorofila en plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en invernadero	38
15.	Comparación del peso seco obtenido de las plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en laboratorio	40
16.	Planta de <i>Acacia schaffneri</i> mostrando de manera completa el sistema radical y el sistema aéreo	41
17.	Porcentaje de colonización micorrícica en ambos lotes	42
18.	Esporas de hongos micorrícicos arbusculares encontradas en el suelo de las macetas de <i>Acacia schaffneri</i> , pertenecientes al género <i>Glomus</i> .	43
19.	Raíces de <i>Acacia schaffneri</i> colonizadas por vesículas de hongos micorrícicos arbusculares	44
20.	Porcentaje de sobrevivencia de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en campo	44
21.	Altura de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en campo	46
22.	Diagrama de flujo para el establecimiento y desarrollo de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en condiciones de invernadero y campo y su utilidad para la restauración ecológica de los agostaderos semiáridos deteriorados	48

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Tipos de micrositios y sus características principales reconocidas en zonas áridas	15
2.	Volumen de riego semanal por maceta y por tratamiento	29
3.	Total de semillas germinadas por tratamiento	32
4.	Promedio de los parámetros medidos semanalmente en ambos lotes en el invernadero, con micorrizas (H+) y sin micorrizas (H-)	36
5.	Promedio de peso seco en gramos de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en ambos lotes, así como el cociente de la biomasa radical/biomasa del vástago (R/S)	39
6.	Número de esporas encontradas en muestras de 100 g de suelo en plantas de <i>Acacia schaffneri</i>	43
7.	Porcentaje de sobrevivencia de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en campo bajo cada especie nodriza	45
8.	Altura registrada en plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en campo durante un año (Septiembre 2001-Agosto 2002)	46
9.	Prueba de t de Student para la sobrevivencia de plántulas de <i>Acacia schaffneri</i> en invernadero	60
10.	Prueba de t de Student para diámetro medio en plantas de <i>Acacia schaffneri</i> en invernadero	60
11.	Prueba de t de Student para la altura de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> a las 21 semanas en invernadero	61
12.	Prueba de t de Student para número de pinnas en plantas de <i>Acacia schaffneri</i> a las 21 semanas en invernadero	61
13.	Prueba de t de Student para la concentración de clorofila en plantas de <i>Acacia schaffneri</i>	62
14.	Prueba de t de Student para el porcentaje de colonización micorrizica por vesículas en plantas de <i>Acacia schaffneri</i>	62
15.	Prueba de t de Student para el porcentaje de colonización micorrizica total en plantas de <i>Acacia schaffneri</i>	63
16.	ANCOVA para el peso seco de la raíz y el vástago en plantas de <i>Acacia schaffneri</i>	63
17.	Prueba de t de Student para la sobrevivencia de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> a los 12 meses en campo	64
18.	Prueba de t de Student para la altura de plantas de <i>Acacia schaffneri</i> a los 12 meses en campo	64

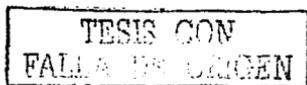
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

9

## RESUMEN

Las zonas áridas y semiáridas de México ocupan más de la mitad del territorio nacional, pero su cubierta vegetal ha sido sobreexplotada, por lo que actualmente se busca restaurar ecológicamente la vegetación de estos ambientes. Por ello el objetivo principal de esta investigación fue determinar el efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), nativos de un agostadero semiárido del Valle de Actopan, Hidalgo, sobre el establecimiento y desarrollo de plantas de *Acacia Schaffneri* (Wats.) Hermann, en condiciones de invernadero y posteriormente en campo. La problemática a resolver es: ¿influirá de manera positiva la inoculación con HMA en el establecimiento de *Acacia schaffneri*? ¿qué efectos tiene la micorrización de *Acacia schaffneri* sobre el desarrollo de plantas de 1-6 meses? y ¿se incrementa de manera significativa la sobrevivencia de plantas micorrizadas en condiciones de campo? El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero, empleando 80 macetas de 17 cm de altura y 6 cm de diámetro divididas en dos lotes de 40 macetas cada uno (lote con micorrizas (H+) y lote sin micorrizas (H-)). Semanalmente se regaron las macetas a capacidad de campo (82 ml), y se registraron los siguientes parámetros: crecimiento (altura), diámetro medio y número de pinnas, así como en las semanas 11 y 21, el nivel de clorofila. Después de 6 meses, se sacrificaron 10 plantas de cada lote para obtener el peso seco de la raíz y el vástago, así como el porcentaje de colonización micorrizica, el número de esporas en suelo y se determinaron las morfoespecies de HMA que participan en la colonización de las plantas de *Acacia schaffneri*. Las otras 60 plantas restantes de los dos lotes, fueron transplantadas en campo, bajo plantas de las especies *Floourensia resinosa* y *Mimosa depauperata*, que cubrieron la función de plantas nodrizas en una localidad ubicada cerca de Santiago de Anaya, Hidalgo, en el Valle de Actopan, con matorral espinoso como vegetación dominante.

Los resultados muestran que en el establecimiento de las plántulas de *Acacia schaffneri* en invernadero, existieron diferencias significativas, ya que hubo un 97.5 % de sobrevivencia de plantas inoculadas contra un 80 % del lote control. En cuanto al crecimiento y a partir de pruebas de t de student ( $P < 0.05$ ) no se encontraron diferencias significativas para las variables: altura máxima, diámetro medio, número de pinnas y peso seco de las plantas ( $P = 0.5813$ ,  $P = 0.0931$ ,  $P = 0.7681$  y  $P = 0.90$ ) entre ambos lotes. Mediante un ANCOVA del cociente raíz/vástago, se hallaron diferencias significativas ( $P = 0.0009$ ) entre ambos lotes. En cuanto a la colonización micorrizica de las raíces existió un 35 % de colonización total contra un 8 % del lote control, lo que indica que hubo propágulos externos en éste último. En campo se registró el crecimiento y sobrevivencia de plantas, comparando ambos lotes con una t de student ( $P < 0.05$ ), no se encontraron diferencias significativas ( $P = 0.0773$ ) en el crecimiento de plantas de ambos lotes, ni en el establecimiento de plantas, ya que hubo un 43 % de sobrevivencia del lote inoculado y un 36 % del lote testigo. A partir de estos resultados, se recomienda usar plantas inoculadas previamente con HMA para restaurar zonas deterioradas, ya que aunque no hubo diferencias significativas en la mayoría de las comparaciones, sí hay una mayor sobrevivencia de plántulas en las primeras fases de vida y establecimiento de las mismas, con lo cual puede haber un mayor porcentaje de plantas que sobrevivan en invernadero y campo.



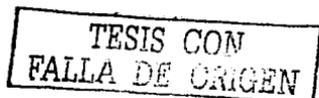
# 1. INTRODUCCIÓN

Los grandes desiertos del mundo están localizados en dos bandas que rodean al planeta en ambos hemisferios; esta ubicación es, en primera instancia, consecuencia de los sistemas de circulación global del viento, debido a que estas bandas desérticas se originan en zonas de alta presión atmosférica, lo que impide la presencia de nubes y en consecuencia, de lluvias (Cloudsley-Thompson, 1979). Por ello, los desiertos se ubican en las zonas de alta presión comprendidas entre los 15 y 35° de latitud Norte y Sur.

En México, se consideran zonas áridas a aquellas áreas cuya precipitación es menor de 350 mm al año, con una distribución de lluvias muy irregular, con una temperatura media anual que oscila entre los 15 y 25 °C, con la presencia de al menos 7 meses de sequía y que tienen una cubierta vegetal menor del 70%, conformada principalmente por especies xerofíticas. A su vez, las zonas semiáridas se definen como aquellas áreas cuya precipitación pluvial varía de 350 a 600 mm al año y la vegetación dominante está formada por diferentes tipos de matorrales y pastizales naturales (Villa, 1980).

México posee una gran riqueza natural y es uno de los cuatro países del mundo con mayor diversidad de plantas (Ojangurén, 1997). En cuanto a la diversidad ecológica, las zonas áridas y semiáridas ocupan entre el 50 y 70% del territorio nacional (Rzedowski, 1978). Sin embargo se estima que el 66% de la superficie de su territorio total se encuentra erosionada y el 16% de ésta muestra un avance crítico que ha rebasado el umbral de recuperación natural, por lo que ha entrado en un proceso de desertificación. A su vez, la desertificación se define como el deterioro drástico de los ecosistemas naturales y la pérdida de la productividad de las plantas y animales, condiciones que generalmente se reflejan en modificaciones del ambiente como pueden ser erosión del suelo, disminución de la capacidad de retención de humedad de los suelos, entre otras (Ojangurén, 1996). Esta desertificación constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas y ha reducido o liquidado el potencial biológico, es decir, la producción vegetal y animal (Velasco-Molina, 1991). Así mismo, la erosión se puede definir como la remoción del material superficial por acción del viento o el agua y el criterio más amplio de ello es compararlo con otros procesos de desgaste del paisaje (Kirby y Morgan, 1984). Actualmente se reducen a un estado de inutilización completa o casi completa, unas 225 000 Ha de tierras al año, a causa de una agricultura mal planificada, a la destrucción de las comunidades vegetales y al sobrepastoreo (Maldonado, 1990), generando con ello la erosión del suelo. Además, la existencia de poblados pequeños y dispersados, propicia que los servicios públicos elementales sean deficientes y se dificulta el crédito y la asistencia técnica, lo que reduce en la obtención de bajos rendimientos de las actividades que ahí se realizan, además de reducir la cubierta vegetal, lo que ocasiona que los suelos queden expuestos a la erosión y sean degradados, tal vez con efectos irreversibles, produciendo evidentes procesos de desertificación (Villa, 1980).

Los mecanismos biológicos también se consideran como agentes erosivos, ya que algunos procesos de degradación de rocas son originados por organismos vivos, como los líquenes y los musgos, siendo el principal efecto de los seres vivos el de acelerar otros agentes



erosivos; por ejemplo, el sobrepastoreo de ganado caprino y ovino en zonas áridas y semiáridas ocasiona que los animales pisoteen rocas y suelo y generen condiciones más favorables para que las partículas sean arrastradas por el viento y el agua (Montaño, 1999).

Este deterioro hace necesaria la recuperación de la cubierta vegetal y para ello ha surgido la restauración ecológica, la cual es una disciplina científica encargada de comprender los procesos inherentes a la reconstrucción de ecosistemas, a fin de revertir los daños causados al ambiente. Con ello se intenta detener el proceso de deterioro del suelo por medio del establecimiento de una nueva cubierta vegetal (Vázquez y Cervantes, 1993), que promueve su recuperación total o parcial y su posible uso sostenido (Martínez, 1996). La ecología de la restauración es una rama emergente de la ecología, que incorpora la investigación básica y aplicada en el manejo del suelo. Dado que la variabilidad anual de la precipitación es más grande en los desiertos que en otro bioma, la restauración puede no ser exitosa cada año y sólo puede aventajarse en el establecimiento de la vegetación durante los años con alta precipitación. Esta es la única solución factible en sitios en que la precipitación es reducida y esporádica y el riego es imposible, debido a que la más importante de las limitantes para la restauración de zonas áridas, es la escasa y variable precipitación pluvial (Allen, 1999a), así como también las elevadas temperaturas, que limitan el crecimiento y desarrollo de la vegetación (González, 1998).

Las prácticas de conservación de los suelos pueden ser utilizadas de acuerdo a las condiciones climáticas, físicas, biológicas, socioeconómicas y culturales de cada región de México. El criterio fundamental para la conservación de los suelos es mantener su productividad potencial, lo cual se puede lograr utilizando un paquete de estrategias mecánicas y biológicas. Las estrategias mecánicas están basadas en la manipulación de las características físicas del suelo, como la pendiente, la topografía, etc. y como complemento, normalmente se emplean estrategias biológicas, las cuales utilizan el papel de la vegetación y de la biota edáfica para minimizar la erosión (Montaño y Monroy, 2000). Además, la posibilidad de recuperar la capacidad productiva de los sistemas, depende también de la habilidad de crear técnicas al propagar y manejar especies útiles (Cervantes *et al.*, 1998). Aunque, en algunos casos, la naturaleza de los materiales o la topografía del sitio, puede causar dificultades en la aplicación de los métodos empleados para controlar la erosión (Bradshaw, 1982).

Debido a la destrucción de los hábitats naturales, muchas especies han visto mermadas sus poblaciones y han dejado al suelo sin una cubierta vegetal que lo proteja de los factores de erosión, perdiendo su principal función de soporte para la vegetación, además de que en él se encuentran elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, los cuales son absorbidos a través de las raíces.

Con relación a los sistemas de raíces, éstos tienen cuatro funciones importantes: el soporte, la absorción, el almacenamiento y la síntesis de varios compuestos orgánicos. Prácticamente, todos los minerales y el agua absorbidos por las plantas terrestres penetran por sus raíces (Kramer, 1989). Además, uno de los componentes más importantes del suelo es la microbiota, la cual es responsable de llevar a cabo las principales reacciones de reciclaje de nutrientes y de mineralización de la materia orgánica. Es por ello que cualquier desequilibrio sufrido por las comunidades microbiológicas del suelo puede tener

un profundo impacto sobre la dinámica de todo el ecosistema (Ríos-Castro, 1998). En la misma dirección, un componente de la microbiota edáfica son los hongos micorrizicos, dentro de los cuales, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) promueven una mayor captación de nutrimentos como el fósforo y humedad por las raíces (Ramírez *et al.*, 1998), las cuales muchas veces no tienen acceso a los microporos del suelo (O'Keefe, 1992 en Varma, 1998), mientras que las hifas de los HMA sí pueden hacerlo, aumentando la solubilidad de ciertos iones del suelo y por lo tanto, su asimilación; además, protegen a las raíces de algunas infecciones patógenas (Meyer, 1974 en Mc Naughton y Wolf, 1984).

Por definición, una micorriza es una simbiosis entre una planta y un hongo, en la que la relación está considerada como un mutualismo. Así, cualquier perturbación que afecte a la planta presupone una reacción fúngica (Allen, 1999b), ya que las raíces de la plantas proveen un nicho ecológico para un gran número de microorganismos del suelo (Munyonziza *et al.*, 1997), por ello la selección de las especies de plantas es un factor importante en la determinación de los procesos de rehabilitación (Cheung *et al.*, 2000).

Las micorrizas o asociaciones mutualistas entre las partes subterráneas de las plantas y los hongos, puede ser uno de los componentes esenciales para restaurar las regulaciones bióticas en un ecosistema perturbado, debido a que son comunes, en casi todos los hábitats terrestres, incluyendo aquellos utilizados para pastoreo y agricultura. Sin embargo, la mayor parte de la investigación de los HMA de zonas áridas se ha concentrado en los beneficios para el crecimiento de las plantas. Por lo anterior, las micorrizas representan un sistema que debe ser mejorado en las prácticas de rehabilitación de suelo. Esta asociación hongo-planta se estudia, cada vez más, debido a que está presente en más del 90 % de los vegetales de todos los ecosistemas y agrosistemas, incluyendo las zonas áridas y semiáridas, también se sabe que los hongos micorrizógenos juegan un papel importante en el desarrollo y productividad primaria de las especies vegetales con las que establecen simbiosis, así como en la dinámica sucesional y en la unidad funcional de la comunidad vegetal (Escobar *et al.*, 2000). Aunque, su abundancia y diversidad pueden variar de un hábitat a otro (Dañ, 1992).

El mutualismo es una interacción biológica en la cual se ve favorecido el crecimiento y supervivencia de las dos especies que interactúan (Raven, 1992). Por su parte, las micorrizas se han clasificado, con base en su estructura y morfología, en dos grandes grupos: ectotróficas y endotróficas. En las primeras se incluyen a los hongos micorrizicos, los cuales, normalmente presentan un micelio tabicado, forma un auténtico manto de hifas que rodea a la raíz. El desarrollo del hongo en el interior de la corteza es intercelular, dando un aspecto de red (red de Hartig). En las endotróficas, sin embargo, el hongo no forma manto sobre la raíz y las hifas penetran en el interior de las células de la corteza. No obstante, actualmente se sabe que los hongos formadores de endomicorrizas están muy distanciados taxonómica y fisiológicamente, por lo que ha sido necesario modificar esta clasificación y subdividir a las antiguas micorrizas endotróficas en varios grupos. Sin lugar a dudas, las más extendidas son las de tipo arbuscular, ya que esta simbiosis se encuentra en todos los climas que permiten el desarrollo vegetal sobre el planeta y la forman la mayoría de las plantas de interés agrícola e industrial (Azcón y Barea, 1980).

