



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Influencia de hongos micorrizógenos  
arbusculares (HMA) sobre el desarrollo de  
*Acacia farnesiana* (huizache) y *Mimosa biuncifera*  
(gatuño) en condiciones de invernadero

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O**

P R E S E N T A :

**CARMEN AZUCENA VARGAS VEGA**

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
EN ECOLOGÍA VEGETAL**

**DIRECTOR DE TESIS DR. ARCADIO MONROY ATA**

**MÉXICO, D. F.**

**marzo 2011**



Investigación realizada con financiamiento de DGAPA, UNAM, mediante el proyecto  
PAPIIT IN-216610.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*Con amor para mi madre Lucy  
para mi padre Fili (†)  
para mi abue (†)  
y para mi hija(o)*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la vida...*

*A la UNAM y a la FES Zaragoza Campus II por mi formación profesional*

*Al Dr. Arcadio Monroy por su paciencia, amistad, apoyo y sobre todo valiosas enseñanzas tanto de vida como académicas. Gracias por la oportunidad y confianza que me brindó para participar en la presente investigación.*

*A mis sinodales: La M. en C. María de Jesús Sánchez Colín, la M. en C. Rosalva García Sánchez, Dra. Ma. Socorro Orozco Almanza, Biól. Marco Antonio Hernández Muñoz, por su asesoría, dedicación y tiempo empleado en las aportaciones para el mejoramiento y enriquecimiento del presente trabajo*

*Al Biól. Leonardo López Medina por su apoyo, amistad, motivación y aportaciones para la culminación de este trabajo. Así también por las experiencias laborales y recreativas que hemos tenido oportunidad de compartir y superar juntos.*

*A Jaky por su amistad y por los grandes y amenos momentos que compartimos en el invernadero.*

*Al M. en C. Carlos A. Santiago Olivares por la amistad, el interés en el término de este trabajo y por el tiempo compartido.*

*A "Norbert" por los gratos y divertidos momentos que me brindó durante la etapa que compartimos juntos y que contribuyó a amenizar las situaciones de tensión.*

*A todas las personas con las que compartí momentos gratos y no tan gratos desde el inicio de la carrera ya que me dejaron un aprendizaje.*

*A las personas que conocí en el invernadero y que en algún momento tuvieron aportaciones y sugerencias para este trabajo como la Biól. Ariadna, el Biól. Mariano García Díaz, el M. en C. Juan Carlos Peña Becerri, a la Biól. Sandra.*

*A mis tíos y tías: Jesús Vega, Carlos Vega, Martín Vega, Roberto Vega, Antonia Vega, Ema Vega, por enseñarme el significado de amor y unión familiar. A mi tía Pilar Regalado (†). A mis primos y primas de la familia Vega, por el cariño y apoyo brindado en esta y en otras etapas de mi vida.*

*A mi madre por ser mi motivación y el más grande ejemplo de fortaleza, dedicación, amor y valentía ante las adversidades de la vida siempre manteniendo una actitud positiva y perseverante.*

## Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>1. RESUMEN</b>  | 1  |
| <b>2. INTRODUCCIÓN</b>                                   | 2  |
| <b>3. MARCO TEÓRICO</b>                                  | 5  |
| <b>3.1 Hongos</b>  | 5  |
| 3.1.1 Hongos Micorrizógenos Arbusculares                 | 5  |
| 3.1.2 Beneficios de la simbiosis                         | 7  |
| 3.1.3 Taxonomía  | 8  |
| 3.1.4 Anatomía   | 9  |
| <b>3.2 Zonas áridas</b>                                  | 10 |
| 3.2.1 Génesis  | 10 |
| 3.2.1.1 Zonas áridas de México                           | 11 |
| <b>4. ZONA DE ESTUDIO</b>                                | 13 |
| <b>4.1 Tipos de vegetación</b>                           | 14 |
| <b>4.2 Plantas nodrizas</b>                              | 14 |
| 4.2.1 <i>Acacia farnesiana</i>                           | 15 |
| 4.2.1.1 Clasificación                                    | 15 |
| 4.2.1.2 Sinonímias                                       | 15 |
| 4.2.1.3 Nombres comunes                                  | 15 |
| 4.2.1.4 Lugar de origen                                  | 16 |
| 4.2.1.5 Etimología                                       | 16 |
| 4.2.1.6 Descripción                                      | 16 |
| 4.2.1.7 Hábitat  | 16 |
| 4.2.1.8 Distribución                                     | 16 |
| 4.2.1.9 Cultivo y usos                                   | 17 |
| 4.2.2 <i>Mimosa biuncifera</i>                           | 17 |
| 4.2.2.1 Clasificación                                    | 17 |
| 4.2.2.2 Nombres comunes                                  | 18 |
| 4.2.2.3 Descripción                                      | 18 |
| 4.2.2.4 Distribución y hábitat                           | 18 |
| 4.2.2.5 Importancia                                      | 18 |
| <b>4.3 Problemática ecológica</b>                        | 19 |
| <b>4.4 Rehabilitación ecológica</b>                      | 20 |
| <b>5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                     | 21 |
| <b>6. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA</b>                       | 22 |
| <b>7. HIPÓTESIS</b>                                      | 23 |
| <b>8. OBJETIVOS</b>                                      | 23 |
| <b>8.1 Objetivo general</b>                              | 23 |
| <b>8.2 Objetivos particulares</b>                        | 23 |
| <b>9. MÉTODOS</b>  | 24 |
| <b>9.1 Área de trabajo</b>                               | 24 |
| <b>9.2 Suelo utilizado como sustrato</b>                 | 24 |
| <b>9.3 Inóculo de micorrizas</b>                         | 24 |
| <b>9.4 Macetas</b>                                       | 24 |
| <b>9.5 Germinación</b>                                   | 25 |
| <b>9.6 Trasplante</b>                                    | 25 |
| <b>9.7 Riegos</b>  | 25 |
| <b>9.8 Parámetros registrados durante el experimento</b> | 26 |
| <b>9.9 Registro de datos al concluir el experimento</b>  | 26 |
| 9.9.1 Biomasa  | 26 |
| 9.9.2 Montaje de raíces y colonización micorrícica       | 27 |

## Índice

|  |    |
|--|----|
| 9.9.3 Aislamiento y conteo de esporas      | 27 |
| 9.9.4 Tasa de crecimiento relativo (TCR)   | 28 |
| 9.9.5 Potencial hídrico caulinar           | 28 |
| 9.9.6 Eficiencia en el uso del agua (EUA)  | 29 |
| <b>10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>            | 29 |
| <b>11. RESULTADOS</b>                      | 30 |
| <b>11.1 <i>Acacia farnesiana</i></b>       | 30 |
| 11.1.1 Supervivencia                       | 30 |
| 11.1.2 Crecimiento                         | 31 |
| 11.1.3 Potencial hídrico                   | 34 |
| 11.1.4 Biomasa húmeda y seca               | 35 |
| 11.1.5 Colonización micorrícica            | 36 |
| <b>11.2 <i>Mimosa biuncifera</i></b>       | 38 |
| 11.2.1 Supervivencia                       | 38 |
| 11.2.2 Crecimiento                         | 39 |
| 11.2.3 Colonización micorrícica            | 41 |
| 11.2.4 Esporas                             | 42 |
| 11.2.5 Potencial hídrico                   | 44 |
| 11.2.6 Tasa de crecimiento relativo (TCR)  | 45 |
| 11.2.7 Biomasa húmeda y seca               | 46 |
| <b>11.3 Discusión de resultados</b>        | 48 |
| 11.3.1 Supervivencia                       | 48 |
| 11.3.2 Crecimiento                         | 49 |
| 11.3.3 Potencial hídrico                   | 50 |
| 11.3.4 Biomasa húmeda y seca, cociente r/v | 50 |
| 11.3.5 Colonización micorrícica            | 53 |
| <b>12. CONCLUSIONES</b>                    | 54 |
| <b>13. RECOMENDACIONES</b>                 | 55 |
| <b>14. ANEXOS</b>                          | 56 |
| <b>15. REFERENCIAS</b>                     | 65 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Clasificación de los tipos de micorrizas  | 6    |
| Cuadro 2. Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares elaborada a partir de la coincidencia de varios autores.  | 9    |
| Cuadro 3. Promedios de Biomasa húmeda, seca, cociente raíz – vástago (R/V) y Eficiente en el uso del agua en <i>A. farnesiana</i> después de 23 semanas de cultivo en condiciones de invernadero. | 35   |
| Cuadro 4. Porcentajes de colonización micorrízica en <i>A. farnesiana</i> después de 23 semanas de cultivo.   | 36   |
| Cuadro 5. Porcentajes de colonización y número de esporas encontradas en <i>M. biuncifera</i> .   | 42   |
| Cuadro 6. Promedios de Biomasa húmeda, seca, cociente raíz vástago (R/V) y uso eficiente del agua en <i>M. biuncifera</i> después de 23 semanas de cultivo.                                       | 46   |
| Cuadro 7. Resultados de análisis edafológicos físicos realizados a las muestras de <i>A. farnesiana</i> y <i>M. biuncifera</i> .  | 46   |
| Cuadro 8. Síntesis de los resultados obtenidos de las variables medidas a las especies de <i>A. farnesiana</i> y <i>M. biuncifera</i> después de 23 semanas de cultivo en invernadero.            | 47   |

## ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOS

|  | Pág |
|--|-----|
| Figura 1. Porcentaje de supervivencia para <i>A.farnesiana</i> en ambos tratamientos; sin inóculo (A-) y con inóculo (A+).   | 30  |
| Figura 2. Altura promedio semanal en <i>A. farnesiana</i> con micorrizas (A+) y sin micorrizas (A-).   | 31  |
| Figura 3. Diámetro medio semanal de <i>A. farnesiana</i> con micorrizas (A+) y sin micorrizas (A-).  | 32  |
| Figura 4. Promedio semanal y desviación estándar del número de pinnas en <i>A. farnesiana</i> con micorrizas (A+) y sin micorrizas (A-).   | 32  |
| Figura 5. Tasa de crecimiento relativo (TCR) en <i>A. farnesiana</i> con inóculo (A+) y sin inóculo (A-).  | 33  |
| Figura 6. Potencial hídrico caulinar promedio, para <i>A. farnesiana</i> micorrizadas (A+) y sin micorrizar (A-).  | 34  |
| Figura 7. Porcentaje de colonización micorrícica total de plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (A+) y no inoculadas (A-) de <i>A. farnesiana</i> después de seis meses de cultivo en invernadero. | 36  |
| Figura 8. Porcentaje de supervivencia en <i>M. biuncifera</i> sin inóculo (M-) y con inóculo (M+).   | 38  |
| Figura 9. Altura promedio semanal en <i>M. biuncifera</i> con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-).   | 39  |
| Figura 10. Diámetro promedio semanal de <i>M. biuncifera</i> con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-).  | 40  |
| Figura 11. Promedio semanal del número de pinnas de <i>M. biuncifera</i> con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-).  | 41  |
| Figura 12. Porcentaje de colonización micorrícica total de plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y no inoculadas (M) de <i>M. biuncifera</i> .  | 42  |



|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Figura 13.    | Potencial hídrico caular de <i>M. biuncifera</i> con inóculo (M+) y sin inóculo (M-).  | 44 |
| Figura 14.    | Tasa de crecimiento relativo (TCR) de <i>Mimosa biuncifera</i> con inóculo (M+) y sin inóculo (M-).                              | 45 |
| Foto 1.       | Individuos sobrevivientes de <i>A. farnesiana</i> (A-).  | 30 |
| Foto 2.       | Individuos sobrevivientes de <i>A. farnesiana</i> (A+).  | 30 |
| Foto 3 y 4    | Comparación de altura entre individuos de mayor altura de cada lote en <i>A. farnesiana</i> sin inóculo (A-) y con inóculo (A+). | 33 |
| Foto 5.       | Ejemplares de <i>A. farnesiana</i> sin inóculo (A-).   | 34 |
| Foto 6.       | Ejemplares de <i>A. farnesiana</i> con inóculo (A+).   | 34 |
| Foto 7 y 8.   | Individuos de <i>A. farnesiana</i> que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico en ambos tratamientos                   | 35 |
| Foto 9.       | Hifas y vesículas.   | 37 |
| Foto 10.      | Conjunto de vesículas  | 37 |
| Foto 11.      | Esporocarpo.   | 37 |
| Foto 12.      | Espora germinando.   | 37 |
| Foto 13.      | Espora roja.   | 37 |
| Foto 14.      | Espora amarilla.   | 37 |
| Foto 15.      | Arbúsculo.   | 38 |
| Foto 16.      | Individuos supervivientes de M-.   | 39 |
| Foto 17.      | Individuos supervivientes de M+.   | 39 |
| Foto 18.      | Comparación entre individuos con distintos tratamientos, con (M+) y sin inóculo (M-).  | 40 |
| Foto 19.      | Crecimiento de formas arbustivas que se presentaron en <i>M. biuncifera</i> con inóculo (M+).                                    | 40 |
| Foto 20 a 23. | Esporas  | 43 |