En términos generales, se ha propuesto que los beneficios que aportan los hongos micorrízicos a sus plantas hospederas son los siguientes:

- i) Síntesis y transferencia de sustancias promotoras de crecimiento
- ii) Producción de sustancias antibióticas.
- iii) Desarrollo más vigoroso.
- iv) Resistencia a condiciones ambientales estresantes como: baja tensión de agua, pH no neutro, temperaturas extremas y altas concentraciones de sales y metales pesados.
- v) Incremento en la absorción de fósforo.
- vi) Incremento en la absorción de agua (Varela y Estrada, 1999).

Por ello en este trabajo se plantea inocular con HMA a plántulas de una especie importante en la rehabilitación de zonas semiáridas del Sur del Altiplano Mexicano, en la región central del país. La especie vegetal objeto de este estudio es una leguminosa: *Acacia shaffneri* (huizache), la cual es una planta con crecimiento arbustivo o arbóreo que forma "islas de fertilidad" bajo su cobertura y también es una planta "nodriza" que favorece el establecimiento vegetal de otras especies bajo su dosel.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Micorrizas

Las micorrizas son un tipo particular de asociación entre hongos y plantas superiores; esta simbiosis desempeña un papel crucial en el reciclaje de elementos minerales (Raven, 1992) y contribuye de manera significativa a la nutrición mineral de la planta hospedera (Barker *et al.*, 1998).

La asociación micorrizica consta de tres partes: 1) la raíz, 2) la estructura fúngica en asociación interna con la raíz y 3) el micelio externo (Lambers *et al.*, 1998); en las cuales los filamentos de hongos íntimamente asociados con las raíces más pequeñas, penetran en sus tejidos externos y rodean a la raíz y con frecuencia toman el lugar de los pelos radiculares ayudando a la planta a absorber agua y nutrimentos del suelo (Sinnott, 1963).

La relación simbiótica es un mutualismo (Allen, 1999b) que favorece la adquisición de nutrimentos por las plantas (Read *et al.*, 1992), las cuales a su vez, suministran carbohidratos para el desarrollo fúngico en un porcentaje considerable, debido a que entre el 10 y 20% de la fotosíntesis neta de una planta es requerida para la formación, mantenimiento y funcionamiento de las estructuras de los hongos micorrizicos (Jakobsen y Rosendahl, 1990).

Esta relación se presenta entre el 85-90 % de las más de 231 000 especies de angiospermas (Annapurna *et al.*, 1996), 83 % de las dicotiledóneas, 79 % de especies monocotiledóneas y en todas las gimnospermas, incluyendo a algunas epífitas como las orquídeas (Trappe, 1987).

### 2.2. Clasificación de las micorrizas

La clasificación de las micorrizas (Fig. 1) es morfológica y está basada en el sitio que ocupa el micelio fúngico en asociación con la raíz de la planta y no en una funcionalidad diferente (Trappe, 1987); en general las micorrizas se pueden dividir en tres grupos:

- 1) **Ectomicorrizas:** donde el tejido fúngico es alargado fuera de la raíz encerrándola 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 hongos basidiomicetes, ascomicetes y zygomycetes (Lambers *et al.*, 1998).
- 2) **Endomicorrizas o endotróficas.** Dentro de este grupo existen tres tipos característicos: orquidioides, ericoides y arbusculares, en ellas, una gran fracción del tejido hifal está dentro de las células corticales de la raíz, formando arbusculos y vesículas.

Las micorrizas arbusculares se consideran como el tipo más antiguo de simbiosis micorrizica, ya que se encuentra desde helechos, hasta el grupo filogenéticamente más evolucionado (angiospermas) (Lambers *et al.*, 1998).

Todos los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) pertenecen a un orden (Glomales) que contiene cerca de 150 especies dentro de los géneros: *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora* (Johnson *et al.*, 1999), *Archaeospora* y *Paraglomus*, divididos en 5 familias (Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Archaeosporaceae y Paraglomaceae) (Morton, 2001). El grupo más grande y mejor investigado de HMA, es el género *Glomus*, representado por más de 70 especies (Werner, 1992).

3) **Ectomicorrizas:** La colonización en este tipo de micorrizas se lleva a cabo de manera dual en las raíces, es decir, forman un manto cortical interno y penetran intercelularmente en el córtex. En este grupo se encuentran otros tres tipos: Monotropoides, Pyrolacea y Arbutacea (Harley y Smith, 1983).

La figura 2 muestra los diferentes tipos de micorrizas que existen (según Barea, 1998), pero que de manera general se pueden colocar en los tres grupos diferentes de hongos micorrizicos: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectoendomicorrizas.

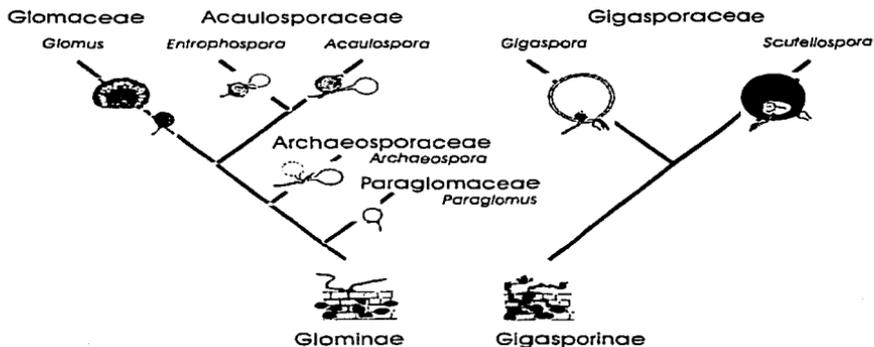


Figura 1. Clasificación de los hongos MA según Redecker (2000). Pertenecen al orden de los Glomales y de acuerdo a sus características estructurales, moleculares y ecológicas se clasifican en 5 familias con siete géneros.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Tipos de micorrizas

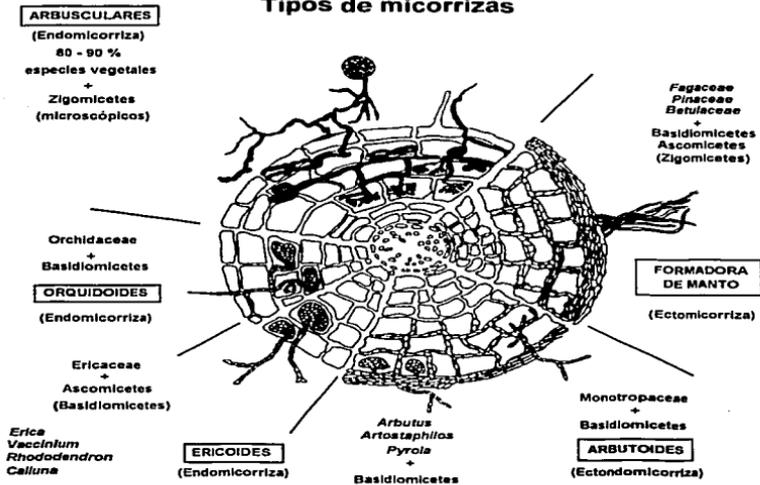


Figura 2. Representación gráfica de los diferentes tipos de micorrizas (tomada de Barea, 1998).

### 3. Factores que afectan la colonización micorrízica

Existen diversos factores que pueden afectar positiva o negativamente la formación, presencia o efectividad de la asociación planta-HMA. Estos factores involucran: 1) hospedero, que se subdivide en: a) compatibilidad genética con los hongos simbiotes (Allen, 1991) y b) exudados de la raíz; 2) endófito, que incluye a) la interacción endofítica y b) inóculo (Allen, 1991, Brundrett, 1991) y 3) factores edáficos, como: a) características bióticas y abióticas, b) fauna del suelo (Allen, 1992) y c) disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Brundrett, 1991).

#### 3.1. Hospedero

##### a) Compatibilidad genética de la planta con los hongos endofíticos

La micorriza arbuscular, es el tipo de simbiosis micorrízica más antigua (surgió hace aproximadamente 400 millones de años cuando aún las plantas no colonizaban el medio terrestre); está presente en la mayoría de los grupos fitogenéticos más avanzados y son muy pocas las especies que han desarrollado mecanismos para prevenir completamente la infección por HMA (Graham y Eissenstat, 1994). Este sistema integrado de micorriza vesículo-arbuscular, ha persistido en la mayoría de las plantas y les ha facilitado la adaptación a algunos hábitat hostiles del suelo. Este ancestro beneficia mutuamente la relación entre plantas y HMA durante la evolución porque facilita el suministro de nutrimentos a la planta y ésta provee un micronicho al endosimbionte (Piché *et al.*, 1994).

El genotipo del hospedero es otro factor importante que controla el radio y extensión de la formación de HMA. En suelos con elevado nivel de fósforo (P) la colonización varía sustancialmente entre familias, géneros y genotipos cercanamente parecidos de varias especies vegetales. Dada la falta de hospederos específicos de HMA, los genes para la compatibilidad hongo-hospedero, pueden ser homólogos entre genotipos de plantas y hongos (Graham y Eissenstat, 1994)

##### b) Exudados de la raíz

En una simbiosis MA funcional, la planta cede al hongo heterótrofo productos carbonados derivados de la fotosíntesis (Bago *et al.*, 2000), así como iones inorgánicos, azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos que mejoran el crecimiento de las hifas, entre las que se encuentran las de los hongos de tipo micorriza vesículo-arbuscular (MVA) (Curl y Truelove, 1986).

También, muchas de las plantas exudan en sus raíces metabolitos secundarios como los flavonoides, que tienen influencia directa en la germinación de las esporas de los hongos. En contrapartida, el micosimbionte cede a la planta nutrimentos minerales y agua obtenidos como consecuencia de su mayor accesibilidad a recursos distantes del sistema radical (Espinoza-Victoria, 2000).

En general, el suministro de carbohidratos por parte del hospedero es la base para el desarrollo de una micorriza funcional y más importante es, el establecimiento y mantenimiento de gradientes entre ambos simbioses y entre raíz y tallo (Hampp y Schaeffer, 1999)

### **3.2. Endófito (Hongo Micorrízico)**

#### **a) Interacción endofítica**

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos excepcionalmente comunes y se encuentran en una gran variedad de hábitats (Read *et al.*, 1992); esta simbiosis se caracteriza por ser la parte más activa de los órganos de absorción de la planta y es altamente efectiva en la captación de nutrimentos y agua del suelo (Azcón, 2000).

Y aunque las concentraciones puedan variar de hábitat en hábitat, esta variación es el resultado de condiciones físicas o influencias biológicas, lo que subsecuentemente puede reducir el crecimiento y la colonización de la raíz con HMA (Thompson, 1987 en Daft 1992).

Comúnmente ocurre que las asociaciones especializadas micorrízicas y bacterianas incrementan la cantidad de nutrimentos disponibles para la planta y esto está relacionado con la morfología de la raíz (Pate, 1994). Por ello, actualmente la corriente de trabajos sobre el papel de la simbiosis micorrízica en comunidades de plantas nativas indica que la variación interespecífica de la colonización micorrízica en beneficio de la planta hospedero, puede ser un factor clave que explique el modelo de interacción entre especies vegetales y la estructura de su comunidad (Wilson y Hartnett, 1998).

#### **b) Inóculo**

La colonización de las raíces es esencial para una ocurrencia continua de los hongos en los suelos y por ello los HMA han desarrollado diferentes formas de propágulos: hifas, esporas y vesículas (Abbott y Robson, 1991). De estas tres formas, las esporas son consideradas como la estructura más práctica para ser dispersada (Tommerup, 1988).

La formación y abundancia de HMA en los suelos es dependiente del crecimiento de la hifa del HMA, de la germinación de propágulos o existencia de hongos micorrízicos y la subsecuente infectividad de la hifa cuando la raíz de una planta receptiva es encontrada. Estos procesos, y por lo tanto la formación de HMA, pueden ser afectadas por el suelo y las condiciones de éste, las características del hongo y la planta hospedera (Abbott y Robson, 1991).

Por otro lado, un factor que reduce el tiempo antes de la penetración a la raíz es la competencia entre endófitos, de aquí que la competencia entre hongos, se lleve a cabo por medio de un propágulo grande o de una activación rápida de las esporas (Allen, 1992).

En la sobrevivencia de las poblaciones de hongos, existe una fase crítica que incluye la persistencia de propágulos quiescentes, además de la germinación subsecuente o crecimiento de estos propágulos cuando contactan una raíz susceptible, así como, la sobrevivencia de alguna colonia y la producción de nuevos propágulos antes de la muerte de la raíz (Allen, 1992). Así mismo, la germinación de las esporas de algunos HMA sólo ocurre después de completarse un período específico de latencia (Bowen, 1987).

Por ello es posible mencionar que la sobrevivencia de los propágulos está influenciada por su estado fisiológico, condiciones de almacenamiento en suelo y período de latencia (Tommerup, 1988).

### 3.3. Factores edáficos

#### a) Características bióticas y abióticas del suelo

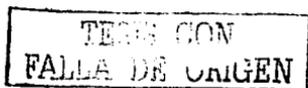
Las características en el suelo son muy importantes para la germinación y sobrevivencia de los propágulos de los hongos, ya que ellos reaccionan de diversas maneras a la temperatura del suelo, salinidad, humedad y pH (Daniels-Hetrick, 1984). Con respecto al pH, Habte (1999), menciona que la acidez del suelo es una variable determinante sobre la actividad biológica de los organismos, así como también las altas temperaturas en el suelo reducen en gran medida la formación de hongos (Klopatek *et al.*, 1998). Aunque es sabido que los hongos tienen una gran capacidad de retención de agua (Harley y Smith, 1983), si el nivel de ésta aumenta en el suelo, se afecta de manera directa el desarrollo micorrízico (Bolgiano *et al.*, 1983).

Además de lo anterior, el impacto que causan los disturbios humanos, animales de madriguera, etc. sobre los HMA, se incluye también: i) una reducción en el número de esporas viables, ii) pérdida de conexión entre hifas en el suelo y iii) se evita el crecimiento hifal de una raíz a otra (Jasper *et al.*, 1989).

#### b) Fauna del suelo

Muchos microorganismos del suelo influyen sobre el desarrollo de los HMA y el establecimiento de la simbiosis, ya sea de manera positiva o negativa. Los efectos negativos sobre los HMA incluyen una reducción en la germinación de esporas y un estadio prolongado de hifa estramatricial, como ejemplo de ello podemos citar a *Trichoderma* y *Pseudomonas* spp, las cuales reducen la colonización de la raíz y la actividad metabólica del micelio interno (Hodge, 2000).

Además existen especies de invertebrados y vertebrados consumidores de hifas y esporocarpos de micorrizas (Allen, 1991); entre los invertebrados podemos citar a insectos del orden colémbola, que afectan de manera negativa la longitud de las hifas de los hongos (Bethlenfalvay *et al.*, 1999). También nemátodos, bacterias y protoctistas (*Amoeba* sp), se asocian con hifas y esporas que están a punto de morir, y es por ello que no tienen un efecto importante sobre la asociación micorrízica; tales organismos al parecer matan a las hifas y esporas vivas de los HMA (Warnock *et al.*, 1982). Otro tipo de organismos que inciden



sobre la cantidad de esporas son: marsupiales y mamíferos pequeños, además de que también son transportadas a otras localidades, funcionando como dispersores (Brundrett, 1991).