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Foto 24 a 27. | Vesículas encontradas en raíces de <i>M.biuncifera</i>   | 44 |
| Foto 28.      | Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico en el tratamiento testigo (M-).     | 45 |
| Foto 29.      | Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico en el tratamiento micorrizado (M+). | 45 |
| Foto 30.      | Lotes A- invadidos por la arañita roja ( <i>Tetranychus telarius</i> ).                              | 49 |
| Foto 31.      | Individuo de A- deteriorado por el ataque de arañas rojas.   | 49 |
| Foto 32.      | Individuo de A- en deterioro progresivo a causa de arañas rojas.                                     | 49 |
| Foto 33.      | Lotes de A+ invadidos por “arañita roja” ( <i>Tetranychus telarius</i> ).                            | 48 |
| Foto 34.      | Individuo de A+ deteriorado por el ataque de “arañitas rojas”  | 48 |
| Foto 35.      | Individuo de A+ en deterioro progresivo a causa de arañas rojas.                                     | 48 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| <i>Acacia farnesiana</i>   |      |
| ANEXO 1 Altura   | 56   |
| ANEXO 2. Diámetro Medio  | 56   |
| ANEXO 3 Número de pinnas   | 57   |
| ANEXO 4 Potencial hídrico  | 57   |
| ANEXO 5 Biomasa seca aérea                                       | 58   |
| ANEXO 6 Cociente raíz/vástago                                    | 58   |
| ANEXO 7 Eficiencia en el uso del agua (EUA)                      | 59   |
| <br>   |      |
| <i>Mimosa biuncifera</i>   |      |
| ANEXO 8 Altura   | 59   |
| ANEXO 9 Diámetro medio   | 60   |
| ANEXO 10 Número de pinnas  | 60   |
| ANEXO 11 Potencial hídrico                                       | 61   |
| ANEXO 12 Biomasa seca aérea                                      | 61   |
| ANEXO 13 Cociente raíz/vástago                                   | 62   |
| ANEXO 14 Eficiencia en el uso del agua (EUA)                     | 62   |
| ANEXO 15 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)                      | 63   |
| ANEXO 16 Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) <i>M. biuncifera</i> | 63   |
| ANEXO 17 Tabla de colores  | 64   |

## 1. RESUMEN

Una alternativa para la revegetación ecológica de zonas áridas y semiáridas deterioradas es la reintroducción de plantas nativas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Por ello en este trabajo se evaluó el desarrollo de dos especies de plantas, micorrizadas y no micorrizadas, nativas de zonas áridas y semiáridas: *Acacia farnesiana* (huizache) y *Mimosa biuncifera* (gatuño); estas plantas además cumplen la función de ser plantas nodriza en su hábitat silvestre. La zona de muestreo está ubicada en el Valle de Actopan, Estado de Hidalgo, donde las semillas, el suelo y los HMA fueron recolectados; la vegetación corresponde a matorrales xerófilos. El trabajo se efectuó en un invernadero durante 23 semanas. El experimento tuvo 25 repeticiones por cada tratamiento: con inóculo (+) y sin inóculo (-), para cada una de las especies: *Acacia farnesiana* (A) y *Mimosa biuncifera* (M), obteniendo un total de 100 unidades experimentales. Se aplicaron riegos semanales para los tratamientos. Semanalmente se registraron los siguientes parámetros: altura, diámetro y número de pinnas; al final del experimento se analizaron las siguientes variables de respuesta: supervivencia, tasa de crecimiento relativo (TCR), potencial hídrico caular ( $\Psi_w$ ), eficiencia en el uso del agua (EUA), cociente raíz/vástago, porcentaje de micorrización de raíces, biomasa húmeda y seca y contenido de humedad en la biomasa vegetal. Los resultados se analizaron mediante pruebas de comparación de medias, obteniéndose valores significativamente mayores en los tratamientos micorrizados en los siguientes parámetros: supervivencia, crecimiento, biomasa total, cociente biomasa raíz-vástago, eficiencia en el uso del agua y potencial hídrico; por lo anterior, se concluye que los individuos inoculados con HMA tienen mayores posibilidades de establecimiento y que probablemente sean competidores más exitosos en programas de restauración ecológica de matorrales semiáridos deteriorados que aquellas plantas no colonizadas con estos hongos.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas comprenden un complejo grupo de regiones naturales distribuidas en distintas ubicaciones del planeta. Estas zonas se consideran de gran importancia, ya que presentan un potencial natural y cultural para el desarrollo sustentable, albergan una gran cantidad de especies nativas, así como también constituyen bancos de biodiversidad y generan importantes beneficios ecológicos (como: retención de agua, protección del suelo, etc.). A pesar de su potencial existente, estas zonas han sufrido un acelerado proceso de degradación ambiental durante las últimas décadas, sin embargo, se considera que estas zonas constituyen ecosistemas con suficiente potencial natural como para suministrar una calidad de vida adecuada las poblaciones humanas locales con un adecuado manejo. Así, es pertinente analizar alternativas que permitan revertir la pérdida de vegetación y la erosión del suelo para que contribuya a la restauración ecológica de las áreas perturbadas de estas zonas (Shantz, 1956; Monroy *et al.*, 2007), obteniéndose beneficios como la elevación de su productividad vegetal y la rehabilitación de sus suelos degradados (Montaño y Monroy, 2000). Para ello, entre otros aspectos, se debe tener conocimiento de la importancia que representa el suelo, así como de las interacciones que existen en él.

Se debe reconocer que el suelo es un sistema trifásico (sólido, líquido y gaseoso) superficial de la litosfera, que tiene una función crítica en cuanto al abastecimiento nutrimental de las plantas; el suelo es un ambiente complejo y frágil en el que se desarrolla una comunidad microbiana heterogénea, relacionada con las plantas ahí establecidas (Álvarez y Ferrera-Cerrato, 1994). Por lo tanto, el que exista un balance entre la planta y el suelo, tiene como consecuencia que se mantenga una microbiota nativa diversa en la interfase planta-suelo: la rizósfera. Es importante este balance, ya que parte de la microbiota del suelo media y facilita los flujos de nutrimentos del suelo a la planta. (Ferrera-Cerrato y Quintero, 1993). Se ha encontrado que en condiciones naturales la mayoría de las plantas que medran en los diversos nichos ecológicos se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, estableciendo relaciones benéficas (Jasper *et al.*, 1991). Entre la multitud de organismos del suelo, una clase sobresale por su capacidad de

formar asociaciones con las raíces de las plantas: los hongos micorrícicos. En particular los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), se asocian con un gran número de especies vegetales que son considerados cosmopolitas y se caracterizan por que sus hifas forman redes que pueden penetrar y colonizar las células de la raíz de la planta hospedera y los agregados del suelo, formando así un sistema de transferencia vivo, llevando nutrimentos minerales y agua del suelo a la planta (Ferrera-Cerrato y Quintero 1993) y por lo tanto proporcionándole múltiples beneficios como: mayor transporte de nutrimentos, protección en condiciones de estrés contra: patógenos de hábitos radicales, salinidad, sequía, acidez y elementos tóxicos (Smith y Read, 1997). Hay que hacer notar que el proceso de colonización del hongo a la raíz de la planta, es originada por un sistema formado por estructuras como: el **micelio externo** (el cual coloniza el suelo), el **micelio interno** (ubicado dentro de la corteza de las raíces micorrizadas), **esporas**, **arbúsculos** y **vesículas**. Inicialmente, se forma un **micelio** con la elongación de las **hifas** precedido por la germinación de **esporas** (las cuales son estructuras de resistencia a condiciones adversas), que permanecen en el suelo y pueden sobrevivir por años; germinan frecuentemente bajo circunstancias favorables, iniciando así un nuevo ciclo de la simbiosis (Harley y Smith, 1983). Las **hifas** son los componentes del hongo que absorben los nutrimentos para transportarlos al hospedero; existen hifas intercelulares que penetran células corticales de la raíz e invaginan el plasmalema para formar estructuras tridimensionales arborescentes denominadas **arbúsculos**. También existen otras estructuras como las **vesículas** que se desarrollan después de los arbúsculos, las cuales se les ha aceptado comúnmente como órganos de almacenamiento (Harley y Smith, 1983). Tales órganos de almacenamiento, así como las estructuras antes mencionadas forman el sistema micorrícico y contribuyen a que se establezca una asociación simbiótica benéfica para ambos participantes. La planta obtiene normalmente un mejor desarrollo, incremento en la altura, vigor, área foliar, mayor número de pinnas, aumenta la supervivencia, el uso eficiente del agua, el coeficiente raíz/vástago, el potencial hídrico caulinar, la tasa de crecimiento relativa, el hongo recibe compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis, (Harley, 1983; Allen, 1991; Fragoso, 2001; Luna, 2005; Peña, 2002). Esta asociación también es responsable de influenciar la diversidad vegetal y productividad en ecosistemas naturales (Van der Heijden *et al.*, 1998). Por ello, se sugiere el uso de los HMA dentro de las prácticas de conservación de suelos,

con la idea de minimizar la erosión y mantener la fertilidad, aunado a su relevante contribución en la captura de C en el suelo (González-Chávez *et al.*, 2004). Por lo que representan un factor importante para la restauración en zonas áridas. Es por ello que la micorrización de plantas se ha implementado como una alternativa para el repoblamiento vegetal en áreas deterioradas; esta técnica se lleva a cabo en distintos países particularmente en México son las zonas semiáridas del Estado de Hidalgo (Monroy *et al.*, 2007) en donde se han estado realizando aislamientos de HMA provenientes de vegetación natural del Mezquital, con la finalidad de reintroducir especies nativas (ejemplo: *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera*) micorrizadas en suelos abandonados dedicados a agostaderos (Monroy *et al.*, 2007; Peña, 2002). Así, la simbiosis micorrícica es considerada como un elemento importante en programas de revegetación para la recuperación de suelos degradados debido a los potenciales beneficios que serán obtenidos si se hace una selección de combinaciones compatibles de hongo-planta-suelo (Azcón y Barea, 1997). Con base en esta información el presente trabajo se planteó resolver las siguientes preguntas en relación a la funcionalidad de los hongos micorrizógenos arbusculares con respecto de las plantas de *A. farnesiana* y *M. biuncifera*.

- ¿La micorrización de plántulas de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* incrementa el porcentaje de supervivencia en condiciones de invernadero después de 23 semanas de cultivo?
- ¿Cómo influye la inoculación de la raíz suelo con HMA sobre el desarrollo en biomasa de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera*?
- ¿Qué porcentaje de colonización micorrícica alcanzarán las plantas de las dos especies en condiciones de invernadero?
- ¿Qué efecto tiene la micorrización de plántulas sobre la tasa de crecimiento y sobre el cociente de biomasa seca: raíz/vástago?
- ¿La micorrización mejora el balance hídrico de las plantas, registrado éste mediante el potencial hídrico caulinar y la eficiencia del uso de agua (EUA)?

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Hongos

El término *fungi* que en latín significa hongos, designa a un reino que incluye a los organismos con características como nivel celular eucariótico (con células nucleadas), paredes celulares engrosadas (mediante quitina), células con especialización funcional, heterótrofos, con nutrición osmótrofa (absorción), respiración aerobia o anaerobia facultativa y reproducción tanto sexual (con gametos generalmente iguales) como asexual (multiplicación por esporas resistentes). También, presentan una organización pluricelular, con células en filamentos llamados hifas, cuyo conjunto forma un micelio. Sus células están encerradas por paredes celulares cuando menos en una etapa de su ciclo de vida; esta fue una de las características básicas que se utilizó en la clasificación original de los hongos. El grupo de los hongos consta de más de 100 000 especies, dentro de las que pueden citarse ejemplos cotidianos como: *Saccharomyces cerevisiae* (la levadura de cerveza), *Rhizopus nigricans* (moho del pan), en donde los hongos actúan como descomponedores primarios de la materia, o bien los conocidos champiñones pertenecientes a la clase *Basidiomycetes*. Los hongos actúan ecológicamente como desintegradores que producen dióxido de carbono y degradan compuestos orgánicos. Asimismo, existen algunas especies de hongos que forman relaciones simbióticas mutualistas con otros organismos. En este tipo de relación ambos miembros obtienen beneficios; tal es el caso de los hongos micorrizógenos a los que se les conoce como un selecto grupo de hongos habitantes del suelo que establecen relaciones simbióticas mutualistas a través de las raíces de diversos grupos de especies vegetales (Ross, 1979).

##### 3.1.1 Hongos micorrizógenos arbusculares

La palabra micorriza, de origen griego, define la simbiosis entre un hongo (*mykes*) y las raíces (*rhiza*) de una planta. (Hernández-Cuevas *et al.*, 2003). En efecto, la mayoría de las plantas terrestres presentan micorrizas y lo más probable es que las restantes descendan de plantas micorrizadas que han perdido secundariamente esta característica (Simancas, 2007). Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son una de las pocas asociaciones planta-hongo con registro fósil. A saber, esta clase de asociaciones micorrícicas representan factores potenciales que son determinantes en la diversidad de los ecosistemas y



probablemente pueden modificar la estructura y funcionamiento de una comunidad de plantas de manera sustancial (Simon *et al.*, 1993). A los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) se les considera habitantes comunes del suelo, que son capaces de asociarse con la mayoría de las raíces de plantas angiospermas, gimnospermas, pteridofitas y briofitas. (Allen, 1991; Honrubia *et al.*, 1992).

Se ha clasificado a las micorrizas de acuerdo al tipo de penetración del hongo en la raíz. A continuación se presenta un cuadro descriptivo de los diferentes tipos de asociaciones.

|                    | Manto fúngico | Hifas intra celulares | Hifas inter celulares | Red de Hartig | Vesículas | Arbúsculos | Observaciones   |
|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------|------------|---|
| Arbusculares       |               | +                     | +                     |               | +         | +          | Cosmopolitas  |
| Ecto-Micorrizas    | +             |                       |                       | +             |           |            | Se presenta en los bosques templados  |
| Ectendo-Micorrizas | +             | +                     |                       | +             |           |            |   |
| Ericoide           |               | +                     |                       |               |           |            | -Son comunes en hábitats como pantanos.<br>-Se considera que esta asociación sirve para la desintoxicación de suelos con un nivel alto de acidez. |
| Orquidoide         |               | +                     |                       |               |           |            | -Se presenta en orquídeas.<br>-Las orquídeas en su ambiente natural son obligatoriamente micorrizadas.  |

**Cuadro 1.** Clasificación de los tipos de micorrizas (Fragoso, 2001; Hernández-Cuevas *et.al.*, 2003; Simancas, 2007).

Las ectomicorrizas y micorrizas arbusculares son las dos más significantes ecológicamente siendo esta última la que ocurre en las dos terceras partes de las especies de plantas.

Resumiendo, en los sistemas micorrícicos arbusculares se encuentra presente un asociado fúngico en la región de la raíz, sobre o dentro de los tejidos de ésta y el suelo

circundante; este micobionte influye en la absorción de agua y de sustancias nutritivas del suelo por el hospedero y es estimulado por sustancias exudadas por éste. A este respecto, el hongo micorrizógeno es un miembro especializado de la región de la raíz o rizosfera; estos hongos participantes no se asocian con especies vegetales específicas, sin embargo, el efecto que tienen sobre ellas sí puede ser diferente de acuerdo con la especie vegetal de que se trate, es decir, tienen una efectividad diferencial y esto puede modificar la composición de especies de HMA en sitios particulares (Clark *et al.*, 1999).

### 3.1.2 Beneficios de las simbiosis

Al establecerse relaciones simbióticas mutualistas (como la establecida entre el hongo y la raíz de la planta) ambos miembros obtienen beneficios. Al mismo tiempo que un hongo mutualista absorbe nutrientes de su hospedero, hace una contribución importante al bienestar del mismo. Así pues, Nicolson (1959, 1960) hipotetizó que las micorrizas son importantes en suelos con bajos niveles de fósforo; esto se debe a que las raíces de las plantas que son colonizadas por micorrizas, aumentan su tamaño, contribuyendo de tal forma a que se incrementa el área de absorción de minerales como el fósforo y zinc, entre otros (Ames *et al.*, 1983). Considerando lo anterior, la simbiosis puede representar gran importancia para el establecimiento y crecimiento de las plantas (Sylvia, 1989), ya que se ha encontrado que las plantas micorrizadas muestran cambios en las concentraciones de los componentes reguladores del crecimiento (ejemplo: auxinas, citocininas, giberelinas); de igual forma la micorrización reduce el daño que puede ser ocasionado durante el proceso de transplante (Dehne, 1982; Ferrera-Cerrato y Quintero, 1993).

Como resultado de lo antes mencionado, los HMA incrementan la tolerancia a condiciones adversas (temperaturas extremas, pH alto, presencia tanto de toxinas como de metales pesados, estrés hídrico), debido a que las raíces colonizadas adquieren un sistema más eficiente para la captación de agua y nutrimentos. Por otra parte, también se lleva a cabo la acumulación de solutos orgánicos, azúcares y compuestos nitrogenados, los cuales contribuyen a la nutrición de la planta hospedera (Kothari *et al.*, 1990; Charest *et al.*, 1993). Otro de los beneficios que puede mencionarse es el incremento de la tasa de fotosíntesis, lo cual indica, en consecuencia, un aumento de la biomasa de la planta y la del hongo (Gupta

y Mukerji, 2000). Del mismo modo ha sido demostrado que la colonización micorrícica puede mejorar el enraizamiento, así como también el incremento en la tasa de supervivencia de las plantas (Strullu, 1985).

Recientemente, se descubrió que todos los HMA producen una proteína denominada glomalina, la cual se acumula en las hifas, en las raíces y en el suelo, fortaleciendo aún más la participación de este tipo de hongos en la estructura del suelo. De esta manera, la asociación HMA-raíces contribuye a la agregación de partículas del suelo y a su estabilidad (González-Chávez *et al.*, 2004).

Se ha encontrado que los HMA representan un grupo extenso razón por la cual se ha tenido la necesidad de reconocer la existencia de distintas especies de los mismos; el grupo más grande y mejor investigado de hongos micorrizógenos arbusculares es el género *Glomus*, representado por aproximadamente 200 especies (tomado de la información en línea <http://www.agro.ar.szczecin.p/~jblaszkowski>).

### 3.1.3 Taxonomía

En cuanto a los grupos con mayor distribución e importancia ecológica, se menciona al de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), cuya clasificación tiene importantes variantes debido a las características que cada autor toma en cuenta para su estudio. En algunas de estas clasificaciones se menciona el trabajo de Morton *et al* (1994), reconociendo los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Archaeospora* y *Paraglomus*, divididos en 5 familias *Glomaceae*, *Acaulosporaceae*, *Gigasporaceae*, *Archaeosporaceae* y *Paraglomaceae*. También se menciona la hecha por Schüßler (2001), basada en evidencias moleculares en donde se propone que los HMA forman parte del phylum: Glomeromycota.

Por último, en el cuadro 1 se expone la siguiente clasificación basada en una recopilación de las distintas clasificaciones encontradas, en la que se conjunta la similitud de éstas.

| PHYLUM  | ORDEN           | FAMILIA          | GÉNERO                                     |
|---|-----------------|------------------|--|
| G<br>L<br>O<br>M<br>E<br>R<br>O<br>M<br>Y<br>C<br>O<br>T<br>A | Archaeosporales | Geosiphonaceae   | <i>Geosiphon</i>                           |
|   |                 | Archaeosporaceae | <i>Archeosphora</i>                        |
|   |                 | Ambisporaceae    | <i>Ambispora</i>                           |
|   | Diversisporales | Diversisporaceae | <i>Diversispora</i>                        |
|   |                 | Acaulosporaceae  | <i>Entrophospora</i><br><i>Acaulospora</i> |
|   |                 | Gigasporaceae    | <i>Gigaspora</i><br><i>Scutellospora</i>   |
|   |                 | Pacisporaceae    | <i>Pacispora</i>                           |
|   | Glomerales      | Glomeraceae (A)  | <i>Glomus</i>                              |
|   |                 | Glomeraceae (B)  | <i>Glomus</i>                              |
|   | Paraglomerales  | Paraglomeraceae  | <i>Paraglomus</i>                          |

**Cuadro. 2.** Clasificación de los hongos micorrizógenos arbusculares, elaborada a partir de la coincidencia de varios autores (Morton y Benny, 1990; Schußler, 2001; Schwarzott *et al.*, 2001; Walker 2007).

#### 3.1.4 Anatomía

El sistema micorrícico arbuscular está formado por hifas que se encuentran en el suelo o dentro de las raíces de las plantas, surgen a través de una espora que al encontrar las condiciones ambientales adecuadas germina y la hifa que emerge se dirige hacia la raíz por atracción química y la penetra; se ha observado que si no hay raíces hacia su alrededor se sella la espora y entra en un estado de latencia que puede durar semanas o años, sin perder viabilidad (Hernández–Cuevas *et al.*, 2003). La presencia de estas hifas puede ser observada en la rizosfera cuando las raíces están micorrizadas (Schreiner y Bethlenfalvay, 1995).

Las hifas pueden estar conectadas con el tejido de la raíz donde penetran intercelular e intracelularmente y se encargan de la exploración del suelo, la captura de nutrientes y agua, que a través de corrientes citoplasmáticas transportan hacia los arbusculos, en algunos casos están asociadas con esporas cuya función es la absorción de elementos minerales del suelo (Bago *et al.*, 1998 a, b; Friese y Allen, 1991).

Las hifas se extienden más lejos que las raíces dentro de agregados del suelo, produciendo un exudado, causando que las partículas del suelo se adhieran, creando pequeños agregados que dan estructura, aeración, percolación de agua y estabilidad al perfil edáfico (Summerbell, 1989; Tisdall, 1991; Bansal y Mukerji; 1994, 1996).