#### c) Disponibilidad de nutrimentos en el suelo

La mayoría de las plantas micorrizadas se benefician con la simbiosis y esto lo demuestran incrementando su crecimiento y absorción de nutrimentos, aunque estas respuestas fisiológicas se dan cuando hay niveles bajos de P (Valdés, 1989). Además, el aporte de agua es muy importante, ya que el estrés hídrico al que son sometidas muchas plantas se refleja en su nutrición. Por ejemplo, en el suelo seco existe una baja difusión de P y por lo tanto también disminuye la capacidad de las raíces para tomarlo, por lo que se ven obligadas a depender de la micorriza y es por ello que se da una alta micorrización (Bolgiano *et al.*, 1983).

Por el contrario si la concentración de P es alta en el suelo, se limita la colonización micorrizica y es probable que los beneficios otorgados por el hongo a la planta se vean disminuidos (Bolgiano *et al.*, 1983). Aunque también es importante mencionar que al producirse carbohidratos en las plantas y traslocarlo a las raíces, éste es el primer impulsor del crecimiento y desarrollo de los HMA (Ravnskov *et al.*, 1999)

#### 4. Zonas áridas

Estas zonas se encuentran ubicadas entre los 15° y 35° de latitud, tanto al norte como al sur del Ecuador; debido a que son zonas de alta presión atmosférica, reciben corrientes de aire ascendentes secas; así mismo, tienen influencia sobre ellas las cordilleras costeras y perpendiculares a la dirección de los vientos marinos, donde la humedad es removida por lo que los vientos marinos, procedentes de aguas oceánicas de baja temperatura que penetran al continente, son fríos y secos (Velasco-Molina, 1991 y McGinnies, 1980). Por ello, se indican varios factores que intervienen en la aridez: humedad (lluvia, agua de condensación, etc), temperatura del aire y del suelo, evaporación, radiación solar, cobertura vegetal, estructura y composición del suelo, etc. La aridez es acentuada por los procesos climáticos, principalmente en relación con la circulación atmosférica (Grenot, 1983). Es debido a estos factores, que en las regiones con climas desérticos, se asume razonablemente que la producción primaria es baja debido a la limitada cantidad de agua, comparada con otro tipo de ecosistemas en la biósfera (Ludwig, 1986). Pero aún así, su cobertura vegetal es variada, pues se encuentran plantas arbóreas, arbustivas y suculentas (Walter, 1977).

En México, la zona ecológica árida y semiárida es la más extensa del país, pues ocupa más de la mitad del territorio. Sin embargo su baja productividad biológica y la escasez de su vegetación ocasionan que su diversidad florística total (unas 6, 000 especies) sea pobre respecto al área que ocupa.

Aunque esos factores contribuyen a generar la creencia de que los ecosistemas de matorral xerófilo son comunidades desoladas desde el punto de vista biológico, es importante resaltar el hecho de que el endemismo de especies alcanza más del 60%, de modo que los

ecosistemas de zonas áridas de México son el centro de origen y evolución de muchos taxa. Así mismo, las floras regionales únicas y ciertas formas de crecimiento de las plantas, se combinan con los factores edáficos y topográficos, y producen una gama de ecotipos estructuralmente distintos, mucho mayor que la de cualquier otra zona ecológica (Challenger, 1998).

#### 4.1. Las micorrizas en zonas áridas

La ocurrencia de micorrizas en zonas áridas y semiáridas, ocurre al parecer en la mayoría de los taxa vegetales (Varma, 1998). Ya que en este tipo de ecosistema, las plantas han desarrollado un número de adaptaciones fisiológicas de las cuales el mutualismo/simbiosis es un fenómeno importante. El mutualismo es extremadamente antiguo en la historia del reino de las plantas. La micorriza, una simbiosis mutualista entre plantas y hongos, puede ser de las más importantes asociaciones biológicas que regulan ecológicamente a una comunidad y por lo tanto el funcionamiento del ecosistema (Naveen *et al.*, 1996).

En las regiones áridas y semiáridas, muchos suelos son pobres en materia orgánica, porque la superficie de éstos es dura. Estos suelos forman costra en la parte superficial reduciendo la cantidad de agua de filtración y se acompañan de una alta infertilidad ácida y arenas alcalinas, así como de arcilla de origen volcánico (Varma, 1998).

Estas características han originado un gran interés por parte de los ecólogos por la enorme influencia potencial sobre los procesos de los ecosistemas, por el papel de las micorrizas en la determinación de la diversidad de las plantas en las comunidades naturales y por la habilidad del hongo para inducir una gran variedad de respuestas de crecimiento en las especies de plantas con las que coexiste (Varma, 1998). Así mismo, el hongo juega un papel muy importante en el ciclo de nutrientes en el ecosistema. También, el micelio externo se extiende a más centímetros que la superficie de la raíz, por lo que puede pasar de la zona de depleción alrededor de la raíz y explotar los microhábitats del suelo más allá del área donde se encuentran las raicillas (O'keefe y Silvia 1992 en Rajni y Mukerji, 2000). Así, los efectos benéficos de los HMA sobre el crecimiento de las plantas han sido largamente reconocidos, ya que incrementa el desarrollo de muchas especies de plantas debido a la asociación, con HMA, lo cual ha sido atribuido al aumento de la nutrición, especialmente con el elemento fósforo (Varma, 1998).

La habilidad de los HMA al mantener una adecuada nutrición de P en plantas bajo condiciones de estrés hídrico ha sido propuesta como el mayor factor para mejorar la tolerancia a la sequía, por ello la sobrevivencia de la micorriza después de estrés por sequía puede ser el resultado de la mejora de las relaciones hídricas (Gupta y Pradeep, 2000).

#### 5. Nodricismo

La asociación de nodricismo en plantas es común en zonas áridas y semiáridas (Cloudsley-Thompson, 1979), ya que esta estrategia permite tener un mejor crecimiento y asegura la supervivencia de las plantas asociadas con este tipo de climas tan extremos, debido a que la planta nodriza favorece la generación de un microclima protector a la

especie establecida debajo de su dosel. Este microclima proporciona sombra a la plántula asociada en épocas calurosas, mayor retención de suelo y agua (Reyes-Quintanar *et al.*, 2000), así como condiciones edáficas favorables para el establecimiento de otras especies (Avilés *et al.*, 1997).

Por ello el uso de plantas que cumplan la función de nodrizas para otras especies, es recomendable en un programa de restauración ecológica (Bainbridge, 1990), ya que generan los microsítios apropiados para el establecimiento y crecimiento de las plántulas, de la misma manera que lo hace el establecimiento natural de plántulas en las zonas áridas y semiáridas (Peña, 2002).

### 5.1. Microsítios

En una zona homogénea desde el punto de vista floral, la estructura de la vegetación viene condicionada por el medio ambiente, sobre todo por el clima y el suelo. El clima ejerce sobre la vegetación, una influencia directa. El tipo de suelo y el tipo de vegetación están determinados por el clima, y entre ambos presentan interrelaciones tan estrechas que casi se pueden citar como una unidad, las cuales a su vez, ejercen cierta influencia sobre el clima, pero solamente sobre la capa de aire cercana al suelo; es decir, influyen sobre el microclima (Walter, 1977). De esta manera, muchas plantas y animales escapan con frecuencia a los rigores del ambiente, habitando áreas reducidas con microclimas favorables (Cloudsley-Thompson, 1979). Así, la diversidad de una comunidad dentro de un hábitat está influenciada por la diversidad de microsítios presentes en la misma, aportando con ello, microclimas específicos que favorecen el establecimiento y desarrollo vegetal (McKell, 1989).

Las respuestas de las plantas a la falta de agua es dependiente de la cantidad de agua que pudieran captar, el rango de daño y la duración de la condición de estrés hídrico (Bray, 1997). Dado que en las zonas áridas y semiáridas, el agua es el principal factor limitante, los microsítios se caracterizan por proporcionar un ambiente hídrico propicio para el establecimiento y desarrollo vegetal, esto debido a que el agua en el suelo se acumula diferencialmente en función de la microtopografía, conformando reservas hídricas que son aprovechadas por las plantas en desarrollo (Bainbridge, 1990).

Existe también un término conocido como "safe site" (sitio seguro), que se caracteriza por tener diversos atributos que aseguran un microclima favorable, con buena cantidad de nutrientes y contenido de agua en el suelo, además de proporcionar protección al individuo. Los microsítios pueden promover el establecimiento vegetal en las zonas áridas y semiáridas. Las microcuencas pueden ser usadas para favorecer el establecimiento de la vegetación, debido a que en ellas se recolecta agua de las precipitaciones y esto provee condiciones favorables de humedad del suelo (Brainbridge, 1990). En el cuadro 1 se muestra algunos ejemplos de microsítios, así como características y beneficios (García 2001 en Peña, 2002).

Cuadro 1. Tipos de micrositos y sus características principales reconocidas en zonas semiáridas (tomado de Peña, 2002).

Micrositio	Características
Gramíneas	Las cepas de gramíneas generan sombra según la altura de sus tallos y la densidad de las plantas; estos sitios se encuentran protegidos por la radiación solar, por lo que el suelo presenta poca desecación.
Grava	El suelo está protegido de la radiación solar por la grava, por lo que evita parcialmente la evaporación; también favorece la captación de rocío.
Herbáceas	Estas plantas cubren el suelo de la radiación solar, provocando condiciones hídricas más favorables que en las áreas abiertas; sin embargo, en áreas donde predominan las especies anuales, este estado es efímero.
Hoyos	La cavidad en el suelo acumula agua por escurrimiento; según la profundidad y diámetro de la misma, recibe sólo una parte de radiación solar diurna.
Mantillo	Protege al suelo de la radiación solar directa, disminuye la evaporación del agua, permite la infiltración del agua de lluvia, además de que proporciona materia orgánica al suelo y funciona como amortiguador térmico.
Nodrizas	Las plantas leñosas, principalmente las caducifolias, generan una "isla de fertilidad" que consiste en mejorar la calidad nutricional del suelo, bajo la cobertura de la planta, por el aporte de materia orgánica de la nodriza; también se conforma un microclima (por sombra) que conserva la humedad del suelo, favoreciendo el establecimiento de otras especies vegetales.
Roca	Una roca fija, forma una reserva hídrica bajo el suelo cubierto, misma que puede ser aprovechada para el establecimiento y desarrollo de alguna especie vegetal.

## 5.2. Rizósfera

En el suelo se encuentra una comunidad diversa y compleja de algas, bacterias, arqueobacterias y hongos. Estos organismos junto con los virus y componentes de la microfauna, forman la biota del suelo. La actividad y la diversidad de la microbiota además de condicionar la fertilidad del suelo, determinan la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales y agroecosistemas. Así la diversidad de la microbiota es esencial para garantizar los ciclos de los nutrientes y los fenómenos de descomposición de materia vegetal, en cualquier ecosistema terrestre o acuático.

Las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo. Un componente importante de esta transferencia es la interfase suelo-raíz, para la cual, Lorenz Hiltner introdujo, en 1904, el término rizósfera, que se define como el volumen de suelo que rodea a las raíces y que resulta afectado por el desarrollo de éstas. Los microorganismos desarrollan en la rizósfera actividades metabólicas de las que se benefician las plantas. El conjunto de interacciones que se establecen recibe el nombre de efecto rizosférico (Barea, 1998). La rizósfera es la zona donde el crecimiento y desarrollo

de la planta es controlado en gran parte por el suelo y por el ambiente generado en la superficie de la raíz. Así mismo, la rizósfera es un ambiente en el que la planta se ayuda a sí misma, al crear y constituir una zona de mayor influencia para la actividad microbiana. Por ello, es importante la comprensión de la relación de exudados que inducen la actividad microbiana, en la rizósfera y que dan a su vez salud y vigor a la planta (Curl y Trulove, 1986).

La rizósfera ha sido subdividida en ectorrizósfera (rizósfera externa) y en endorrizósfera (rizósfera interna) y es en esta última, donde ocurre la invasión y colonización de las células corticales de la raíz por algunos microorganismos. El límite identificado de la superficie de la raíz ha sido denominado rizoplasma. Las raíces pueden favorecer la colonización de ciertos microorganismos en la rizósfera, entre ellos los HMA. En esta forma de asociación, ocurren cambios químicos y físicos en la rizósfera debido a la alterada fisiología del hospedero, así como la presencia física y química de los hongos micorrízicos en la rizósfera y más allá de ella. Estos cambios han sido considerados para la creación del término "micorrizósfera", para describir el ambiente microbiano asociado a las micorrizas (Varma, 1999).

## 6. Restauración ecológica

Debido a la problemática de extracción de recursos y la sobreexplotación de éstos, es necesaria la recuperación de la cubierta vegetal en los ecosistemas y zonas donde se realizan actividades agropecuarias. Para ello ha sido desarrollada una disciplina, la restauración ecológica, la cual tiene como finalidad la estructuración y funcionalidad de ecosistemas deteriorados, hasta llegar a un nivel de maduración y de complejidad tal que se obtenga un ecosistema igual o parecido al que había antes de la intervención del ser humano (Monroy, 2002).

La restauración ecológica ha sido dividida en cuatro tipos principales: a) regeneración b) rehabilitación c) reasignación y d) repoblamiento vegetal (Aronson *et al.*, 1993); a) la regeneración o restauración *sensu stricto* consiste en reconstruir un ecosistema, dirigiendo los trabajos hacia el logro de composición florística igual al ecosistema original que se desea restaurar, b) la rehabilitación ecológica, puede incluir especies no nativas a fin de reparar el funcionamiento de ecosistemas dañados o bloqueados, con el objetivo de elevar la productividad del ecosistema para beneficio de la población local, c) la reasignación ecológica se refiere a la decisión de destinar, para un nuevo uso de suelo, un sitio que anteriormente sustentaba un proceso productivo para la sociedad o un ecosistema determinado y d) el repoblamiento vegetal se define como el establecimiento, de nueva cuenta de una comunidad vegetal en un sitio degradado ecológicamente, pero que permita un manejo de los recursos del suelo y del agua, con el fin de lograr el desarrollo conjunto de varias poblaciones de plantas, en uno o varios estratos, que esté en equilibrio con el sustrato pero que requiere mantenimiento.

## 7. Género *Acacia*

El género *Acacia* comprende unas 700-800 especies nativas de los trópicos y subtropicales, son especialmente abundantes en Australia. Casi todos son árboles o arbustos siempreverdes, teniendo importancia económica y cultivándose otras por lo atractivo de su follaje y abundante floración. Son un componente importante de las extensas zonas de maleza y bosque bajo. En algunas zonas semidesérticas, sus hojas y frutos constituyen un excelente alimento para los animales en las épocas de sequía.

Normalmente crecen aisladamente, por ello destaca su floración a distancia, aunque también forman grupos con otras plantas. Prefieren los suelos ácidos, aunque las especies de hojas en filodios soportan mejor los suelos calcáreos. El terreno donde se desarrollan, deberá tener un drenaje suficiente, pues las acacias prefieren suelos poco húmedos, ya que el exceso de agua puede producir clorosis en las hojas. Las acacias se multiplican por semillas y por injerto, siendo plantas de crecimiento rápido.

Algunos árboles de zonas áridas y semiáridas son capaces de funcionar como nodrizas al formar micrositos para otras especies vegetales y animales, proveyéndolas de condiciones climáticas más favorables con respecto a las existentes fuera de su, dosel, en insolación directa; como ejemplo de ello podemos citar a *Acacia* (Cloudsley-Thompson, 1979). Esta estrategia permite tener un mejor crecimiento y asegura la supervivencia de las plantas asociadas en este tipo de climas tan extremos (Reyes-Quintanar *et al.*, 2000), ya que se generan condiciones edáficas favorables para el establecimiento de otras especies (Avilés *et al.*, 1997). También la mayoría de las leguminosas son capaces de formar una doble simbiosis: *Rhizobium*-Micorrizas en suelos de baja fertilidad (Sánchez-Colín *et al.*, 2000).