Asimismo, las hifas pueden presentar diferentes modificaciones dentro de la raíz como arbuscúlos y vesículas. Los arbuscúlos son ramificaciones sucesivas de la hifa dentro de las células vegetales que permiten que se establezca un contacto íntimo entre el plasmalema de los dos mutualistas. En estas estructuras el hongo transfiere elementos nutritivos a la planta y recibe los carbohidratos en forma de azúcares simples que ésta produce por la fotosíntesis.

Las vesículas son engrosamientos de hifas donde se almacenan lípidos y son formadas en los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*. Cabe señalar que existen especies que esporulan dentro de la raíz.

Finalmente, cabe mencionar que las esporas al ser estructuras con abundantes compuestos de carbono (glicógeno y lípidos) y ser multinucleadas (Bonfante *et al.*1994), fungen como estructuras de propagación de los HMA y tienen la capacidad de iniciar nuevos ciclos de sistemas micorrícicos.

En conjunto estas estructuras forman parte del sistema micorrícico que al establecer una relación mutualista con especies vegetales como por ejemplo las de sitios deteriorados favorecen su establecimiento y pueden contribuir a la restauración de sitios como los que presentan las zonas áridas y semiáridas.

## 3.2 Zonas áridas

### 3.2.1 Génesis

Hay que tener en cuenta que la aridez de un lugar es una condición física que depende de la interacción de parámetros mensurables, tales como la radiación solar,

temperatura, precipitación, dirección y fuerza del viento y evapotranspiración (Mosiño, 1983). En el caso de la aridez (climática o edáfica) influyen factores como la situación geográfica, la topografía, la orografía, el sustrato o suelo y el clima (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada., 1978). Asimismo, se considera como uno de los mejores indicadores de aridez a la cubierta vegetal, ya que “las relaciones clima-vegetación, rigen el comportamiento de las plantas frente a los agentes atmosféricos y la radiación solar” (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada., 1978).

Respecto de la situación geográfica, las regiones áridas están situadas en el cinturón mundial de los desiertos, entre los 20° y 40° de latitud Norte, en donde las condiciones climáticas producen sequía, la insolación diurna es intensa y la irradiación nocturna muy activa (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978). Así, ante tales condiciones se propicia la formación de una zona de alta presión (Salisbury, 2000) debido a que las corrientes de aire son descendentes y al bajar se calientan, comprimen y pierden su humedad, dificultando la formación de precipitaciones (Hernández y García, 1997). Además hay sequía a consecuencia de la orografía de las zonas, ya que las áreas que se sitúan en el barlovento de las montañas reciben la mayoría de la precipitación; a diferencia, las áreas en el sotavento son denominadas “desiertos de lluvia a sotavento”, produciendo un efecto que es conocido como sombra orográfica o efecto de Föhn (Salisbury, 2000), en el cual los sistemas montañosos actúan como barreras, impidiendo la penetración de los vientos húmedos (Hernández y García, 1997).

#### 3.2.1.1 Zonas áridas de México

La extensión de las regiones áridas y semiáridas en México es muy amplia, pues ocupa más del 60% de su área total (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978). Existen pequeñas zonas áridas repartidas por todo el país, como producto de las condiciones climáticas locales. La mayor extensión de zonas áridas en México se ubica en el cinturón o faja mundial de aridez, que en el país corresponde a los desiertos Chihuahuense y Sonorense; este último se extiende a la casi totalidad de la península de Baja California y partes bajas del estado de Sonora. Estos desiertos rebasan la frontera mexicana y penetran al Sur de Estados Unidos, en los estados de California, Arizona y Texas (Cervantes, 2002).

De los 32 estados que integran el territorio nacional, 25 presentan porciones áridas en mayor o menor proporción. Cubren casi totalmente las superficies territoriales de los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Sonora; de manera parcial se presentan en los estados de Colima, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Yucatán y Zacatecas. Su presencia no se limita a la franja de los desiertos (latitud 30°), sino que también existen dentro de la porción tropical del país, en las cuencas de los ríos Zacatula–Balsas y Mezcala–Tlapaneco (Guerrero); asimismo, en la confluencia de los valles de Tehuacán–Cuicatlán (entre Puebla y Oaxaca), en la costa noroeste de la península de Yucatán y la región árida templada de los valles de San Juan–Perote, en los límites entre los estados de Puebla y Veracruz (Oropeza y Alfaro, 1997). La formación y extensión de las zonas áridas mexicanas se debe a la existencia de diversos fenómenos geográficos y meteorológicos que permiten explicar su presencia, como lo es a su ubicación entre los 14° y 32° de latitud Norte, afectándole -en su porción boreal- el cinturón de altas presiones del Hemisferio Norte, la presencia de corrientes marinas frías y surgencias, el efecto de sombra orográfica ocasionado por la existencia de sistemas montañosos, el efecto de continentalidad, este último debido a que el territorio mexicano se ensancha hacia la porción Norte, lo cual impide la llegada de los vientos húmedos de los océanos y ocasiona la existencia de climas extremosos (Hernández y García, 1997).

#### 4. ZONA DE MUESTREO

En este apartado se presentan las características de una de las zonas semiáridas de México en la que fueron recolectados los HMA para la elaboración del inóculo utilizado en el presente trabajo.

El estado de Hidalgo se ubica entre los 19°36' y 21°24' de latitud Norte y los 97°58' y 99°54' de longitud Oeste. Está enclavado en tres provincias fisiográficas: el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental y la llanura costera del Golfo de México. La tercera va de Real del Monte a Pachuca y continúa hacia el Noreste por Actopan, Ixmiquilpan, El Cardonal, Zimapán y Jacala. El Valle del Mezquital forma parte de la provincia fisiográfica llamada Meseta Neovolcánica y se halla en la zona adyacente a la vertiente occidental de la Sierra Madre. El Mezquital es una prolongación del Valle de México al Norte del Distrito Federal. Se encuentra en la parte central del estado de Hidalgo, limitado al norte por la Sierra de Juárez; al Este por la serranía que va del Cerro del Fraile a la sierra de Actopan; al Sur por la serranía Mexe, y al Oeste por la sierra del Xinthé. En dirección al oeste se encuentra el Valle del Mezquital, donde se localizan las grandes extensiones de Actopan, Ixmiquilpan y Tasquillo. El Valle del Mezquital se divide a la mitad por la serranía de San Miguel que se ramifica a su vez en diferentes desniveles: al Norte, el Valle de Ixmiquilpan, situado entre los 1700/1800 m de altitud; al Sur, El Valle de Actopan, levemente más bajo; al Noroeste, una llanura que comprende la parte septentrional del municipio de Ixmiquilpan y el de El Cardonal sobre 1900 m. Los montes que rodean al Mezquital son macizos con alturas entre los 2500 y 3000 m snm.

El Valle del Mezquital es una región caracterizada por su aridez. El clima de Hidalgo se reporta como seco templado y se puede hallar en el Valle del Mezquital. Se registra un periodo de heladas de noviembre a febrero y los niveles máximos de precipitación pluvial se alcanzan en junio y septiembre. En Ixmiquilpan se presenta una precipitación promedio de 346.9 mm. El Valle del Mezquital abarca 28 municipios, entre los más importantes se encuentran Actopan y Santiago de Anaya. La ocupación en Hidalgo



es preferentemente agropecuaria; 61.3% de la población económicamente activa total se dedica a estas actividades. El 18% de la superficie de la entidad está cubierta por pastizales donde se desarrolla una ganadería extensiva de bovinos, caprinos y ovinos. Su economía se sustenta en la agricultura de temporal y en el trabajo asalariado. La ganadería se practica en pequeña escala y la artesanía es una actividad complementaria. Aparte de los campos cultivados predominan los arbustos espinosos y agaves fibrosos (Fragoso, 2001).

#### 4.1 Tipos de vegetación

La cubierta vegetal de las zonas áridas y semiáridas está constituida básicamente por matorrales de muy diversa índole, alternando en ocasiones con pastizales; tales comunidades vegetales desempeñan funciones muy importantes como proteger al terreno de la erosión, favorecer la infiltración del agua en el suelo y contribuir a regular y modificar los microclimas. De la misma forma la vegetación representa la base de las pirámides y cadenas alimenticias de los ecosistemas de estas zonas, ya que es el alimento esencial de la fauna silvestre, sobre todo de las aves, roedores y especies menores. La vegetación de zonas áridas presenta grandes variaciones debido a esto, una característica común es la frecuente coexistencia, en una misma comunidad, de diversas formas de vida (herbáceas, arbustivas, subarbustivas, arbóreas y subarbóreas) (Cervantes, 2002). Del mismo modo se han encontrado comunidades vegetales formando asociaciones como es el caso de las plantas nodrizas referido a las asociaciones positivas que se presentan entre vegetales en los que, normalmente, una planta leñosa genera un microambiente favorable al desarrollo de otras especies vegetales llamadas “nodrizadas” (Montaño y Monroy, 2000).

#### 4.2 Plantas nodriza

Así, una planta nodriza es un vegetal que puede generar un microclima bajo su cobertura y que permite que otras plantas puedan establecerse bajo su abrigo (Montaño y Monroy, 2000), estableciendo una relación de protooperación entre ésta y el conjunto de especies vegetales que crecen bajo su cobertura favoreciendo que, bajo el dosel de la planta, exista una mayor concentración de materia orgánica y de nutrientes (Monroy *et al.*, 2007). La cobertura de la nodriza genera un nivel menor de energía solar incidente (Cruz, 1996), de tal forma que se incrementa la capacidad de almacenamiento de agua y se reduce

la evaporación, por lo que el suelo bajo estos micrositios pueden presentar niveles mayores de humedad que los suelos de sitios abiertos (García-Espino *et al.*, 1989; Cruz, 1996).

El nodrizaje es un proceso que ha sido explicado en función de la sombra que genera la planta nucleadora, el aumento en la retención de humedad, el incremento en la fertilidad del suelo y la generación de propágulos micorrícicos (Monroy *et al.*, 2007). Las especies arbustivas como: *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* cumplen la función de plantas nodriza.

#### 4.2.1 *Acacia farnesiana*

##### 4.2.1.1 Clasificación

Según Rogers McVaugh (1987), *Acacia farnesiana* (L.) se clasifica de la forma siguiente:

SUBREINO: Tracheophyta  
DIVISIÓN: Embryophyta siphonogama  
SUBDIVISIÓN: Angiospermae  
ORDEN: Rosales  
FAMILIA: Leguminosae (Fabaceae)  
SUBFAMILIA: Mimosoideae  
TRIBE: Acacieae  
GÉNERO: *Acacia*  
ESPECIE: *Acacia farnesiana* (L.)  
(Jones, 1988; Sitio web No. 5 y 6).

##### 4.2.1.2 Sinonimias

*Acacia acicularis* Humb. et Bonpl. ex Willd., *Acacia densiflora* (Alexander ex Small) Cory, *Acacia pedunculata* Willd., *Mimosa farnesiana* L., *PoPONAX farnesiana* (L.) *Vahellia farnesiana* (L.) Wight et Arn.

##### 4.2.1.3 Nombres comunes

Acacia, huizache, guisache, Inu cua (mixteco), Tuñu (mixteco). (Sitio Web No. 5).

#### 4.2.1.4 Lugar de origen

Incierto. Al parecer originaria de Sudamérica y hoy día difundida por todos los continentes.

#### 4.2.1.5 Etimología

*Acacia*, del griego *kakis* = punta, aludiendo a las espinas de las especies de acacias africanas, ya que las australianas normalmente carecen de ellas; *farnesiana*, alude a los jardines de Farnesio de Roma, donde fue descrita.