La leguminosa arborecente *Acacia albida*, calificada como "árbol milagroso del Sahel" a causa de sus múltiples funciones (bajo su follaje acoge cultivos alimenticios, sirve para la reforestación y proporciona forraje), es también un instrumento para el estudio de los microorganismos simbióticos de las plantas (Thair, 1994). Ciertas especies de acacias cuentan con redes radiculares muy desarrolladas, sus largos pedicelos alcanzan niveles acuíferos muy profundos, mientras que los sistemas de raíces superficiales explotan el agua procedente de las lluvias y de las tormentas ocasionales; debido a que las plantas de acacia son capaces de proveer un microclima, también forman una cadena ecológica para el desarrollo de otras plantas e incluso de animales propios de este tipo de ecosistema. Por lo tanto es necesario conocer su biología y ecología para que actúe como nodriza para otras plantas, en la restauración de zonas deterioradas, lo que favorecerá el establecimiento vegetal de otras especies (Cloudsley-Thompson, 1979).

### 7.1. *Acacia schaffneri* (Wats.) Hermann

La especie de *Acacia* utilizada para este proyecto de investigación es el huizache cuyo nombre científico es *Acacia schaffneri* (Wats.) Hermann. Esta especie es una planta arbustiva o arbórea de 1.5 a 6 m de altura; tronco con unos 15 cm de diámetro, corteza profundamente fisurada, de color café-negruzco, últimas ramillas pilosas cuando son jóvenes; estípulas en forma de espinas, de 1 a 4 cm de largo, de color blanquecino; hojas con 2 a 8 pares de pinnas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos oblongo-lineares, de 2 a 4 mm de largo por 0.5 mm de ancho, ápice obtuso, margen entero, base obtusa, pubescente; flores reunidas en cabezuelas de 1 cm de diámetro, solitarias o fasciculadas, con pedúnculos pilosos de 1.5 a 3.5 cm de largo; cáliz campanulado, amarillento y algo pubescente; corola amarilla con los pétalos muy unidos hasta muy arriba, algo pubescentes; legumbre lineal, de 8 a 14 cm de largo por 8 mm de ancho, café-rojiza, densamente pubescente, sésil, algo constreñida entre las semillas; éstas de color café oscuro, de 8 a 10 mm de largo por 5 mm de ancho. El nombre más común es "huizache". En el Valle de México se encuentra entre 2300 2800 m de altitud, en sitios con matorral y pastizal. Se ha colectado en los municipios Pachuca a Naucalpan e Ixtapaluca y en la Delegación Iztapalapa. Fuera del Valle se extiende desde el oeste de Texas a Durango, Tamaulipas, Hidalgo y Colima.

Sinonimia: esta especie es conocida como *A. tortuosa* (L.) Willd., que, según Isely, está restringida a Florida y las Antillas (Rzedowski, 1979; Martínez, 1979).

### 7.2. Clasificación taxonómica

Reino:	Vegetal
División:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledónea
Subclase:	Archichlamydeae
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Mimosoideae
Orden:	Mimosaceae
Género y Especie:	<i>Acacia schaffneri</i> (Wats.) Hermann



Figura. 3. *Acacia schaffneri* (S.Wats.) Hermann: A. rama con frutos; B. rama con inflorescencias; C. flor disecada, a. cáliz, b. corola, c. ovario (tomada de Calderón y Rzedowski, 2001).

## 8. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

La importancia de la flora y la fauna en cualquier tipo de ecosistema no es ya objeto de duda. Sin embargo, los desiertos y las zonas áridas no cuentan con la protección legal que requieren para preservarse como ecosistemas, ya sea como un reservorio de especies animales o vegetales o para hacer de ellos una fuente de recursos que puedan ser aprovechados de manera sustentable.

También, es importante señalar que existen estudios de la simbiosis *Acacia*-HMA, pero no con la especie de este trabajo, por lo cual la metodología es viable y aplicable para este proyecto, debido a que la morfología de las raíces es similar a otras plantas del mismo género con las que se han realizado estudios de micorrización, por ejemplo: *Acacia farnesiana*.

La inoculación de las raíces de las plantas con HMA, en condiciones de invernadero, persigue la finalidad de determinar la influencia de la asociación simbiótica: planta-HMA en el establecimiento y desarrollo de plántulas de *Acacia schaffneri*. Así mismo, el estudio de las simbiosis HMA-*Acacia schaffneri* contribuirá -seguramente- a comprender esta interacción y proponer técnicas de repoblamiento vegetal con mayores probabilidades de sobrevivencia en programas de restauración ecológica.

## 9. PROBLEMÁTICA

Los estudios sobre la desertificación en cualquier tipo de ecosistema, indican que las prácticas impropias del uso de los recursos naturales son el principal instrumento del deterioro. Así mismo, el aumento de ganado en agostaderos naturales de estas zonas provoca condiciones de sobrepastoreo lo que incide, como consecuencia, en la escasa regeneración de la vegetación; así, paulatinamente desaparecen los efectos de retención del suelo producidos por los árboles, arbustos y especies herbáceas, reduciendo las defensas contra la erosión eólica, contra la erosión producida durante la estación de lluvias y contra los cambios drásticos en la temperatura del suelo. Además, se ha agravado cada vez más el problema de abastecimiento de leña, factor importante que se suma a la presión, ya de por sí fuerte, sobre los actuales recursos naturales.

Por lo anterior, es importante interrogarse sobre el cómo restaurar el ambiente, que por ignorancia o por dolo ha sido dañado. Por ello las preguntas a responder con este estudio son:

¿Influirá de manera positiva y significativa la inoculación de plantas de *Acacia schaffneri* con HMA en su establecimiento y sobrevivencia en invernadero?

¿Qué géneros de HMA intervienen de manera directa en la micorrización de las raíces de *Acacia schaffneri*?

¿Qué efectos tiene la micorrización de *Acacia schaffneri* sobre el desarrollo (altura, diámetro medio y número de pinnas) de plantas de 1-6 meses?

¿La sobrevivencia de plantas micorrizadas en condiciones de campo, se incrementa de manera significativa?

## 10. HIPÓTESIS

Las especies vegetales vasculares normalmente forman una simbiosis con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), en el cual ambos obtienen beneficios a través de la optimización en la capacidad de absorción de agua y de nutrimentos; por ello, se espera que la inoculación de HMA en suelo donde crecen las plántulas de *Acacia schaffneri*, genere un mejor desarrollo vegetal de las plantas inoculadas, reflejándose esto en un incremento de: biomasa, altura, diámetro medio, la tasa de crecimiento y en el porcentaje de sobrevivencia en campo, respecto a las plantas no inoculadas.

## 11. OBJETIVOS

### 11.1. Objetivo General

Determinar el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) sobre el establecimiento y desarrollo de plantas de *Acacia schaffneri* en condiciones de invernadero y posteriormente en campo.

### 11.2. Objetivos Particulares

- Evaluar el efecto del inóculo con HMA sobre el establecimiento y crecimiento de *Acacia schaffneri* comparado con un lote control, en condiciones de invernadero.
- Determinar el efecto del inóculo con HMA sobre el desarrollo y sobrevivencia en un ciclo anual, de plantas de *Acacia schaffneri* en campo, en un agostadero semiárido degradado, con fines de rehabilitación ecológica.

## 12. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es un agostadero semiárido ubicado en el municipio de Santiago de Anaya, en el Estado de Hidalgo; el municipio tiene 31, 610 Ha y se ubica al norte del Valle de Actopan, el cual cuenta casi con 40,000 Ha; así mismo, dentro del municipio citado, un 46% de la ocupación del suelo corresponde a área de agostadero. La vegetación de la zona es selva baja representada por bosque caducifolio espinoso (árboles de talla baja < 15 m, espinosos, principalmente leguminosas, que en algunas partes llegan a formar agrupaciones dominantes como en el caso de las mezquiteras) y por matorral espinoso cracicaulescente (García y Monroy, 1999). El sur del municipio de Santiago de Anaya, cerca del poblado de Xitzo, fue el sitio donde se recolectaron las semillas de *Acacia schaffneri* para poder llevar a cabo este proyecto.

El clima del Valle de Actopan está determinado principalmente por el patrón general de circulación atmosférica que caracteriza a esta latitud, el cual es acentuado por su orografía. La altitud es el determinante primordial de la temperatura. Los tipos de clima en la clasificación de Köppen, modificadas por García, son  $BS_K(w'')w(i')g$  y  $BS_0K(w'')w(i')g$  semiáridos, templados, con régimen de lluvias de verano, con un periodo de sequía intraestival, régimen de temperaturas con poca oscilación y con una temperatura mensual máxima en primavera. La temperatura media anual del sitio está comprendida entre 16 y 20 °C, con 550 mm de precipitación media anual, concentrada en los meses de junio a septiembre, seguida por un periodo de sequía de 6 a 8 meses (García, 1981).

La comunidad vegetal del agostadero de Santiago de Anaya es abierta y su fisonomía está dada por especies arbustivas bajas (0.5 a 1.0 m), muchas de ellas espinosas. Se presentan tres estratos. El estrato superior, aunque muy esparcido en el agostadero, alcanza los 3 m y está formado por *Prosopis laevigata* y *Opuntia streptacantha*; el arbustivo medio (1.0 a 1.50 m), compuesto principalmente por especies cracicaules y el arbustivo bajo. Florísticamente está dominado por *Verbesina sp.*, *Mimosa depauperata* y *Flourensia resinosa*, cuya cobertura junto con las otras especies abarca menos del 80 %, lo que da lugar a claros de suelo expuesto (Medrano, 2002).



### 13. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 13.1. Ubicación del lugar de trabajo

Las fases de invernadero y laboratorio se llevaron a cabo en la FES Zaragoza *Campus II*, de la UNAM. Orientación del invernadero de norte a sur, en la zona oriente (Delegación Iztapalapa) de la Ciudad de México.

#### 13.2. Colecta y preparación del sustrato

El suelo utilizado en este proyecto fue recolectado de la zona de estudio, en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. La preparación en el invernadero fue la siguiente: Se tamizó con una malla metálica con una apertura de  $0.1 \text{ cm}^2$  y después se mezcló con grano de mármol en relación 1:1 (v/v) (con un pH de la mezcla de 8.3). Esta mezcla fue utilizada con la finalidad de permitir la infiltración del agua y evitar la compactación del sustrato para que no afectara a las raíces de las plantas. Una vez realizada la mezcla, ésta se esterilizó durante 60 minutos con una temperatura entre  $94-96 \text{ }^\circ\text{C}$  en una autoclave (marca Corporation SN-M1, modelo SM 360<sup>®</sup>).

#### 13.3. Preparación de macetas

Se prepararon 80 macetas con envases de plástico de agua con una capacidad de 500 ml. Pintadas de color negro con pintura vinílica para evitar el paso de la luz hacia las raíces y posteriormente se les cortó la parte superior de cada una de las botellas para dejarlas en forma de cilindros de aproximadamente 17 cm de altura y 6 cm de diámetro. Se formaron dos lotes de 40 macetas cada uno y se les agregaron 500 g de sustrato por maceta. Es importante mencionar que una vez establecidos ambos lotes, se le agregó 30 g de inóculo al lote con micorrizas y 30 g más de sustrato estéril al lote control para equilibrar el peso en ambos lotes y dar como resultado 530 g de sustrato por maceta.

$\varnothing = 6 \text{ cm}$   
 $h = 17 \text{ cm}$

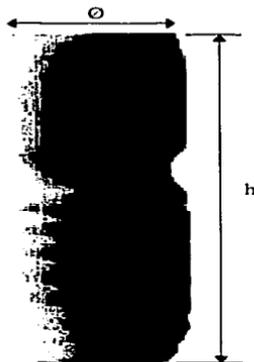


Figura 5. Macetas utilizadas en el experimento.

#### 13.4. Preparación del inóculo

Para la micorrización de las plantas del lote tratamiento, se utilizó un inóculo obtenido anteriormente por medio de la masificación de esporas utilizando dos especies de planta trampa, que en este caso fueron: *Lycopersicum sculentum* (jitomate salad) y *Lolium multiflorum* (pasto rye grass). El inóculo inicial fue obtenido de la misma zona de estudio de este proyecto en Santiago de Anaya. Al final de la masificación se obtuvieron 1934 esporas por 100 g de suelo más restos de raíces de estas dos especies. (Fragoso, 2001 y Medrano, 2002).

### 13.5. Germinación de semillas

Las vainas para obtener las semillas utilizadas en este proyecto fueron recolectadas en el mes de octubre del 2000 en el Valle de Actopan. Una vez limpias las semillas se escarificaron con una lija en el lado opuesto al embrión y después se pusieron por 10 minutos en solución de hipoclorito de sodio al 10 %, agitándolas para ser desinfectadas y así evitar algún tipo de contaminación que pudiera intervenir de manera negativa en la germinación.

Después, 100 semillas se pusieron en 5 cajas Petri, con 20 semillas c/u, con algodón y agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente a 22 °C) y 60 semillas más en otras 3 cajas Petri (con 20 semillas c/u) en la estufa a 32 °C y con 9 horas de luz, conformándose de esta manera, dos lotes de semillas, para inducir la germinación. Este experimento duró 6 días, iniciando el 6 de marzo del 2001.

### 13.6. Transplante e inoculación

Al séptimo día de iniciada la germinación, se transplantaron las plántulas a cada una de las macetas de ambos tratamientos y al lote control. Se agregó, además de los 500 g de sustrato, 30 g de inóculo con HMA por maceta, mientras que al lote testigo se le agregaron 30 g de sustrato estéril para compensar el peso de sustrato en ambos tratamientos.

A las macetas con inóculo, se les agregó también filtrado edáfico (con bacterias) para favorecer la asociación micorrízica entre planta y hongo. Este filtrado se obtuvo de la siguiente manera: 1000 g de suelo de agostadero de la zona de estudio se filtraron con 1000 ml de agua destilada y de esta manera se obtuvo una solución con bacterias, esta se filtró en papel Watman No. 42 para evitar el paso de esporas de hongos micorrizógenos a la solución.

Durante las dos primeras semanas se midió la sobrevivencia y el establecimiento de las plántulas, así las que murieron en ese lapso de tiempo, fueron remplazadas por plántulas nuevas, sobrantes del proceso de germinación. De las 80 plantas iniciales se murieron 8 plantas del lote testigo (sin micorrizas) y 1 planta del lote control (con micorrizas). El inicio del registro de crecimiento de las plantas fue el día 30 de marzo del 2001.

### 13.7. Riegos

A partir de la fecha de transplante, se regaron las macetas semanalmente a capacidad de campo, a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de agua a CC} = \frac{\text{Peso húmedo del suelo} - \text{Peso seco del suelo en la estufa}}{\text{Peso seco del suelo en la estufa}} \times 100$$

Dando como resultado las siguientes cantidades de agua para ambos tratamientos, representados en el cuadro 3.

Tratamiento	Riego semanal (ml) durante 21 semanas	Riego total (ml)
Con micorrizas	82	1722
Sin micorrizas	82	1722

Cuadro 2. Volumen de riego semanal por maceta y por tratamiento

### 13.8. Medición y de variables de respuesta semanales.

A partir de la segunda semana se comenzaron a medir los siguientes parámetros: altura total, cobertura: diámetro mayor, diámetro menor, número de pinnas y cada tres meses (durante seis meses) clorofila. Estos datos fueron tomados con regla (altura) y con vernier (diámetro mayor y menor) y la clorofila con un medidor de clorofila marca Minolta.

### 13.9. Transplante en campo y selección de micrositios.

Se seleccionaron al azar 30 plantas de cada lote, que representan de manera general las características de cada uno de los mismos. Y se llevaron a campo el día 16 de agosto del 2001 en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. El transplante se realizó en 60 micrositios elegidos al azar en una zona semiárida deteriorada y en donde las dos especies vegetales dominantes son *Mimosa depauperata* y *Flourensia resinosa*, las cuales funcionarían como nodriza de las plantas de *Acacia schaffneri*. Este micrositio está ubicado en dirección norte para evitar en lo posible, la insolación directa a las plantas y colocando alrededor de éstas, rocas del sitio para reforzar el micrositio y que hubiera una mayor cantidad de agua como reserva hídrica para el mantenimiento de la planta.