#### 4.2.1.6 Descripción

Arbolito o arbusto muy ramificado desde la base que alcanza 3-5 m de altura. Tronco de corteza oscura y ramaje tortuoso en zig-zag. Follaje semicaduco en ocasiones. Hojas bipinnadas, con dos espinas blancas. Cada hoja con dos pares de pinnas y éstas con diez-20 pares de folíolos o pínulas de 3-8 mm de longitud, linear-oblongas, verdes, con el ápice obtuso o ligeramente agudo. Flores con glómérulos axilares dispuestos en grupos de dos-seis cabezuelas, de color amarillo dorado, fragantes, de 1.5-2 cm de longitud. Florece de enero a mayo. Legumbre indehiscente, cilíndrico-fusiforame, derecha o algo curvada de color negruzco, de unos 5-9 cm de longitud. Cada fruto con ocho-15 semillas insertas en una pulpa blanca y dispuestas de manera oblicua en el mismo (Rzedowski G. C, Rzedowski J., 2001).

#### 4.2.1.7 Hábitat

Especie de hábito terrestre; vegeta en bosques de encino alrededor de los 2450 msnm. Ocasionalmente se encuentra en bosques de pino-encino alrededor de los 1500 msnm. Matorral xerófilo, en las regiones de clima árido y semiárido (Rzedowski *et al.*, 2001).

#### 4.2.1.8 Distribución

Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Colima, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Hidalgo, Puebla, Morelos, Tlaxcala, Guanajuato, Baja California y Querétaro. Forma parte del bosque tropical caducifolio, del bosque espinoso y del bosque de encinos (McVaugh, 1987).

#### 4.2.1.9 Cultivo y usos

Se multiplica por semillas. Es una especie muy resistente a las condiciones adversas del suelo y humedad; ideal para formar setos vivos impenetrables por sus espinas. Se utiliza su flor en perfumería. Las flores contienen un pigmento que en algunos lugares se usa para teñir telas de seda y papel, así como para fabricar perfumes. El fuste y las ramas se utilizan como leña y para la elaboración de carbón; el fuste también se usa para construcciones rurales. En algunos lugares se cultiva como planta de ornato por la belleza de sus flores amarillas, además se recomienda para controlar la erosión y mejorar la calidad del suelo. Las hojas y frutos son forrajeros. La goma que emana del tronco se utiliza como sustituta de la goma arábiga. El jugo de las vainas, con leche y yema de huevo, se usa para pegar porcelana. La vaina y la corteza poseen taninos que se usan en curtiduría y en la fabricación de tintas. El exudado se usa como antiséptico oftálmico y como remedio para las hemorragias vaginales. La infusión elaborada con la flor se utiliza para la dispepsia, disentería, inflamaciones de la piel y de la membrana mucosa. Otros usos que se le atribuyen a esta especie son: alivio para problemas digestivos, genitourinarios, infecciones, inflamaciones, heridas del sistema músculo-esquelético, envenenamientos, problemas de la piel y para dolores en general (Miranda y Hernández, 1983; Niembro, 1990; Rzedowski *et al.*, 2001).

#### 4.2.2 *Mimosa biuncifera* Benth.

##### 4.2.2.1 Clasificación

Según Rogers McVaugh (1987) *Mimosa biuncifera* Bentham se clasifica de la siguiente manera:

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Fabales

FAMILIA: Leguminosae (Fabaceae)

SUBFAMILIA: Mimosoideae

TRIBE: Mimoseae

GÉNERO: *Mimosa*

ESPECIE: *Mimosa aculeaticarpa*

VARIEDAD: *Mimosa biuncifera* Bentham

(Jones, 1988; Barneby, 1991; Sitio *web* No.4).

#### 4.2.2.2 Nombres comunes

Gatuño (Zacatecas, Durango y Chihuahua), garruño (Zacatecas) o uña de gato (Chihuahua).

#### 4.2.2.3 Descripción

Arbusto de 50 cm a 2 m de altura; hojas principales maduras con peciolo de 3.5 a 10 (11) cm de largo; pinnas tres a nueve (diez) pares. “Uña de gato”. Arbusto muy abundante y a menudo codominante de matorrales xerófilos del Valle de México; frecuente asimismo en pastizales y en la vegetación secundaria. Altitud: 2300-2500 m. Se distribuye de Pachuca a Tlalpan y Tenango. Se conoce desde el suroeste de los Estados Unidos hasta el Valle de México (Rzedowsky *et al.*, 2001).

#### 4.2.2.4 Distribución y hábitat

El género *Mimosa* cuenta con alrededor de 300 especies, en su mayoría americanas; las más representativas de nuestro país son *M. acanthocarpa* y *M. biuncifera*. En el continente americano comprende el Centro y Sur de Arizona, Sur de Nuevo México, Oeste y Centro de Texas y Norte de México. Su distribución en la República Mexicana comprende los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y México. Se encuentra en diversas condiciones ecológicas, tanto en zonas áridas y semiáridas como en regiones templadas y cálido-húmedas (McVaugh, 1987).

#### 4.2.2.5 Importancia

Este arbusto realiza importantes contribuciones para el mantenimiento y mejoramiento de los ecosistemas, ya que retiene la humedad y el suelo, además, es un fijador de nitrógeno. Esta especie es una de las primeras colonizadoras en suelos altamente erosionados y proporciona refugio a fauna y flora debajo de su dosel. Debido a que es un arbusto caducifolio y ayuda a evitar la erosión de los suelos, puede ser empleado en la restauración ecológica de zonas semiáridas, ya que propicia la restauración de la fertilidad del suelo (Córdova y Barbosa, 2000).

### 4.3 Problemática ecológica

Cabe señalar que las precipitaciones pluviales en los climas de zonas áridas son poco frecuentes, pero en ocasiones intensas en volumen. Esto ha generado suelos degradados, debido a procesos como las erosiones eólica e hídrica, salinización, contaminación e inundación. Estos suelos, además de la manera acelerada con que se degradan, tienen escasa vegetación, baja productividad y no están en vías de recobrar su cubierta vegetal original (Montaño y Monroy, 2000). En México, a medida que las condiciones se hacen más adversas respecto del clima y a la topografía, uno de los pocos animales domesticados de los cuales puede vivir el ser humano, es la cabra; sin embargo, la alta densidad de cabras y borregos, así como la sobreexplotación de la vegetación, son la causa principal del deterioro de los ecosistemas semiáridos (Velasco-Molina, 1991). En el caso de los suelos áridos y semiáridos abiertos a la práctica de cultivo mixto, la labranza mínima, los acolchados, el establecimiento de árboles o de plantas leñosas de importancia económica y ecológica, así como los sembradíos con barreras rompevientos con especies de árboles y arbustos por ejemplo *Acacia farnesiana*, como se mencionó más arriba, pueden ser opciones adecuadas para contrarrestar el proceso erosivo, logrando de esta manera la conservación de los suelos de estos ecosistemas, lo que será la base para recuperar de manera parcial la cubierta vegetal nativa de los mismos (Panti, 1984), la cual, a su vez, permitirá incrementar los índices de conservación del suelo, a medida que se restablezcan las interacciones bióticas y abióticas propias del ecosistema (Montaño y Monroy, 2000). De modo que el uso de plantas nodriza es recomendable para la recuperación de la vegetación de zonas áridas y semiáridas, ya que así se generan micrositios apropiados para el establecimiento y crecimiento de las plantas (Bainbridge, 1990). En este contexto, se han realizado estudios que demuestran que la supervivencia aumenta en plantas que se ubican bajo el dosel de árboles y arbustos que fungen como plantas nodriza en regiones áridas y semiáridas. Esto ocurre debido a que la sombra que proporcionan bajo su dosel y follaje generan condiciones climáticas menos adversas, como el incremento del contenido de humedad y la obtención de niveles de fertilidad más altos que en las áreas abiertas, conduciendo a la formación de lo que se denomina “islas de recursos” (García-Moya y McKell, 1970; Bashan *et al.*, 2000; Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003).

Consiguientemente uno de los factores bióticos que contribuyen en el establecimiento vegetal son los hongos micorrizógenos arbusculares (Bashan *et al.*, 2000), los cuales, debido a su carácter de simbioses mutualistas obligados de un gran número de especies vegetales, juegan un papel crucial en la mayoría de los ecosistemas, ya que, además de incidir directamente en las plantas con las que se asocian, sus efectos se extienden al suelo y contribuyen significativamente a su mantenimiento y al del ecosistema en el que se encuentran (Hernández-Cuevas *et al.*, 2003). De igual forma se conoce que bacterias fijadoras de nitrógeno (por ejemplo las bacterias del género *Azospirillum*) interactúan con los HMA contribuyendo a que se obtengan beneficios en la planta como incrementos significativos en su crecimiento y en su contenido de fósforo (Bashan *et al.*, 2000).

#### 4.4 Rehabilitación ecológica

Considerando la problemática ecológica antes mencionada en la que se plantea la existencia de ecosistemas perturbados y por tanto sujetos a un disturbio progresivo de la cubierta vegetal así como a una rápida erosión de la superficie del suelo (Mathew *et al.*, 1991), se ha sugerido que como una alternativa a este problema es realizar una rehabilitación ecológica, definida como la inducción del proceso de reconstrucción de un ecosistema deteriorado, hasta restablecer las condiciones que propicien el automantenimiento y la evolución de una comunidad biótica acoplada a su ambiente. No obstante, tal inducción debe llevarse a cabo mediante la introducción de especies vegetales nativas de la zona a rehabilitar. Asimismo, para obtener mayores beneficios en cuanto al establecimiento de las especies se sugiere que éstas, sean previamente colonizadas con HMA, para que conjuntamente con poblaciones de microorganismos del suelo, contribuyan al mejor funcionamiento del ecosistema y a la continuación de la sucesión vegetal, acelerando un proceso que tardaría siglos mediante una regeneración natural (Monroy, 2002). Cabe señalar que la colonización con HMA es mencionada como un componente en el proceso de restauración desde las etapas iniciales de desarrollo en las especies vegetales, ya que ayuda a reducir el estrés causado durante la etapa de aclimatación (Pierick, 1988). De la misma manera los HMA contribuyen a que se incremente la longitud de las raíces, que al mismo tiempo forman una red que protege al suelo de la erosión (Varma, 1998).

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La micorriza arbuscular se ha reportado como un factor biótico importante en el desarrollo de especies vegetales, adquiriendo mayor importancia en el establecimiento y supervivencia de plántulas, debido a que les favorece en la incorporación de agua y nutrimentos (Varma, 1998). Es importante para las plantas de zonas semiáridas aprovechar al máximo el recurso hídrico, debido al costo en flujo evapotranspiracional de algunos procesos vegetales como la captura de CO<sub>2</sub>, la translocación, el crecimiento y el mantenimiento de la turgencia de los tejidos vegetales. Una forma de evaluar la eficiencia de uso del recurso hídrico de una planta es a través de la determinación del cociente llamado EUA (Eficiencia en el uso del agua), ya que éste mide la cantidad de biomasa (en gramos) producida por cada litro de agua de lluvia irrigada para un periodo de tiempo dado. Tales parámetros contribuyen a conocer el balance hídrico en las plantas. El presente estudio se planeó para determinar el desarrollo de plantas de las especies de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* inoculadas con HMA en condiciones de invernadero durante 23 semanas.



## 6. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

Se consideró pertinente llevar a cabo este estudio para generar datos ecofisiológicos sobre la micorrización tanto de *Acacia farnesiana* como de *Mimosa biuncifera*. Estudios previos (De-la Rosa-Mera y Monroy-Ata, 2006; Peña Becerril, 2002) mostraron que ambas especies son micorrizables, por lo que su inoculación en condiciones de invernadero fue factible. Esto permitió analizar el desarrollo vegetal de ambas especies bajo tratamientos de inoculación con hongos micorrizógenos arbusculares y obtener resultados que faciliten valorar su uso potencial en el repoblamiento vegetal de ecosistemas semiáridos deteriorados. Las especies estudiadas son nativas del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, y forman parte de la vegetación sucesional intermedia (*M. biuncifera*) y tardía (*A. farnesiana*), de los agostaderos del semidesierto hidalguense. Asimismo estas dos especies tienen importancia ecológica, ya que ambas funcionan como plantas nodrizas, es decir como nucleadoras de la vegetación al formar islas de recursos (Monroy *et al.*, 2007), lo cual favorece la reconstrucción de los mosaicos de vegetación natural. Finalmente, también es necesario subrayar que las dos especies bajo estudio tienen relevancia económica para los pobladores locales al emplearlas como fuente de leña, utilizar componentes vegetales para aplicaciones medicinales y eventualmente como fuentes de forraje.

## 7. HIPÓTESIS

Si la asociación que se establece entre HMA y fitobiontes es favorable para obtener una mayor hidratación y captura de nutrimentos para los vegetales que la presentan, entonces las plantas de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera*, al ser inoculadas con HMA en condiciones de invernadero presentarán mayores valores en su tasa de crecimiento relativo, establecimiento y supervivencia respecto de las plantas testigo (no micorrizadas).

## 8. OBJETIVOS

### 8.1 Objetivo General:

Determinar el efecto de inocular raíces de las plantas de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* con HMA, al comparar su desarrollo y supervivencia.

### 8.2 Objetivos particulares

Cuantificar la supervivencia y crecimiento de *A. farnesiana* y *M. biuncifera* inoculadas con HMA.

Después de 23 semanas de cultivo en invernadero, determinar los siguientes parámetros: tasa de crecimiento relativo (TCR), potencial hídrico caulinar, biomasa seca, cociente raíz vástago (R/V) y eficiencia en el uso del agua (EUA).

Determinar el porcentaje de micorrización de las raíces de *A. farnesiana* y *M. biuncifera*

## 9. MÉTODOS

### 9.1 Área de trabajo

Este estudio se realizó en el invernadero de la FES – Zaragoza (*Campus II*), de la UNAM; ubicado en la Zona Oriente de la Cd. de México.

### ETAPA I

#### 9.2 Suelo utilizado como sustrato

El suelo utilizado en este trabajo provino de una localidad ubicada al NO del poblado de Santiago de Anaya (20°22'715" latitud N; 98°56'114" longitud O), perteneciente al municipio del mismo nombre y localizado en el Valle de Actopan (Hidalgo, México), a una altitud de 2161 m. El suelo colectado fue llevado al invernadero en donde se tamizó con una malla de 2 mm con la finalidad de eliminar partículas grandes de materia orgánica, piedras, raíces, etc., después se realizó una mezcla homogénea con arena sílica en relación 1:1 (v/v) para mejorar el drenaje en la mezcla. Posteriormente el suelo se esterilizó tres veces durante una hora cada vez (eliminando con ello microorganismos), con una temperatura entre 110-120°C y a una presión entre 1.2 y 1.4 libras/pulgada<sup>2</sup> (Álvarez – Sánchez y Monroy, 2008) en autoclave (marca Corporation SN-MI, modelo SM 360).

#### 9.3 Inóculo de micorrizas

Se utilizó un inóculo masificado de *Lolium multiflorum* (pasto italiano), por su capacidad de rápida propagación y por tener su ciclo de vida corto (Álvarez-Sánchez y Monroy, 2008).

#### 9.4 Macetas

Se prepararon 100 macetas de aproximadamente 25 cm de alto y 7.2 cm de diámetro tubo de PVC. Éste es un material que no reacciona con los elementos utilizados en este trabajo y su forma cilíndrica es adecuada al crecimiento vertical de las raíces. En la base de las macetas se colocaron tapas de acetato selladas con silicón y cinta adhesiva, para evitar el drenado y las fugas de agua. Se colocaron bolsas plásticas dentro de cada una para

facilitar la extracción de la planta. En total fueron 100 macetas divididas en dos lotes de 50 por especie. De cada lote a 25 les agregó una mezcla que contenía 1000 g de suelo y arena sílica y 100 g de inóculo y a las 25 restantes fueron el lote testigo para cada especie a las que sólo se les agregó 1100 g de la mezcla de suelo y arena sílica.

### 9.5 Germinación

Las semillas de cada una de las especies se obtuvieron del banco de semillas de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Las semillas (100 por cada una de las especies) se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 10% por 10 minutos y se enjuagaron con agua destilada (Hartman y Kester 1987). Se escarificaron mecánicamente haciendo una pequeña muesca en la cubierta para acelerar el proceso de imbibición (Peña 2002). Se colocaron en cajas Petri con algodón húmedo y se incubaron en una cámara de germinación a 30° C durante siete días (Salisbury y Ross, 1978).

### 9.6 Transplante

A los siete días, una vez germinadas las semillas se transplantaron las plántulas en sus macetas correspondientes (dos plántulas por maceta realizando en ocasiones trasplantes con el fin de compensar las pérdidas de individuos por mortandad). Las macetas se etiquetaron de acuerdo con el tipo de tratamiento:

*Acacia farnesiana*, 50 macetas

25 con inóculo etiqueta roja; clave A+

25 sin inóculo etiqueta verde; clave A-

*Mimosa biuncifera*, 50 macetas

25 con inóculo etiqueta azul; clave M+

25 sin inóculo etiqueta amarilla; clave M-

### 9.7 Riegos

A los ocho días del trasplante de las plántulas, se iniciaron los riegos para ambos tratamientos de cada una de las especies con agua destilada de forma semanal a capacidad de campo (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener después de haber sido

saturado con agua; Ríos, 1985). Esto se realizó hasta completar las 23 semanas, tiempo en el que se concluyó la parte experimental.

## ETAPA II

### 9.8 Parámetros registrados durante el experimento

Se determinó el crecimiento de las plántulas midiendo semanalmente la altura, diámetro de la cobertura y número de pinnas. Estas mediciones se realizaron con la finalidad de comparar el desarrollo de las plantas inoculadas respecto al testigo en ambas especies. Para la medición del diámetro y altura se utilizó un vernier y una regla; el conteo del número de pinnas se realizó manualmente. Además se registró el peso de las macetas cada semana antes del riego.

### 9.9 Registro de datos al concluir el experimento

Al término de la etapa de cultivo se determinaron los siguientes parámetros:

#### 9.9.1 Biomasa

Registro del peso de la biomasa húmeda. Se cosecharon 20 plantas (diez de cada especie y tratamiento elegidas al azar) al término de las 23 semanas de cultivo en invernadero. Se extrajeron las raíces y el vástago de las plantas, se lavaron y secaron con cuidado y se les pesó en una balanza analítica.

Registro del peso seco. Se secaron durante 48 horas a una temperatura de 80 °C en un horno. Se pesaron en una balanza analítica para la obtención del peso seco del vástago, raíz y total. La humedad del tejido vegetal se calculó por diferencia entre el peso húmedo y seco (Leyva y Fernández-Alés, 1998; Pizo et al., 2006).

Por último, para ambos tratamientos, se calcularon las medias tanto de la biomasa seca total como del cociente raíz/vástago (R/V). La proporción entre la biomasa de vástago y la biomasa de raíz, es conocida como relación raíz-vástago según el modelo propuesto por Thornlwy (1972). La relación raíz/vástago es considerada como un parámetro descriptivo del estado global de la planta (Mckell, 1972; Wilson, 1988). Se obtiene mediante la fórmula:

$$R/S = (\text{biomasa seca de la raíz} / \text{biomasa seca del vástago})$$

### 9.9.2 Montaje de raíces y colonización micorrícica

Al momento de efectuar la cosecha de las plantas se seleccionaron algunas raíces para la determinación del porcentaje de colonización micorrícica radical. Las raíces fueron preparadas en una solución de alcohol al 50% y se colocaron en refrigeración para su posterior tinción. La tinción se llevó a cabo según el método de Phillips y Hayman (Ferrera *et al.*, 1993), realizando algunas modificaciones en los procesos en que se requería autoclave (aclaramiento y tinción) ésta se sustituyó por un horno de microondas.

El porcentaje de colonización se obtuvo basándose en la técnica según Phillips y Hayman (Ferrera *et al.*, 1993), en la cual se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Porcentaje de Colonización micorrícica} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados} \times 100}{\text{Número de segmentos totales}}$$

$$\text{Porcentaje de Colonización por vesículas} = \frac{\text{Número de segmentos con vesículas} \times 100}{\text{Número de segmentos totales}}$$

$$\text{Porcentaje de Colonización por arbusculos} = \frac{\text{Número de segmentos con arbusculos} \times 100}{\text{Número de segmentos totales}}$$

### 9.9.3 Aislamiento y conteo de esporas

Para conocer la diversidad de HMA a nivel genérico, se recuperaron las esporas presentes en el suelo, mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gedemann y Nicolson (1963) combinándola con la técnica de flotación de azúcar propuesta por Walker (1997) (Trejo *et al.*, 2008).

Primeramente se colocaron 50 g de suelo con 1000 ml de agua destilada y se agitaron vigorosamente. Después se dejó reposar de 10-15 s y se pasó el sobrenadante en una serie de tamices ordenados del mayor al menor (750 $\mu$ , 100 $\mu$  y 50 $\mu$ ). A continuación se recogió el contenido de cada tamiz y se colocó en tubos para centrífuga, entonces se agregó agua en los tubos y se centrifugó durante 5 minutos a 2000 y 2500 rpm. Se desechó el sobrenadante de los tubos y al precipitado se le agregó sacarosa al 70% y se agitó vigorosamente con una varilla de vidrio. Se centrifugó entre 1500 y 2000 rpm entre 35-60 s. Por último se

enjuagaron en un tamiz de malla pequeña y se colocaron en cajas Petri y papel filtro para su identificación (Álvarez – Sánchez y Monroy, 2008).

#### 9.9.4 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Este parámetro se evaluó utilizando los datos obtenidos de altura de las plantas durante las 23 semanas de duración del trabajo empleando la fórmula de acuerdo a Hunt (1993):

- $TCR = [\ln \text{ altura final (cm)} - \ln \text{ altura inicial (cm)}] / t \text{ (días)}$ .
- TCR= tasa de crecimiento relativo.

Donde:

- -ln: log natural.
- -t: tiempo.

#### 9.9.5 Potencial hídrico caulinar

El potencial hídrico, relacionado con la humedad relativa y la temperatura, es un parámetro que permite registrar una medida del grado de hidratación de la planta (Hopkins, 1995); la medición de este parámetro es una forma confiable de situar la magnitud de estrés hídrico (Ferreyra *et al.*, 2002). En el presente estudio, este parámetro se registró al término de las 23 semanas de crecimiento de las plantas y se llevó a cabo mediante la elección al azar de cinco plantas (con inóculo y sin inóculo) de cada una de las especies. El potencial hídrico se midió con una cámara de presión de Schöllander marca PMS Instrument Co., Corvallis, Oregón USA, que en términos simples, mide la presión hidrostática y osmótica de la planta (Ferreyra *et al.*, 2001) El procedimiento es el siguiente: al alba se cortó la base del tallo (parte aérea) de cada una de las plantas elegidas al azar y se colocaron en un tapón de goma que se insertó en la cámara de Schöllander quedando fuera de la cámara la base del tallo; a continuación se inyectó nitrógeno gaseoso a presión, que provocó la formación de una burbuja de agua en la base del tallo, lo que indicó que tenía que detenerse el paso del gas y tomarse la lectura de la presión, la cual tiene como unidades el bar y libras por pulgada cuadrada, las cuales deben ser transformadas a unidades de presión medidas en megapascales (MPa) con base en la fórmula siguiente:  $MPa = bar (0.10)$ .