Es importante mencionar que el transplante se hizo durante la época de lluvias con la finalidad de que las plantas tuvieran más probabilidades de establecerse en campo y sobrevivir. Además de que *Acacia schaffneri* es una especie caducifolia, se midió en campo cada mes la altura y sobrevivencia total en un año.

### 13.10. Biomasa seca

Se eligieron 10 plantas al azar por tratamiento, las cuales representaban de manera general las características de ambos lotes con 21 semanas de edad, y se sacrificaron el día 21 de agosto del 2001, pesándose en ese mismo momento en una balanza analítica (de la marca Denver Instrument modelo M-310), la raíz y el vástago para obtener el peso fresco.

Una vez obtenido el peso fresco, se cortaron las raíces secundarias o bien los pelos radicales para obtener de ellas y cuantificar el porcentaje de micorrización en las raíces y nuevamente se pesaron para obtener el peso fresco total de la raíz por medio de la diferencia de pesos.

Para el peso seco cada una de las plantas (vástago y raíz) se pusieron en papel de estraza, ésta se colocó en una estufa a 70 °C durante 72 horas, transcurrido este tiempo se pesaron nuevamente por separado el vástago y la raíz para obtener el peso seco (López y López 1990).

### 13.11. Porcentaje de humedad en el suelo

Una vez obtenidas las plantas, se tomó de cada maceta la cantidad de 100 g de suelo y se colocó en moldes de aluminio en una balanza previamente tarada de la marca OHAUS modelo 1P 15 KS para obtener peso húmedo.

Después de esto, las muestras se colocaron en una estufa a 100 °C (como lo propone Palmer, 1979), para obtener el peso seco por diferencia de pesos.

### 13.12. Montaje de raíces y determinación del porcentaje de colonización micorrízica

Las raíces delgadas que se prepararon para esta fase de laboratorio, se sumergieron en alcohol al 50 % y se pusieron en el refrigerador para evitar su descomposición y posterior tinción. La tinción se llevó a cabo de acuerdo con la técnica de Phillips y Hayman (Ferrera *et al.*, 1993). Pero con la variante de haber utilizado un horno de microondas marca SHARP, modelo Carrusel II, para la fase de claro de raíces (en KOH al 10 %), en lapsos de 90 segundos al 60 % de la capacidad total del horno y cuidando que no bullera la solución, llevándose esta fase más de 40 min. En la fase de tinción, las muestras con raíces se dejaron en la solución de azul de tripano al 0.05 % en lactoglicérol durante un período de 24 horas a temperatura ambiente de 23 °C.

La obtención de raíces para el montaje en el portaobjetos se obtuvo de acuerdo a la técnica de Phillips y Hayman (Ferrera *et al.*, 1993). De cada una de las plantas se prepararon 3 laminillas o portaobjetos con 20 segmentos de raíz de 1.5 cm de longitud aproximadamente. El porcentaje de colonización total de las raíces se obtuvo por medio de las siguientes fórmulas:

$$\text{Porcentaje de colonización total} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados}}{\text{Número de segmentos totales}} \times 100$$

### 13.13. Separación y conteo de esporas

La separación de las esporas de las muestras de suelo, se llevó a cabo por medio del método de tamizado y decantación en húmedo (Ferrera *et al.*, 1993). Para ello se tomó una muestra de 100 g de suelo por cada una de las muestras. La muestra se puso en un matraz Erlenmeyer y se le agregaron 500 ml de agua destilada para resuspenderlo, se agitó mecánicamente durante 5 minutos y posteriormente se dejó reposar un tiempo de 3 minutos aproximadamente. La muestra se decantó, dejando pasar la suspensión a través de 4 tamices con las siguientes aberturas de mallas: 0.125 y 0.105 mm, así como de 0.44 y 0.37 micrones, lavándose con abundante agua. Las muestras obtenidas de cada uno de los tamices se almacenó en una cantidad de agua equivalente a 20 ml y se mantuvieron en refrigeración para el posterior conteo de esporas.

Para realizar el conteo de las esporas de cada una de las muestras, se tomó 1 ml de cada una de ellas y se colocaron pequeñas gotas en una caja Petri con cuadrículas de 1 cm<sup>2</sup>. Posteriormente con la ayuda de un estereoscopio se contó el número de esporas de cada una de las gotas, obteniéndose por lo tanto la cantidad de esporas contenidas en un ml y posteriormente por extrapolación al volumen de 20 ml se obtuvo la cantidad de esporas existentes en los 100 g de suelo. Llevándose a cabo este método para cada una de las muestras.

### 13.14. Análisis estadístico de datos

Los análisis estadísticos de este proyecto se realizaron utilizando Microsoft Excel 97 para las pruebas de establecimiento y crecimiento de plántulas en invernadero, concentración de clorofila, colonización micorrízica, así como crecimiento y sobrevivencia de plantas en campo y el programa Statgraphics para realizar un ANCOVA a fin de determinar el cociente raíz/vástago (R/S).

## 14. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 14.1 Germinación de semillas

En la figura 7 se muestra el porcentaje final de germinación en dos tratamientos distintos: uno de ellos en una estufa a temperatura ambiente de 22 °C y el otro a una temperatura de 32 °C y períodos de 9 horas luz cada día; en ambos lotes se realizó una escarificación mecánica mediante una lija en la cubierta impermeable al agua que poseía la semilla y así poder inducir la germinación, al eliminar la latencia de la misma. (Camacho, 2000).

Esta fase de germinación se llevó a cabo durante un período de 6 días, ya que entre 4 y 6 días es lo que duró el proceso de germinación de todas las semillas (emergencia de las plántulas).

Los resultados obtenidos muestran de manera clara un mayor porcentaje de germinación en el tratamiento de 32 °C y 9 horas luz, aunque este no llega a ser el 100 %, porque algunas de las semillas estaban plagadas con insectos (gorgojos) que hacen pequeños orificios en la testa dura y que no son visibles a simple vista, por lo cual éste podría ser un factor que afecte el porcentaje real de germinación en este tratamiento que resultó más efectivo que la estufa a temperatura ambiente (22 °C).

Cuadro 3. Total de semillas germinadas por tratamiento

Tratamiento	No. De semillas Por tratamiento	% de semillas germinadas
22 °C	100	88
32 °C y 9 hrs luz	60	95

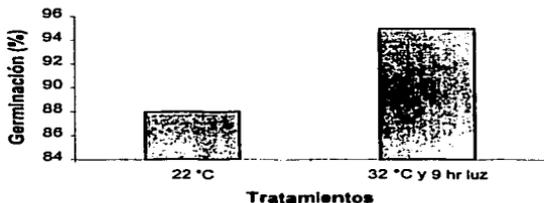


Figura 6. Porcentaje de germinación de semillas y comparación de los tratamientos

Las figuras 7 y 8 muestran las condiciones de temperatura y humedad registradas en el invernadero durante la realización de este proyecto.

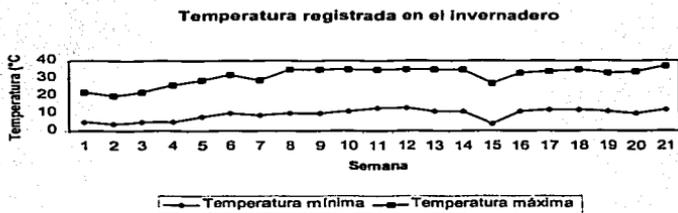


Figura 7. Temperatura registrada en el invernadero durante el experimento

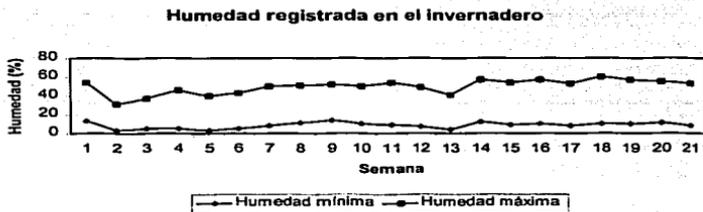


Figura 8. Humedad registrada en el invernadero durante el experimento

#### 14.2. Establecimiento de plántulas en invernadero

Una vez que transcurrieron entre 5 y 6 días después de haber puesto las semillas en cajas Petri y que éstas germinaron, las semillas con radícula fueron transplantadas a cada una de las macetas con sustrato para ambos tratamientos; después de dos semanas, se procedió a medir la sobrevivencia al transplante y se encontraron diferencias significativas en ambos lotes, sobreviviendo el 97.5 % de plántulas del lote con micorrizas ( $s^2 = 0.025$ ) y el 80 % de plántulas del lote control ( $s^2 = 0.1641$ ). A partir de una prueba estadística t de Student ( $P = 0.05$ ), se observaron estas diferencias en el establecimiento de plántulas de *Acacia schaffneri* en invernadero, entre ambos lotes ( $P = 0.0139$ ).

El mayor porcentaje de sobrevivencia en el lote micorrizado es debido probablemente a que el micelio extrarradical estabiliza y mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo y de esta manera se forman agregados y permite que el hongo colonice una nueva raíz rápidamente y se dé la simbiosis (Bethenfalvay y Shuepp, 1994. En: Bago. *et al.*, 2000). Schreiner *et al.* (1997), mencionan que los HMA mejoran la formación de agregados en el suelo e inhiben a algunas bacterias de éste, así como algunos aspectos de la relación planta-suelo, mediante exudados de la raíz, crea cambios en la rizósfera en respuesta al estrés de nutrimentos en la planta, incrementando el crecimiento y adquisición de nutrimentos de la raíz hospedera (Marschner y Dell, 1992).



Figura 9. Porcentaje de sobrevivencia de plántulas en la fase de invernadero.

#### 14.3. Crecimiento

A partir de los datos recolectados semanalmente de crecimiento de las plantas de ambos lotes durante las 21 semanas de la fase de invernadero, se puede afirmar que no hubo diferencias significativas en ambos lotes; este crecimiento comprende los siguientes parámetros: altura, diámetro medio y número de pinnas.

A partir de una prueba estadística *t* de Student ( $P < 0.05$ ), comparando ambos lotes de plantas en la fase invernadero, no se encontraron diferencias significativas para las variables: altura máxima, diámetro medio y número de pinnas ( $P = 0.5813$ ,  $P = 0.0931$  y  $P = 0.7681$ , respectivamente) entre ambos lotes.



Figura 10. Crecimiento de plantas de *Acacia schaffneri* en la fase de invernadero.

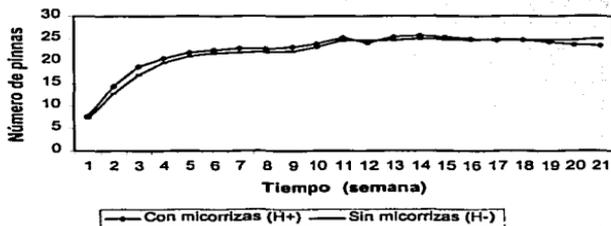


Figura 11. Número de pinnas en plantas de *Acacia schaffneri* en fase de invernadero.

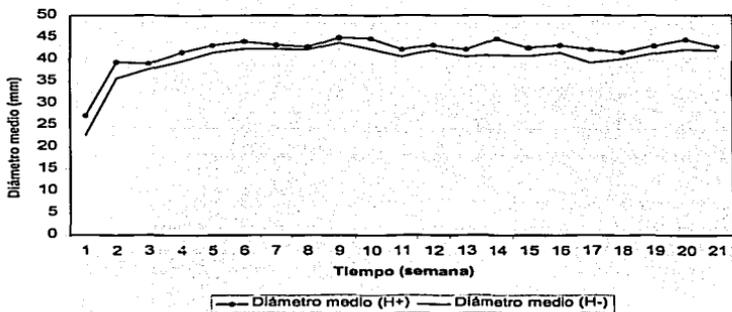


Figura 12. Crecimiento del diámetro medio en invernadero. Con micorrizas (H+) y sin micorrizas (H-)

Cuadro 4. Promedio de los parámetros medidos semanalmente en ambos lotes en el invernadero, con micorrizas (H+) y sin micorrizas (H-)

No. semana	Altura (H+)	Altura (H-)	Diámetro medio (H+)	Diámetro medio (H-)	No. pinnas (H+)	No. pinnas (H-)
1	52.9	52.2	27.1	22.7	7	7
2	80	82.2	39.4	35.6	14	12
3	97.8	103.5	39	37.7	18	16
4	108.1	111.7	41.7	39.6	20	19
5	115.5	111.9	43.3	41.5	21	21
6	118.4	112	44	42.3	22	21
7	117.9	114	43.2	42.3	22	21
8	120.6	116.1	42.8	42.2	22	22
9	120.7	117.2	44.9	43.7	23	22
10	122.4	117.5	44.7	42.3	23	23
11	124.7	118.9	42.2	40.5	25	24
12	125.1	121.5	43.2	42	24	24
13	124.8	118.6	42.2	40.5	25	24
14	123.7	120.1	44.6	41	25	25
15	123.2	119.9	42.6	40.8	25	24
16	123.5	119.2	43.2	41.6	24	24
17	123.1	118.8	42.1	39.1	24	24
18	122.7	118.9	41.6	40	24	24
19	122	119.4	42.9	41.2	24	24
20	123.7	119.7	44.5	42.2	23	24
21	123.3	119.7	42.8	41.9	23	25
Promedio total	114.9	112	42	40	21.8	21.6

El hecho de que no haya diferencias en el crecimiento de las plantas en ninguno de los dos lotes, puede deberse a varios factores, entre ellos: a) el incremento de la biomasa de los hongos micorrizógenos depende de una gran aportación de carbohidratos por parte de la raíz de la planta hospedera (Harley y Smith, 1983), además de que el hongo representa un costo adicional en cuanto al consumo de C fijado por la planta hospedera, que puede ser muy superior al 20% del total de C fijado (Smith y Read, 1997). Porque la relación simbiótica está primeramente caracterizada por la afluencia de carbohidratos de la planta al hongo y este último puede llegar a comportarse como parásito cuando requiere una demanda adicional de C fijado por la planta, de tal manera que le sea difícil a ésta poder sostener la simbiosis (Varma, 1999). Vega (2003), reporta para el arbusto *Verbesina virgata* del pedregal de San Angel, D. F., que no hay diferencias significativas en ninguno de los tratamientos (con micorrizas y sin micorrizas) en cuanto a los parámetros de crecimiento y área foliar, debido a que las plantas micorrizadas absorben más fósforo y transpiran más agua, por lo cual deben eficientizar el uso de recursos, reflejándose esto en la biomasa total. Y b) zonas de impedimento mecánico para las raíces en el suelo, en este caso, la poca cantidad de sustrato en las macetas. Bennie (1996), menciona que la disminución en el crecimiento de la raíz es resultado de una reducción en la elongación de ésta y un aumento en el ensanchamiento de la misma y muy posiblemente por una disminución en la producción celular cuando un impedimento mecánico le obstaculiza, esto resulta de una pequeña diferencia entre la presión celular y la resistencia ofrecida por la matriz de suelo, lo cual quiere decir, que si la raíz encuentra barreras que no pueda traspasar, el crecimiento de la misma, disminuye o cesa, lo cual se ve reflejado en la biomasa total de la planta.

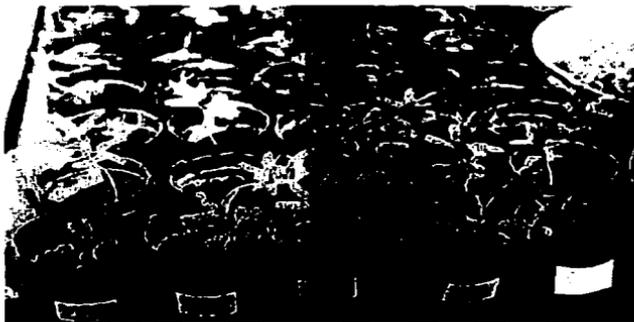


Figura 13. Plantas de *Acacia schaffneri* en invernadero

#### 14.4. Concentración de clorofila

A las 11 y 21 semanas en la fase de invernadero, se midió la concentración de clorofila en cada una de las plantas de ambos tratamientos, y en ambas ocasiones, aunque no existió diferencia significativa en la concentración de clorofila en ninguno de los dos lotes, fue un poco mayor la concentración de clorofila en las plantas no micorrizadas que en las plantas micorrizadas. La figura 14 muestra el valor promedio de la concentración de clorofila obtenido de ambas mediciones durante la fase de invernadero.