### 9.9.6 Eficiencia en el uso del agua (EUA)

Este parámetro es usado para medir la proporción entre la materia seca producida y el consumo de agua en un periodo determinado (Salisbury y Ross, 1994). Mide cuántos gramos de biomasa vegetal se producen por cada litro de agua irrigada. Su cálculo se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{EUA} = \frac{\text{g de biomasa seca total}}{\text{kg de agua total irrigada}}$$

Para la obtención de este parámetro se utilizaron los resultados de los registros semanales de la cantidad de agua transpirada por cada tratamiento en ambas especies. Se realizó la cosecha de cinco plántulas por tratamiento de cada especie, se pesaron y se calculó la biomasa de su peso seco colocándola en la estufa a 80 °C durante 48 h Después se dividieron los gramos de masa seca entre el total de agua irrigada a las plantas durante las 23 semanas.

## 10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar si existían diferencias significativas entre tratamientos en las variables como altura, diámetro y número de pinnas se realizó una prueba de análisis de varianza así como una prueba de Tukey usando el programa SPSS 10 con un intervalo de confianza del 95%.



11. RESULTADOS

11.1 *Acacia farnesiana*

11.1.1 Supervivencia

La figura No. 1 presenta la diferencia de resultados respecto a la supervivencia. Se observó que a lo largo del experimento el porcentaje de supervivencia fue menor en el tratamiento sin micorrizar (A-) en comparación con el porcentaje que presentaron los individuos del tratamiento micorrizado. (Ver fotos 1 y 2).

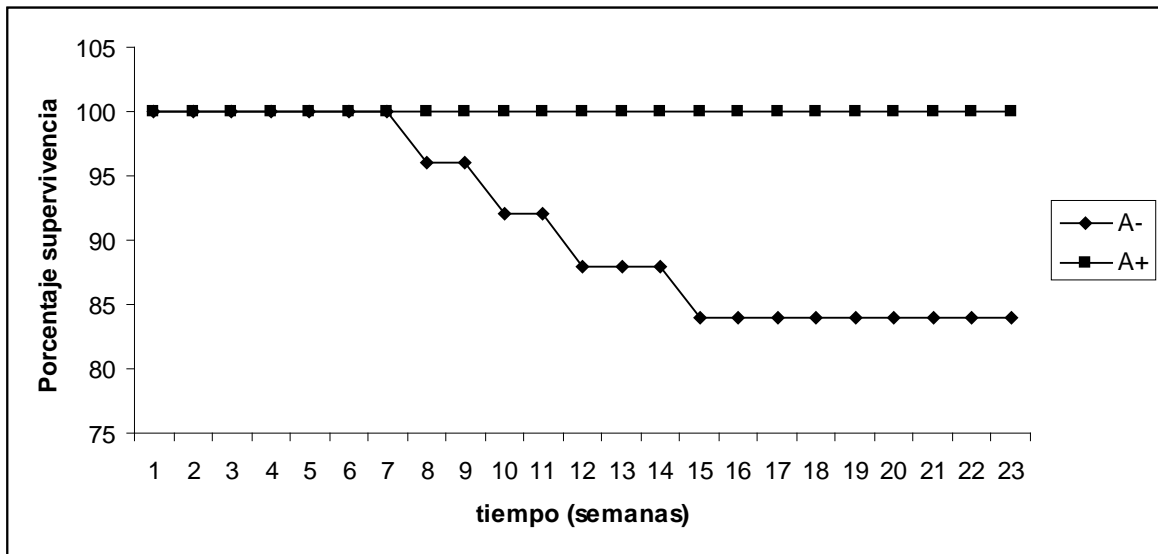


FIGURA No. 1. Porcentaje de supervivencia para *A. farnesiana* en ambos tratamientos sin inóculo (A-) y con inóculo (A+).



Foto 1. Individuos sobrevivientes de *A. farnesiana* (sin micorrizas) A-.

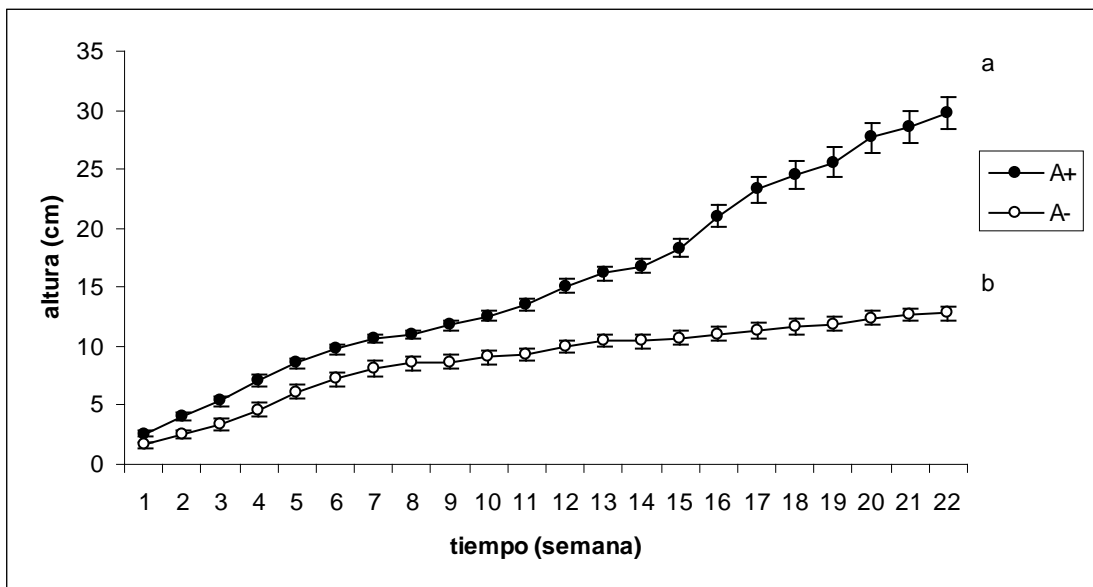


Foto 2. Individuos sobrevivientes de *A. farnesiana* (micorrizadas) A+.

### 11.1.2 Crecimiento

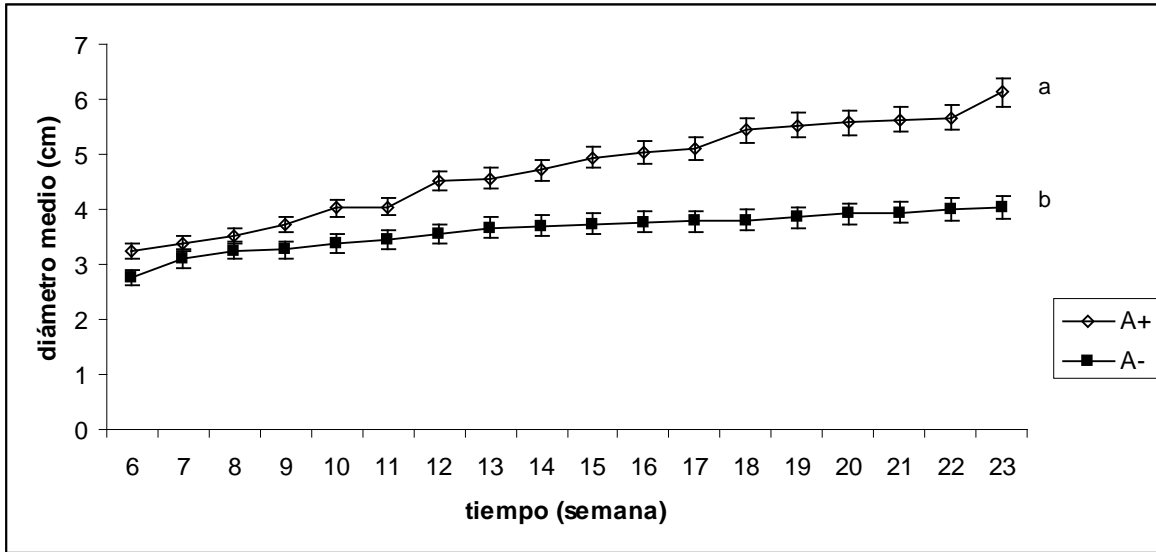
En la figura No. 2 se muestran los resultados obtenidos con respecto a la altura de plantas micorrizadas y no micorrizadas en *Acacia farnesiana*.

De acuerdo al análisis estadístico realizado a los datos promedio de cada semana ( $p= 0.001$ ) se afirma que existen diferencias significativas entre tratamientos. (Ver Anexo 1) particularmente a partir de la doceava semana de cultivo cuando hay un incremento en la altura de *A. farnesiana* con micorrizas (A+), en comparación con *A. farnesiana* sin micorrizas (A-) la cual presenta comportamiento de crecimiento menor y más lento.



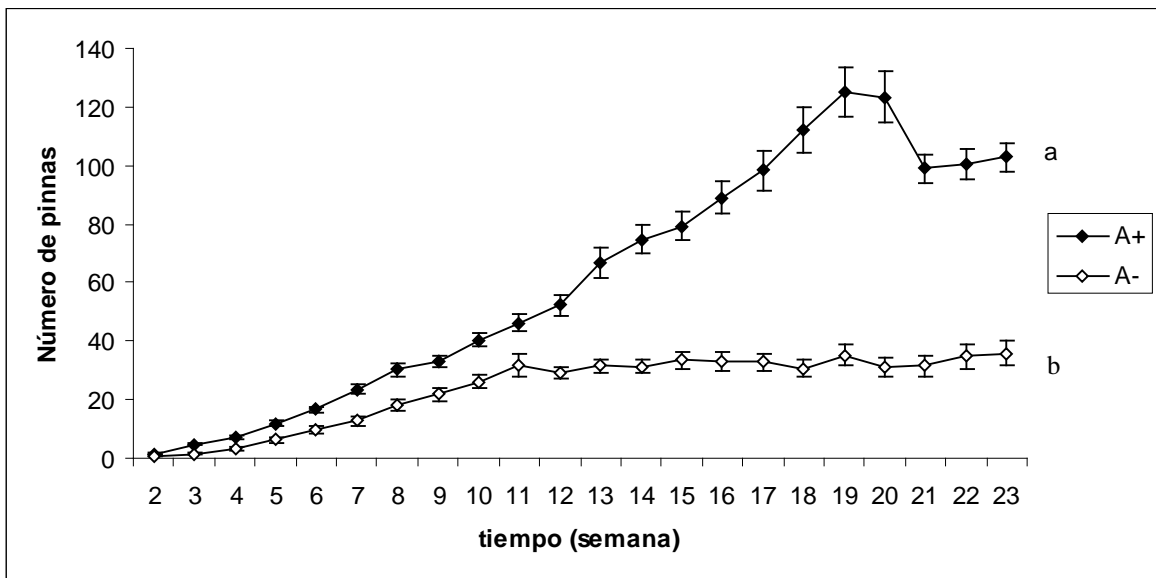
**FIGURA No. 2.** Altura promedio semanal en *Acacia farnesiana*, con micorrizas (A+) y sin micorriza (A-). (Las barras representan la desviación estándar)

Con respecto al diámetro medio en la cobertura vegetal, los resultados se presentan en la figura No. 3, en el cual se observa que el diámetro es mayor en el tratamiento con micorrizas (A+) a diferencia del tratamiento sin micorrizas (A-) acentuándose a partir de la doceava semana de cultivo presentando diferencias significativas ( $p=0.005$ ) (Ver Anexo 2) entre tratamientos.