Los valores de concentración de clorofila en unidades SPAD fueron cercanos a 10.5 en ambos lotes

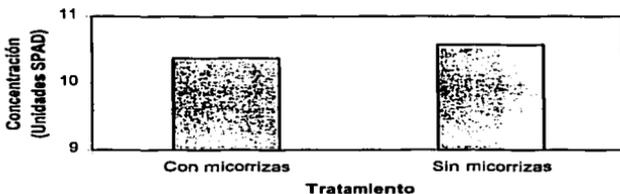


Figura 14. Concentración de clorofila en plantas de *Acacia schaffneri* en invernadero.

La prueba de t de student ( $P < 0.05$ ) refleja que no hubo diferencias significativas en la concentración de clorofila de las plantas de ambos lotes, en ninguna de las dos ocasiones en que se midió este parámetro ( $P = 0.8293$ ).

Aún bajo condiciones de estrés hídrico, la tasa fotosintética y la concentración de clorofila, es mayor en plantas micorrizadas que en plantas testigo (Hampp y Schaeffer, 1999). Es probable que el costo de establecer la simbiosis micorrícica impide el desarrollo de las plantas inoculadas, tanto en biomasa como en la concentración de clorofila, debido al gasto en carbohidratos que se suministran al hongo micorrícico, especialmente en los primeros estadios de vida de las plántulas. Ya que por lo común en la gran mayoría de las veces, las plantas inoculadas con micorrizas aumentan su tasa fotosintética a diferencia de las plantas sin micorrizar (Smith y Read, 1997).

#### 14.5 Biomasa seca

Los resultados obtenidos de peso seco, están directamente relacionados con los obtenidos del crecimiento de plantas en la fase de invernadero. El cuadro 5 muestra los resultados obtenidos de las variables: raíz (R) y vástago (S), así como el cociente de la biomasa radical y aérea (R/S). A partir de una prueba de ANCOVA ( $P < 0.05$ ) se muestra que no hay diferencias significativas entre ambos lotes de plantas en cuanto a peso seco total ( $P = 0.90$ ), pero sí hay diferencias en cuanto al cociente raíz/vástago ( $P = 0.0009$ ), entre ambos lotes.

Tratamiento	Peso seco (g)		Cociente R/S
	Vástago (S)	Raíz (R)	
Con micorrizas (H+)	0.2772	0.4129	1.4896
Sin micorrizas (H-)	0.2760	0.4205	1.5232

Cuadro 5. Promedio de peso seco en gramos de las plantas de *Acacia schaffneri* en ambos lotes, así como el cociente de la biomasa radical/biomasa del vástago (R/S).

Las diferencias morfológicas, anatómicas y fisiológicas entre tallos y raíces, hacen que frecuentemente sean considerados como sistemas enteramente separados, pero en realidad ésta es una cuestión muy relacionada donde el crecimiento de la raíz y el tallo es controlada por un sistema cerrado de retroalimentación en la cual hay interacciones hormonales, nutrición mineral y reparto de carbono entre ambos. Así, cuando no hay un desarrollo óptimo en las plantas se considera que existe estrés que afecta a éstas (Dickson e Isebrands, 1994). Grime (1977, en Stuart, 1991), define el estrés como un factor que restringe el crecimiento de la planta, ya que la respuesta de ésta a la insuficiencia de recursos es totalmente predecible, porque se busca maximizar la adquisición de recursos. Cloudsley-Thompson (1979), menciona que ciertas especies de *Acacia* en África cuentan con redes radiculares muy desarrolladas porque sus largos pedúnculos alcanzan niveles acuíferos muy profundos y permiten una mayor explotación de los recursos. Por ello el crecimiento de la raíz (elongación) puede ser reducido debido a varios factores, en particular: incremento de la resistencia mecánica, aireación del suelo, humedad del suelo y otros, así como la especie vegetal y el estado de desarrollo de la planta y la anatomía de la raíz, ya que esto último tiene que ver con la distribución vertical y horizontal de las raíces, porque el radio de elongación de las raíces decrece rápidamente con un obstáculo mecánico (Gliński y Lipiec, 1990). La micorrización generalmente afecta de manera positiva en el incremento del desarrollo del sistema radical del hospedero; así, la raíz explora una mayor superficie de suelo, además de las hifas del propio hongo, absorbiendo los nutrientes minerales necesarios para el crecimiento de la planta (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990). Newton y Goodin (1989), mencionan que los arbustos perennes de regiones secas, generalmente presentan radios arriba de uno, ya que los tejidos de la raíz absorben parte del C de almacén obtenido en la fotosíntesis, además de que las relaciones R/S se incrementan

para evitar la desecación de la planta, de esta manera, las plantas responden a su ambiente, aumentando la parte radical como una estrategia en la obtención de agua, así como de los nutrientes del suelo (Stuart, 1991).

Flores-Bello, *et al.* (2000), mencionan que plantas de la leguminosa *Leucaena leucocephala* inoculada con *Glomus Intraradices* en condiciones de vivero no desarrolla una raíz con una longitud mayor que las plantas testigo pero a cambio de ello, se produjo una mayor cantidad de raíces delgadas en macetas de 10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad (más de 2 kg de sustrato). Esto permite observar que hay una mayor cantidad de suelo que pueden explorar las raíces e hifas para la obtención de recursos y que esto se ve reflejado en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Pero algunas ocasiones el hongo requiere de una demanda adicional del C que es fijado por la planta y llega a comportarse como parásito, lo cual hace que a la planta le sea difícil mantener la simbiosis (Varma, 1999). Es por ello que aunque haya habido una mayor biomasa radical en las plantas de *Acacia schaffneri* en ambos tratamientos no es la suficiente para obtener los recursos necesarios para mantener el crecimiento adecuado de las plantas, ya que también esta planta presenta una raíz pivotante y debido al escaso volumen de sustrato no desarrolló una gran cantidad de raíces laterales y se acumuló en el fondo de la maceta con lo cual no pudo explorar una mayor cantidad de suelo que le permitiera aumentar de manera general tanto la biomasa aérea como radical.

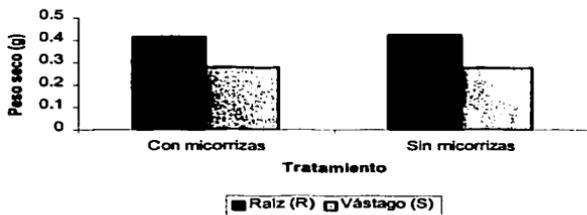


Figura 15. Comparación del peso seco obtenido de las plantas de *Acacia schaffneri* en el laboratorio



Figura 16. Planta de *Acacia schaffneri* mostrando de manera completa el sistema radical y el sistema aéreo.

#### 14.6 Colonización micorrízica

Los porcentajes de colonización micorrízica, tanto de vesículas y colonización total de raíces del lote (H+) es del 35 % a diferencia del lote control (H-) que tuvo contaminación y un porcentaje de colonización total del 8 %. A partir de una prueba t de Student ( $P < 0.05$ ) en la colonización por hifas, sí existe diferencia significativa en los dos tratamientos ( $P = 0.02145$ ) (cuadro 13) y en la colonización por vesículas no se encontraron diferencias significativas ( $P = 0.1228$ ) (cuadro 14), mientras que en la colonización total sí se observan tales diferencias ( $P = 0.03005$ ) (cuadro 15). Es importante mencionar que no se observaron arbusculos en las muestras de raíces en el laboratorio.

Los géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) encontrados en las muestras de suelo, corresponden a los géneros: *Glomus* (Fig. 18), *Scuttilospora* y *Acaulospora*.

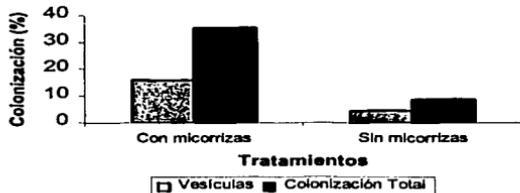


Figura 17. Porcentaje de colonización micorrizica en ambos lotes.

La colonización micorrizica de las raíces depende de muy diversos factores, entre ellos están: la planta hospedero, el endófito y las condiciones del medio como la humedad y la temperatura, ya que cuando el suelo tiene una humedad mínima, existe una demora en la germinación de las esporas de los hongos (Varma, 1999). También las diferentes respuestas a la colonización micorrizica por las diferentes especies de hongos pueden tener una influencia significativa en la estructura de la comunidad vegetal, ya que Wilson y Hartnett, (1998), mencionan que el sistema radical de los pastos perennes *Andropogon gerardii*, *Sorghastrum nutans* y *Andropogon scoparius*, es altamente colonizado durante la estación lluviosa en comparación con la estación seca. Carrillo *et al.* (2000), mencionan que en las palmeras *Bactris mexicana* y *Desmoncus quasillarius* se observa un mayor porcentaje de colonización micorrizica durante la temporada de lluvias bajo condiciones naturales. Rivera (2001), reporta que las cactáceas *Opuntia excelsa*, *Cephalocereus purpusii*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Stenocereus chrysocarpus*, *Achantocereus occidentalis* y *Opuntia puberola*, tienen un mayor porcentaje de estructuras micorrizicas en los meses de julio a octubre, lo cual que coincide con la temporada de lluvias. Ramírez *et al.*, (1997), obtuvieron un mayor crecimiento en plantas del pasto *Bouteloa gracilis* en muestras de suelo con alta disponibilidad hídrica, la cual es favorecida significativamente por la colonización micorrizica de la planta en condiciones de invernadero. Sánchez-Gallén y Guadarrama (2000), mencionan que la respuesta a la micorrización está finamente regulada por la presencia de diversos factores ambientales tales como: luz, nutrientes, asociaciones bióticas y por supuesto la humedad, donde las especies vegetales *Poulsenia armata* y *Nectandra ambigens* son consideradas como especies persistentes en la selva de los Tuxtlas, Veracruz, las cuales responden de manera fuerte y positiva a la colonización micorrizica en condiciones de invernadero.

Esto puede explicar que al mantenerse un riego a capacidad de campo en ambos lotes de plantas en la fase de invernadero y dado que esto genera la humedad suficiente, se dé un porcentaje de colonización mayor del 35 % en las raíces de *Acacia schaffneri*. También, es posible mencionar que haya habido colonización micorrizica en el lote control, debido a que la esterilización no haya sido suficiente y dado que algunas esporas de los hongos permanecen viables durante las condiciones más adversas, por lo que podrían haber sobrevivido al proceso de esterilización y germinar al encontrarse en condiciones de humedad adecuadas y encontrando las raíces a las cuales colonizar para poder establecer la simbiosis. Así mismo, otro factor que puede explicar la colonización micorrizica del testigo es la contaminación, vía aérea, de las unidades experimentales, dada la vecindad con otras macetas.

El cuadro 6 muestra la cantidad en el número de esporas que se encontraron en las muestras de suelo en las macetas con plantas de *Acacia schaffneri*.

Tratamiento	Número de esporas en 100 g de suelo
Con micorrizas (H+)	5530
Sin micorrizas (H-)	1516

Cuadro 6. Número de esporas encontradas en muestras de 100 g de suelo en plantas de *Acacia schaffneri*.



a



b

Figura 18. Esporas de hongos micorrizicos arbusculares encontradas en el suelo de las macetas de *Acacia schaffneri*, pertenecientes al género *Glomus*.



Figura 19. Raíces de *Acacia schaffneri* colonizadas por vesículas de hongos micorrizicos arbusculares.

#### 14.7 Sobrevivencia y crecimiento en campo

La figura 20 muestra el porcentaje de sobrevivencia de plantas de ambos lotes transplantadas en campo. Para el lote micorrizado hubo un 43 % de sobrevivencia mientras que hay un 36 % para el lote control, en una prueba de t de Student ( $P < 0.05$ ) no se muestran diferencias significativas en el porcentaje de plantas que sobrevivieron y se establecieron en campo ( $P = 0.6054$ ). en cuanto al crecimiento de las plantas, tampoco existen diferencias significativas en una prueba de t de Student ( $P < 0.05$ ) se obtuvo ( $P = 0.0773$ ).

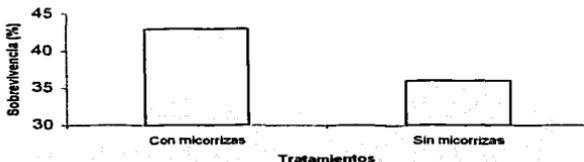


Figura 20. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de *Acacia schaffneri* en campo

Nodrizas	% Sobrevivencia	
	(H+)	(H-)
<i>Mimosa depauperata</i>	33	10
<i>Flourensia resinosa</i>	10	26
Total	43	36

Cuadro 7. Porcentaje de sobrevivencia de plantas de *Acacia schaffneri* en campo bajo cada especie nodriza

Existen limitaciones especiales para la restauración de terrenos áridos y semiáridos que son regidos por la rigurosidad del clima, entre ellas la más importante de estas limitaciones es la precipitación escasa y variable (Allen, 1999a). Ya que las respuestas de las plantas ante el déficit de agua es dependiente de la cantidad de agua disponible, la velocidad de la pérdida de agua y la duración de la condición del estrés hídrico (Bray, 1997). Por ello, Allen (1999 b), menciona que la inoculación de plantas con hongos micorrizcos y su posterior trasplante en zonas deterioradas, es una herramienta útil para la restauración ecológica de sitios perturbados.

El trasplante de plantas de *Acacia schaffneri*, se hizo el mes de agosto del año 2001, después de haber sido inoculadas con HMA y con una edad de 21 semanas y que coincidía con la época de lluvias, para que hubiera una mayor probabilidad de éxito en el establecimiento en campo. Se atribuye un menor porcentaje de establecimiento, debido a que plantas de ambos lotes fueron ramoneadas por el ganado ovino y caprino que pastorean en esa zona, al igual que algunos micrositios fueron pisoteados por los animales y con ello se mataron algunas plantas. Es importante mencionar que sin embargo los porcentajes de establecimiento pueden también atribuirse al uso de plantas nodrizas. En efecto, Maestre *et al.* (2002), menciona que si se introducen plantas inoculadas con hongos micorrizcos en zonas deterioradas, hay un mayor porcentaje de establecimiento y sobrevivencia de las mismas, que si no se inoculan, pero habrá una cifra aún mayor de sobrevivencia si se usan micrositios. Esto se debe al efecto microclimático que puede crear una planta nodriza, ya que aparte de tener una temperatura inferior bajo su dosel, mantiene un alto contenido de nutrientes lo que favorece la actividad de los microorganismos del suelo y mantiene un nivel mayor de agua que ayudan al establecimiento vegetal de otras especies (Carrillo-García *et al.*, 1999; Reyes-Quintanar *et al.*, 2000). *Mimosa depauperata* y *flourensia resinosa* forman parte de las especies arbustivas bajas con alturas de 0.5-1.0 m en el agostadero (Medrano, 2002), son plantas caducifolias que aportan materia orgánica y afectan de manera positiva algunas condiciones edáficas. Avilés *et al.* (1997), mencionan que *Flourensia resinosa* y *Mimosa biuncifera* también aportan materia orgánica y nitrógeno pero a pesar de ello, estos beneficios al suelo no se encuentran relacionados con un mayor porcentaje de establecimiento del zacate *Bouteloa gracilis*. Por lo cual esto también pudo haber influido en que no haya diferencias significativas en los porcentajes de sobrevivencia de plantas de *Acacia schaffneri* en campo.

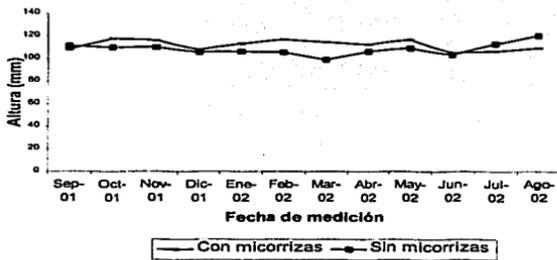


Figura 21. Altura de plantas de *Acacia schaffneri* en campo

Mes	Altura (mm) Tratamiento	
	(H+)	(H-)
Septiembre	108	111
Octubre	117.8	110.4
Noviembre	106.2	101.5
Diciembre	115.3	105.8
Enero	113.4	106.4
Febrero	117	105.6
Marzo	114.3	106.1
Abril	111.9	106.2
Mayo	116.5	109
Junio	104.9	103.2
Julio	107	113.2
Agosto	109.2	120.2
Promedio total	111.7	108.8

Cuadro 8. Altura registrada en plantas de *Acacia schaffneri* en campo durante un año (Septiembre 2001-Agosto 2002)

La figura 22 muestra en un diagrama de flujo las partes más puntuales en la realización de este proyecto, desde la germinación de las semillas en el invernadero, hasta la función que se le atribuye a plantas de este tipo como mejoradoras de las condiciones edáficas y función como nodrizas para otras especies vegetales, así como una parte importante en la generación de conocimiento en las interacciones planta-HMA y coadyuvar a la restauración ecológica de las zonas áridas deterioradas.

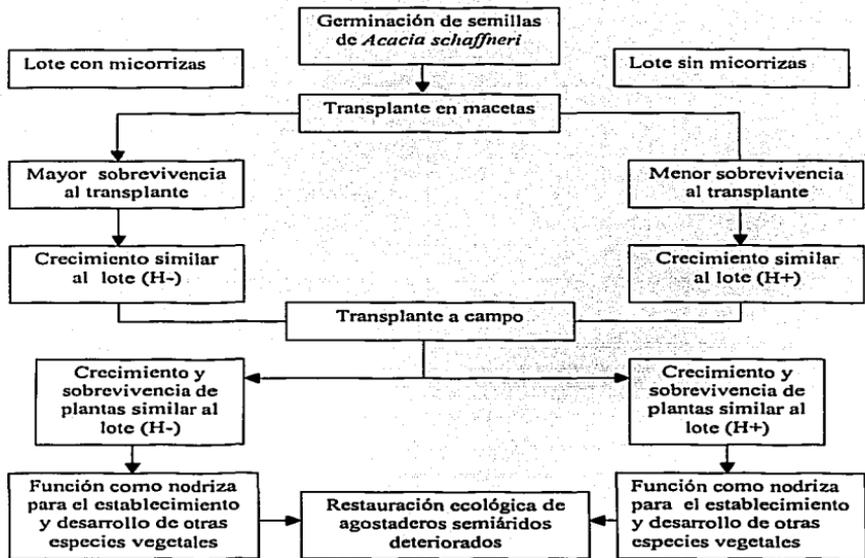


Figura 22. Diagrama de flujo para el establecimiento y desarrollo de plantas de *Acacia schaffneri* en condiciones de invernadero y campo y su utilidad para la restauración ecológica de los agostaderos semiáridos deteriorados.

## 15. CONCLUSIONES

- Existen diferencias significativas en la germinación de semillas entre ambos tratamientos (22 °C y 32 °C 9 horas luz), por lo cual es recomendable el tratamiento a 32 °C y 9 horas luz diarias.
- El inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) incrementa el porcentaje de establecimiento y sobrevivencia de plántulas de *Acacia schaffneri* durante las primeras fases de desarrollo de esta especie en condiciones de invernadero.
- No existen diferencias significativas en ambos lotes (H+) y (H-) en cuanto al crecimiento, número de pinnas y diámetro medio; ni en la concentración de clorofila bajo condiciones de invernadero, así como tampoco en el crecimiento y sobrevivencia de plantas en campo.
- No existen diferencias significativas en la comparación de peso seco total entre las plantas de ambos lotes, pero sí hay diferencias en la comparación del cociente raíz/vástago de cada una de las mismas plantas en los dos lotes, debido a --probablemente-- limitantes mecánicas que interfieren con la elongación de las raíces y la exploración de suelo por las mismas, que afectan directamente el desarrollo de las plantas, siendo a pesar de ello, mayor la biomasa radical que la aérea en todas las plantas.
- La colonización micorrizica de las raíces, a largo plazo, representó un alto costo para las plantas en el intercambio de nutrientes y carbohidratos entre ambos simbiontes, lo que finalmente afectó el desarrollo de las plantas inoculadas, de tal forma que al comparar ambos lotes no se presentaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento comparados, al final del experimento.
- La inoculación de las plantas de *Acacia schaffneri* es importante durante las primeras fases del establecimiento y desarrollo de éstas, ya que hay un mayor porcentaje de sobrevivencia en invernadero. Esto significa que puede haber una mayor cantidad de plantas disponibles para la restauración ecológica de los agostaderos semiáridos deteriorados.
- La cantidad de sustrato no fue la suficiente (macetas relativamente pequeñas), al limitarse en el desarrollo de las raíces por impedimentos mecánicos, no se favoreció el crecimiento adecuado de la parte radical y que a su vez repercutió también en el escaso incremento de la parte aérea.

## 16. RECOMENDACIONES

En la realización de este proyecto de investigación, los resultados obtenidos, fueron por lo general, diferentes a los esperados. Pero algunas recomendaciones para nuevos experimentos, podrían tal vez, generar otro tipo de resultados, como los planteados y esperados en la hipótesis.

De manera general, podrían hacerse varias recomendaciones, pero aquí se mencionan tres muy importantes que pudieron haber influido de manera significativa en la experimentación:

- La esterilización del sustrato debe realizarse durante dos horas y repetirse dos veces para ser más efectiva.
- Dado que *Acacia schaffneri* tiene raíces profundas, se deben utilizar macetas más grandes con aproximadamente 1.5 kg de sustrato que pueda ser explorado por las raíces y evitar en lo posible algún impedimento mecánico para las mismas.
- El conteo de esporas debe hacerse con toda la muestra y no tomar sólo una parte de ella y extrapolar, para tener números más reales de la cantidad existente de las mismas por muestra de suelo.

## 17. REFERENCIAS

- ✓ Abbott L. K. y Robson A. D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35: 121-150.
- ✓ Allen E.B. 1999a. La restauración de zonas áridas perturbadas con especial referencia a los hongos micorrícicos. En: Orellana, R., Escamilla, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (eds.). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. CICY. Yucatán, México. pp 167-177.
- ✓ Allen M. F. 1999b. La micorriza y las rehabilitaciones de suelos áridos perturbados: procesos y prácticas. en Orellana, R., Escamilla, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (eds.). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. CICY. Yucatán, México. pp 161-165.
- ✓ Allen M. F. 1991. *The Ecology of Mycorrhizae*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press. Cambridge. 184 pp.
- ✓ Allen M. F. 1992. *Mycorrhizal Functioning. An Integrative Plant-Fungal Process*. Chapman y Hall. New York. London. 534 pp.
- ✓ Aronson J., Floret C., Le Floch E.Ovalle C. y Pontainer R. 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. A View from the South. *Restoration Ecology*. 1 (1): 8-17.
- ✓ Avilés M. S., Cortés C. J. C. y Monroy A. A. 1997. Condición edáfica bajo tres nodrizas vegetales y su influencia en el establecimiento de *Bouteloua gracilis* a partir de semilla de dos procedencias, en un agostadero semiárido del Valle de Actopan, en el Estado de Hidalgo. Congreso nacional de la ciencia del suelo. Memorias. Ordaz Ch, V. M. y Alcantar G, G. (eds.). pp 118.
- ✓ Annapurna K., Tilak K. U. B. R. y Mukerji K. G. 1996. Arbuscular mycorrhizal symbiosis recognition and specificity. En: *Concepts in Mycorrhizal Research*. Mukerji (ed). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp 77-90
- ✓ Azcón R. 2000. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 1-15.
- ✓ Azcón- G. C. y Barca J. M. 1980. *Micorrizas. Investigación y ciencia*. 47:8-16.

- ✓ Bago B., Azcón-Aguilar C., Shachar-Hill Y. y Pfeffer P. E. 2000. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. En: Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prens. México. pp 78-92.
- ✓ Bainbridge D.A. 1990. The restoration of agricultural lands and drylands. En: Berger J. J. (ed.). *Environmental restoration, science and strategies for restoring the earth*. Island Press. E. U. pp 4-13.
- ✓ Bennie A.T. P. 1996. Growth and Mechanical Impedance. En: *Plant Roots. The Hidden Half*. Waisel Y., Eshel A. y Kafkafi V. (eds.). Marcel Dekker Inc. New York. pp 453-482
- ✓ Barea J. M. 1998. *Biología de la rizósfera*. Investigación y Ciencia. Enero. pp. 74-81
- ✓ Barker S. J., Tago D. y Delp G. 1998. Regulation of Root and Fungal Morphogenesis in Mycorrhizal Symbioses. *Journal of Cell Biology*. On line. 116: 1201-1207.
- ✓ Bethlenfalvay G. J., Cantrell I. C., Muhara K. L. y Schreiner R. P. 1999. Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. *Biol Fertil Soils*. 28: 356-363.
- ✓ Bolgiano N. C., Safir G. R. y Warnecke D. D. 1983. Mycorrhizal infection and Growth of Onion in the Field in Relation to Phosphorus and Water Availability. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108 (5): 819-825.
- ✓ Bowen G. D. 1987. The biology and physiology of infection and its development. En: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. Safir G. R. (ed). CRC. Press, Boca Raton, Florida. pp 27-57.
- ✓ Bradshaw A. D. 1982. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 20: 1-17.
- ✓ Bray E. A. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*. 2 (2): 48-54.
- ✓ Brundrett M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. *Advances in Ecological Research*. 21: 171-313.
- ✓ Calderón G. y Rzedowski J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Michoacán, México. pp 253-254.
- ✓ Camacho M. F. 2000. Dormición y quiescencia en el manejo de las semillas forestales. Red mexicana de germoplasma forestal. SEMARNAP-PRONARE. México. pp 7-22.

- ✓ Carrillo L., Varela L. y Orellana R. 2000. Variación estacional en la densidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares y en el porcentaje de colonización micorrícica de tres palmeras yucateenses. En: Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.), Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa, México. pp 39-46.
- ✓ Carrillo-García A., León de la L. J. L., Bashan Y. y Bethlenfalvay G. J. 1999. Nurse plants Micorrhizae and plant establishment in a disturbed area Sonora desert. *Restoration Ecology*. 7 (4): 321-335.
- ✓ Cervantes V., Arriaga V., Meave J. y Carabias J. 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from Southern México. *Forest Ecology and Management*. 110: 329-341.
- ✓ Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. CONABIO, UNAM-Fundación Sierra Madre, A. C. 847 pp.
- ✓ Cheung K. C., J. P. K. Wong, Z. Q. Zhang, J. W. C. Wong. y M. H. Wong. 2000. Revegetation of lagoon ash using legume species *Acacia auriculiformis* and *Leucaena leucocephala*. *Environmental Pollution*. 109: 75-82.
- ✓ Cloudsley-Thompson, L. 1979. El hombre y la biología de zonas áridas 1ª edición. Editorial Blume. Barcelona. pp 24, 77, 85.
- ✓ Curl E. A. y Truelove B. 1986. The rhizosphere. Springer-Verlag, Alemania. pp 180-190
- ✓ Daft M. J. 1992. Use of VA Mycorrhizas in Agriculture: Problems and prospects. En: mycorrhizas in Ecosystems. Read, D. J., Lewis, D. H., Fitter, A. H. y Alexander, I. J. (eds.), Cab International, Cambridge. pp 198-201.
- ✓ Daniels-Hetrick B. A. 1984. Ecology of VAM mycorrhizal fungi in VA Mycorrhiza. Powel C. L y Bagyarag D. J. (eds.). CRC. Press. Boca Raton FL. pp 35-55.
- ✓ Dickson R. E. e Isebrands J. G. 1991. Leaves as Regulators of Stress Response. En: Response of plants to multiple stresses. Mooney H. A., Winner W. E., Pell E. J. y Chu E. (eds.). Academic Press. USA. pp 67-88.
- ✓ Escobar R. E., Monroy A. A. y Ríos G. R. 2000. Caracterización de la simbiosis micorrícica de dos gramíneas de un agostadero semiárido impactado por un gradiente de salinidad e Ixmiquilpan, Hgo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. En prensa.

- ✓ Espinoza-Victoria D. 2000. Diálogo molccular: Hongo micorrízico arbuscular-raíz. En: Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 93-116.
- ✓ Ferrera C. R., González Ch. M., Rodríguez M. M. 1993. Manual de Agromicrobiología. Trillas. México. pp 53-93.
- ✓ Flores-Bello R., Aguilar S., García R. y Zamora A. 2000. Respuesta de crecimiento en plántula de *Leucaena* a la micorriza arbuscular en condiciones de vivero. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). IRENAT- Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 156-161.
- ✓ Frago I. S. 2001. Generación de un inóculo MA nativo a Santiago de Anaya, Hgo. y su potencialidad en la inoculación de *Acacia farnesiana* y *Bouteloua curtipendula*. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 68 p.
- ✓ Friese C. F. y Allen M. F. 1991. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture. *Mycologia*. 83: 409-418.
- ✓ García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). 3ª edición. México. 252 pp.
- ✓ García S. R. y Monroy A. A. 1999. Plantas de los agostaderos de Santiago de Anaya, Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. En prensa. pp 1-14.
- ✓ Głinski J. y Lipiec J. 1990. Soil Physical Conditions and Plant Roots. Boca Ratón, Florida. pp 84-85, 129-133, 138, 156-159.
- ✓ González R. H. 1998. Respuesta al estrés de sequía en plantas arbustivas del noreste de México. 29º Congreso nacional de la ciencia del suelo. La investigación edafológica en México. Ordaz Ch, V. M. y Sánchez G. P. (eds.). pp 108.
- ✓ Graham J. H. y Eissenstat D. M. 1994. Host genotype and the formation and function of VA mycorrhizae. En: Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. A. D. Robson., L.K. Abbott y N. Malajczuk (eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 179-185.
- ✓ Grenot C. J. 1983. Desierto Chihuahuense. Fauna del Bolsón de Mapimi. Ecología y Conservación de los Vertebrados. Coordinación de Publicaciones. Departamento de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 63 pp.

- ✓ Gupta R. K. y Pradeep K. 2000. Mycorrhizal Plants in Response to Adverse Environmental Conditions. En: Mycorrhizal Biology. Mukerji K. G., Chamola B. P. y Singh J. (eds.). Kluwer Academic Publishers. New York. pp 67-84.
- ✓ Guzmán-Plazola R. A. y Ferrera-Cerrato R. 1990. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. Sección de Microbiología, Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. México. 119 p.
- ✓ Habte M. 1999. Soil Acidity as a Constraint to the Application of Arbuscular Mycorrhizal Technology. En: Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Varma A. y Hock B. (eds.). Springer. pp 557-569.
- ✓ Hampp R. y Schaeffer C. 1999. Mycorrhiza-Carbohydrate and Energy Metabolism. En: Mycorrhiza. Structure, Function, Molecular, Biology and Biotechnology. Varma A. y Hock B. (eds.). Springer. pp. 273-303.
- ✓ Harley J. L y Smith S. E. 1983. Mycorrhizal simbiosis. Academic Press. London.
- ✓ Hodge A. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. Mini Review. FEMS Microbiology Ecology. 32: 91-96.
- ✓ Jakobsen I. y Rosendahl L. 1990. Carbon Flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytol.* 115: 77-83.
- ✓ Jakobsen I. 1999. Transport of Phosphorus and Carbon in Arbuscular Mycorrhizas. En: Mycorrhiza. Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology. Varma A. y Hock B. (eds.). 2ª edición. Germany. pp 305-332.
- ✓ Jasper D. A., Abbott L K. y Robson A. D. 1989. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of VA Mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 112: 93-99.
- ✓ Jonson N. C., O'Dell T. y Bledsoe C. S. 1999. Methods for ecological studies of Micorrhizae. En: Standar soil methods for long-term ecological research. Robertson G. P., Coleman D. C., Bledsoe C. S. Y Phillip S. (eds.), Oxford University Press. E. V. pp 378-407.
- ✓ Kirkby M. J. y Morgan R. C. P. 1984. Erosión de suelos. Limusa. México. pp 15-17.
- ✓ Klopatek C. C. De Bano L. F. y Klopatek D. C. 1998. Effects of simulated FIRE on vesicular-arbuscular mycorrhizae in pinyon-juniper woodland soil. *Plant and Soil.* 109: 245-249.
- ✓ Kramer P. J. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. Harla, México. 538 pp.
- ✓ Lambers H. Chapin III F. S. Y Pons T. L. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer. 590 pp.

- ✓ López R. J. y López M. J. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas: Métodos de campo y de laboratorio. 4ª edición. Mundi Prensa. España. 152 pp.
- ✓ Ludwig J. A. 1986. Primary Production Variability in Desert Ecosystems. En: Pattern and Process in Desert Ecosystems. Whitford W. G. (ed.). University of New México Prees. Albuquerque. pp 5-17.
- ✓ Maestre F. T., Bautista S., Cortina J., Díaz G., Honrubia M. y Vallejo R. 2002. Microsite and Mycorrhizal inoculum effects on the establishment of *Quercus coccifera* in a semi-arid degraded steepe. Ecological Engineering. 19 (2002): 289-295.
- ✓ Maldonado A. J. L. 1990. Manejo integrado de los recursos del agua, suelo y biota de las zonas áridas y semiáridas. Horizonte año 2000, pp 1-9. En: Alternativas de manejo y utilización de los recursos de las zonas áridas. Meléndez G. R., Morelos O. S., Valdéz C. R. D., Parra R. y Mata R. G. (eds.). Bermejillo, Durango. México.
- ✓ Marschner H. y Dell B. 1992. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. En: Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. Robson A. D., Abbott L. K. y Malajczuk N. (eds.). Kluwer Academic Publishers. pp 89-102.
- ✓ Mc Ginnies W. G. 1980. Hot deserts of the world: What and were. En: Gyde L. H., Caballero M., Driscoll R. S. y Bonner W. (eds.). Arid land resource inventories: developing cost-efficient methods. (Procedente del trabajo presentado en La Paz, México. 30 nov-6 dic. 1980). United States. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report WO-28. E U. pp 8-17.
- ✓ Mc Kell C. M. 1989. The role of shrubs in plant community diversity. En: Mc Kell C. M. (ed.). Environmental restoration, science and strategies for restoring the earth. Island Press. E U. pp 4-13.
- ✓ Mc Naughton S. J. y Wolf L. L. 1984. Ecología General. Ediciones Omega. Barcelona. 1ª edición. pp 103-126.
- ✓ Martínez R. E. 1996. La restauración ecológica. Ciencias. 43: 56-61.
- ✓ Martínez M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. 1ª ed. pp 465, 1038.
- ✓ Medrano C. H. I. 2001. Obtención de un inóculo endomicorrízico nativo para un agostadero semiárido degradado en Santiago de Anaya, Hidalgo. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.
- ✓ Monroy A. A. 2002. En busca del paraíso perdido: restauración ecológica. *Conversus*. 8: 28-33.

- ✓ Montaña A. N. M. 1999. Colonización micorrícica arbuscular (MA) y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en trigo, triticale y maíz cultivados en Andisol del municipio de Villa de Allende, Edo. México. Informe de Investigación de Servicio Social, realizado en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. 78 p.
- ✓ Montaña A. N. M. y Monroy A. A. 2000. Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo* 154: 26-37.
- ✓ Morton J. B. 2001. Two new families of Glomales, Archaesporaceae and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*. 93 (1): 181-195.
- ✓ Munyonziza E, H. K. Kehri., D. J. Bagyaraj. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. *Applied Soil Ecology*. 6: 77-85.
- ✓ Naveen P. B., Krishna S. y Alok A. 1996. Diversity and selective dominance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. En: *Concepts in Mycorrhizal Research*. Mukerji K. G. (ed.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp 133-178.
- ✓ Newton R. J. y Goodin J. R. 1989. Moisture stress adaptation in shrubs. En: Mckell c. M. (ed). *The biology and utilization of shrubs*. Academic Press. E U. pp 365-374.
- ✓ Ojangurén S. 1996. Desertificación y desiertos. *Ciencia y Desarrollo*. 22 (128): 38-41.
- ✓ Ojangurén S. 1997. Plantas, una riqueza mexicana semiolvidada. *Ciencia y Desarrollo*. 12 (132): 15-17.
- ✓ Palmer R. G. 1979. Introducción a la ciencia del suelo. Editor. México. pp 52-56.
- ✓ Pate J. S. 1994. The mycorrhizal association: just one of many nutrient acquiring specializations in natural ecosystems. En: *Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry*. Robson A. D., Abbott L. K. y Malajczuk N. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp 1-10.
- ✓ 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 profesional de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.
- ✓ Piché Y., Simon L. y Séguin A. 1994. Genetic manipulation in vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. En: A. D. Robson., L. K. Abbott y N. Malajczuk. (eds.). *Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp 171-178.

- ✓ Ramírez C. M. E., López D. M., Molina G. E., García S. R. y Monroy A. A. 1997. Crecimiento en un invernadero de *Bouteloa gracilis* con inducción de colonización micorrizica en suelo de dos procedencias y bajo dos regimenes hídricos. En: Ordaz Ch. V. M., Alcantar G. G. Castro B. C. y Mejía P. M. (eds.). Memorias de la Investigación Edafológica en México 1996-1997. XXVIII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. pp 119.
- ✓ Ramírez C. M. E., López D.M., Orozco A. M. S. y Monroy A. A. 1998. Influencia de una inducción micorrizica y de dos tratamientos hídricos sobre el establecimiento del zacate navajita (*Bouteloa gracilis*) en suelo de dos procedencias bajo condiciones de invernadero. 29º congreso nacional de la ciencia del suelo. La investigación edafológica en México. Ordaz Ch. V. M. y Sánchez G. P. (eds.). pp 135.
- ✓ Rajni G. y Mukerji K. G. 2000. The growth of VAM fungi under stress conditions. En: Mycorrhizal Biology. Mukerji K. G., Chamola B. P. y Singh J. (eds.). Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York. pp 57-66.
- ✓ Raven P. H. 1992. Biología de las plantas. Reverté. España. pp 653-655.
- ✓ Ravnskov. S., Larsen J., Olsson P. A. y Jakobsen I. 1999. Effects of various organic compounds on growth and phosphorus uptake of an arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytol.* 141: 517-524.
- ✓ Read D. J., Lewis D. H., Fitter A. H. y Alexander I. J. 1992. Mycorrhizas in Ecosystems. C. A. B. International. Cambridge. 418 pp.
- ✓ Redecker D. 2000. [Invam.caf.wvu.edu/new1.htm](http://Invam.caf.wvu.edu/new1.htm)
- ✓ Reyes-Quintanar C. K., R. Ferrera-Cerrato., A. Alarcón. y S. Rodríguez Z 2000. Microbiología de la relación de nodricismo entre leguminosas arbóreas y *Neobuxbaumia tetetzo* en suelos no erosionados y erosionados en Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Ecología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. A Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 46-55.
- ✓ Ríos-Castro B. D., Torres-Martínez R. y Peña-Cabrales J. J. 1998. Evaluación de índices de diversidad microbiológica en suelos. 29º Congreso nacional de la ciencia del suelo. La investigación edafológica en México. Ordaz Ch. V. M. y Sánchez G. P. (eds.). pp 126.
- ✓ Rivera A. F. L. 2001. Dinámica micorrizica espacio-temporal en seis especies de cactáceas de la selva baja caducifolia de Chamela, Jalisco. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM.
- ✓ Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. pp 120, 220. 221.

- ✓ Rzedowski J. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Volumen 1. Cia. Editorial continental. México. pp 281-282.
- ✓ Sánchez-Colín M. J., Ramírez B. P. J. y N. Torrescano V. 2000. Micorriza Arbuscular y *Rhizobium* presentes en leguminosas establecidas en suelo Andosol. Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). IRENAT- Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 46-55.
- ✓ Sánchez-Gallén I. y Guadarrama P. 2000. Influencia de la micorriza arbuscular en el crecimiento de plántulas de la selva húmeda tropical de los Tuxtlas Veracruz. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Alarcón A. y Ferrera-Cerrato R. (eds.). IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. pp 69-77.
- ✓ Schreiner R. P., Mihara K. L. Mc Daniel H. y Bethlenfalvay G. J. 1997. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. Plant and Soil. 188: 199-209.
- ✓ Sinnot E. W. 1963. Botany. Principles and problems. New York. McGraw-Hill. 515 pp.
- ✓ Smith S. E. y Read D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2ª ed. Academic Press. San Diego, California. pp 9-159.
- ✓ Stuart Ch. III. 1991. Effects of Multiple Environmental Stresses on Nutrient Availability and Use. En: Response of plants to multiple stresses. Mooney H. A. Winner W. E., Pell E. J. y Chu E. (eds.). Academic Press. USA. pp 67-88.
- ✓ Thair A. D. 1994. Acacias del Sahel. Una esperanza para la agricultura. Mundo Científico. 1 (152):1061-1063.
- ✓ Tommerup I. C. 1988. Long-Term preservation by L-drying and storage of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *Transactions of the British Mycological Society*. 90: 585-591.
- ✓ Trappe J. M. 1987. Phyllogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the Angiosperms from and evolutionary stand-point. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Safir G. R. (ed.). C. R. C. Press, Boca Raton. pp 5-25.
- ✓ Valdés M. 1989. Aspectos ecofisiológicos de las micorrizas. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 49: 19-30.
- ✓ Varela L. y A. Estrada T. 1999. el papel de los microorganismos de la rizósfera y de la micorriza en la absorción de nutrimentos minerales y agua. pp 137-150. En: Orellana R. Escamilla J. A. y Larqué-Saavedra A. (eds.). Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos. CICY. Yucatán, México.

- ✓ Varma A. 1999. Function and Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arid and Semi-Arid Soils. En: Mycorrhiza. Structure, Function, molecular Biology and Biotechnology. Varma A. y Hock B. (eds.). Springer. Berlin. pp 521-556.
- ✓ Vázquez Y.C. y Cervantes V. 1993. Reforestación con árboles nativos de México. Ciencia y Desarrollo. 19(113):52-58.
- ✓ Vega F. M. R. 2003. Crecimiento de plántulas de *Verbesina virgata* Cav (Asteraceae) bajo condiciones diferenciales de micorrización. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. 53 pp.
- ✓ Velasco-Molina H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo. ITES Monterrey-Noriega eds. Limusa. México. pp 153-178.
- ✓ Villa S. A. B. 1980. Los desiertos de México. Trabajo presentado en el evento internacional, Inventarios de Recursos de Zonas Áridas, La Paz B. C. S. México. pp 18-20.
- ✓ Walter H. 1977. Zonas de vegetación y clima. Breve exposición desde el punto de vista causal y global. Ediciones Omega. Barcelona. pp 3-26
- ✓ Warnock A. J. Fitter A. H. y Usher M. B. 1982. The influence of a springtail *Folsomia candida* (Insecta: Colembola) on the mycorrhizal association of leek *Allium porrum* and the vesicular-arbuscular endophyte *Glomus fasciculatum*. New Phytologist. 99: 285-292.
- ✓ Werner D. 1992. Symbiosis of plants and microbes. Chapman and Hall. Gran Bretaña. pp 299-338.
- ✓ Wilson G. W. T. y Hartnett D. C. 1988. Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. American Journal of Botany 85 (12): 1732-1738.

## 18. ANEXOS

Cuadro 9. Prueba t de Student para la sobrevivencia de plántulas de *Acacia schaffneri* en invernadero

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0.975	0.8
Varianza	0.025	0.164102564
Observaciones	40	40
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	51	
Estadístico t	2.545184886	
P(T<=t) una cola	0.006994695	
Valor crítico de t (una cola)	1.675284693	
P(T<=t) dos colas	0.013989391	
Valor crítico de t (dos colas)	2.007582225	

Cuadro 10. Prueba t de Student para el diámetro medio en plantas de *Acacia schaffneri* en invernadero

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	42.0348214	40.0858333
Varianza	13.9309241	18.9242201
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	39	
Estadístico t	1.55817828	
P(T<=t) una cola	0.06363492	
Valor crítico de t (una cola)	1.68487531	
P(T<=t) dos colas	0.12726985	
Valor crítico de t (dos colas)	2.02268893	

**Cuadro 11. Prueba t de Student para la altura de las plantas de *Acacia schaffneri* a las 21 semanas en invernadero**

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	114.69881	112.072619
Varianza	319.81303	261.992557
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	40	
Estadístico t	0.55593408	
P(T<=t) una cola	0.29067626	
Valor crítico de t (una cola)	1.68385213	
P(T<=t) dos colas	0.58135252	
Valor crítico de t (dos colas)	2.02107458	

**Cuadro 12. Prueba t de Student para el número de pinnas en plantas de *Acacia schaffneri* a las 21 semanas en invernadero**

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	22.3583333	21.9535714
Varianza	18.0258956	21.0210804
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	40	
Estadístico t	0.29683532	
P(T<=t) una cola	0.3840641	
Valor crítico de t (una cola)	1.68385213	
P(T<=t) dos colas	0.76812821	
Valor crítico de t (dos colas)	2.02107458	

Cuadro 13. Prueba t de Student para la concentración de clorofila en plantas de *Acacia schaffneri*

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	10.4807692	10.3871795
Varianza	20.1471862	12.6115418
Observaciones	39	39
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	72	
Estadístico t	0.10211676	
P(T<=t) una cola	0.45947393	
Valor crítico de t (una cola)	1.66629434	
P(T<=t) dos colas	0.91894786	
Valor crítico de t (dos colas)	1.99346232	

Cuadro 14. Prueba t de Student para el porcentaje de colonización micorrízica por vesículas en plantas de *Acacia schaffneri*

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	15.7575	4.51125
Varianza	323.099507	17.0218125
Observaciones	8	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1.72478831	
P(T<=t) una cola	0.08142495	
Valor crítico de t (una cola)	1.85954832	
P(T<=t) dos colas	0.1228499	
Valor crítico de t (dos colas)	2.30600563	

Cuadro 15. Prueba t de Student para el porcentaje de colonización micorrizica total en plantas de *Acacia schaffneri*

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	35.2625	8.55375
Varianza	783.905536	39.5522554
Observaciones	8	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	2.63255762	
P(T<=t) una cola	0.01502929	
Valor crítico de t (una cola)	1.85954832	
P(T<=t) dos colas	0.03005859	
Valor crítico de t (dos colas)	2.30600563	

Cuadro 16. ANCOVA para el peso seco de la raíz y el vástago en plantas de *Acacia schaffneri*

Origen	S. C.	g. l.	C. M.	F	Prob > F
Covariables raíz	0.0761136	1	0.0761136	16.30	0.0009
Efecto principal A: tratamiento	0.0000759427	1	0.0000759427	0.02	0.9000
Residual	0.0794017	17	0.00467069		
Total	0.155522	19			

S. C. = Suma de cuadrados, g. l. = Grados de libertad, C. M. = Cuadrados Medios

**Cuadro 17. Prueba t de Student para la sobrevivencia de plantas de *Acacia schaffneri* a los 12 meses en campo**

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0.43333333	0.36666667
Varianza	0.25402299	0.24022989
Observaciones	30	30
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	0.51939141	
P(T<=t) una cola	0.30273215	
Valor crítico de t (una cola)	1.67155349	
P(T<=t) dos colas	0.60546431	
Valor crítico de t (dos colas)	2.00171598	

**Cuadro 18. Prueba t de Student para la altura de las plantas de *Acacia schaffneri* a los 12 meses en campo**

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	112.064103	108.333333
Varianza	19.9126771	28.5083897
Observaciones	12	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	21	
Estadístico t	1.85725627	
P(T<=t) una cola	0.038678	
Valor crítico de t (una cola)	1.72074351	
P(T<=t) dos colas	0.07735599	
Valor crítico de t (dos colas)	2.07961421	