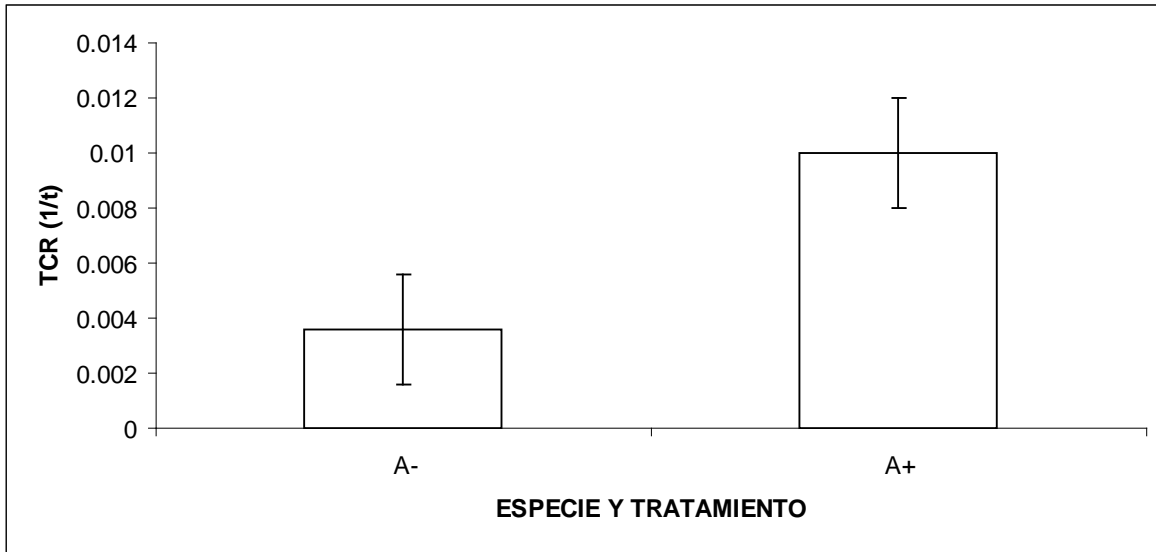
**FIGURA No. 3.** Diámetro medio semanal de *Acacia farnesiana* con micorrizas (A+) y sin micorrizas (A-).

De igual forma en la figura No. 4 se presentan las diferencias entre los tratamientos micorrizado y no micorrizado respecto al número de pinnas. A partir de la doceava semana de cultivo se presentó un incremento en el número de pinnas en el tratamiento micorrizado en comparación con el no micorrizado. A partir de la semana veinte se observa una disminución en el número de pinnas en ambos tratamientos. Estadísticamente se encontraron diferencias significativas ( $p=0.005$ ) en las semanas 12 a 23 (Ver Anexo 3).

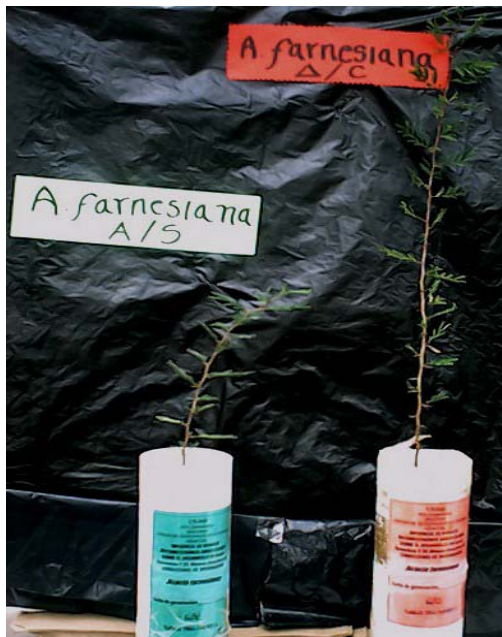


**FIGURA No.4.** Promedio semanal y desviaciones estándar del número de pinnas en *Acacia farnesiana* con micorrizas (A+) y sin micorrizas (A-).

La figura No. 5 expone el resultado respecto a la tasa de crecimiento relativo (TCR) en donde es observable que el valor más elevado lo presenta el tratamiento micorrizado (A+) (0.0100) a diferencia del testigo (A-) (0.0035) (Ver fotos 3 a 6). Estadísticamente se presentaron diferencias significativas a partir de la semana 12 hasta la 23 (Ver Anexo A15).



**FIGURA No. 5.** Tasa de crecimiento relativo (TCR) en plantas de *Acacia farnesiana* A+ (con inóculo) y A- (sin inóculo).



**Foto 3.** Comparación de altura entre individuos con mayor desarrollo de cada lote en *A. farnesiana* sin inóculo (A-) y con inóculo (A+).



**Foto 4.** Comparación de altura entre los individuos de menor desarrollo de cada lote en *A. farnesiana*; sin inóculo (A-) y con inóculo (A+).



Foto 5. Ejemplares de *A. farnesiana* sin inóculo (A-).



Foto 6. Ejemplares de *A. farnesiana* con inóculo (A+).

### 11.1.3 Potencial hídrico

Al término de las 23 semanas de cultivo, el potencial hídrico promedio para *A. farnesiana* con inóculo fue mayor ( $\Psi_w = -1.36$  MPa) en comparación con el grado de hidratación obtenido en *A. farnesiana* sin inóculo ( $\Psi_w = -1.6$  MPa) (Figura No. 6). Estadísticamente no hubo diferencias significativas ( $p=0.299$ ) (Ver Anexo -A4).

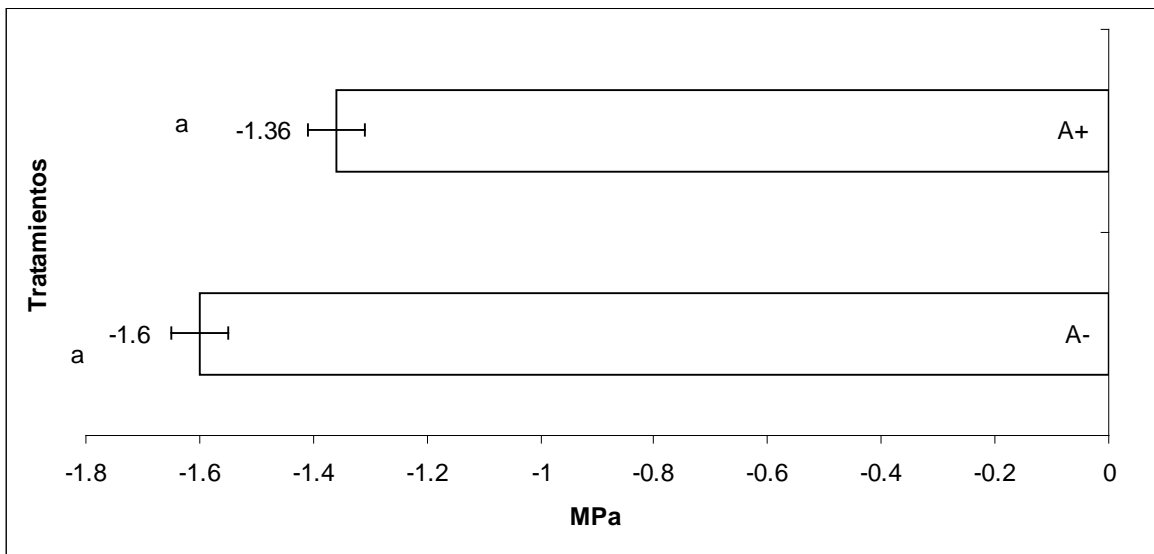


FIGURA No. 6 Potencial hídrico caulinar promedio en plantas de *A. farnesiana* micorrizada (A+) y sin micorrizar (A-). (Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos). Las barras indican la desviación estándar.

En las siguientes fotos (7 y 8) se presentan los individuos de ambos tratamientos utilizados para las pruebas de potencial hídrico.



Foto 7. Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico.



Foto 8. Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico.

#### 11.1.4 Biomasa húmeda y seca

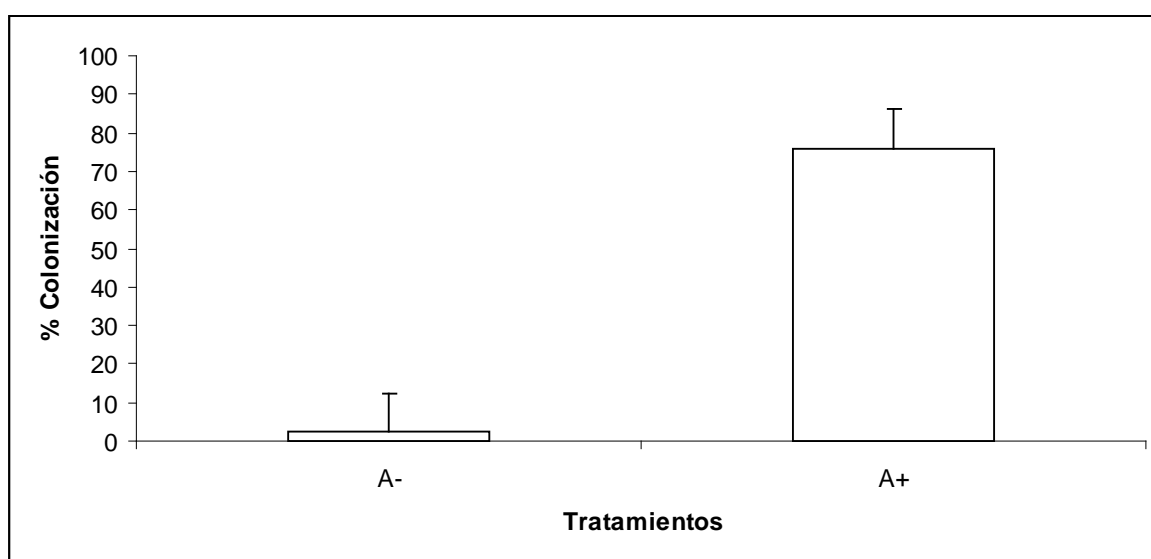
A continuación se exponen (Cuadro No. 3) los valores de biomasa seca y EUA (Eficiencia en el uso del agua) los cuales fueron mayores en el tratamiento micorrizado (A+) que en el no micorrizado (A-). En el caso del cociente raíz/vástago se registraron valores mayores en el tratamiento no micorrizado. Cabe mencionar que se encontraron diferencias estadísticas significativas en los siguientes parámetros: biomasa seca (0.0002) (ver anexo 5), cociente raíz vástago ( $p=0.048$ ) (ver anexo 6) y uso eficiente del agua ( $p=0.009$ ) (ver anexo 7).

|    | Biomasa seca (g) |               | Cociente R/V en biomasa seca | Eficiencia en el uso del agua (EUA) (g. biomasa seca/kg de agua irrigada) |
|----|------------------|---------------|------------------------------|---|
|    | VÁSTAGO (V)      | RAÍZ (R)      |                              |   |
| A+ | 2.32±0.036 a     | 1.03 ± 0.14 a | 0.45 b                       | 2.07 ± 0.069 a  |
| A- | 0.29 ± 0.39 b    | 0.30 ± 0.06 b | 1.02 a                       | 0.44± 0.058 b   |

Cuadro No. 3. Promedios de cinco muestras de *A. farnesiana*. Las letras desiguales indican diferencias significativas entre tratamientos.

## 11.1.5 Colonización micorrízica

De acuerdo a lo descrito en la figura No. 7, en el tratamiento micorrizado de *Acacia farnesiana* (A+) se obtuvo un 76% de colonización total presentando diferencia respecto al testigo que a pesar de no haber sido inoculado obtuvo un porcentaje de 2.3. En este caso la colonización se atribuye a que las esporas que probablemente estaban en el invernadero llegaron a las macetas durante el periodo de cultivo, o en su defecto, soportaron la esterilización del sustrato.

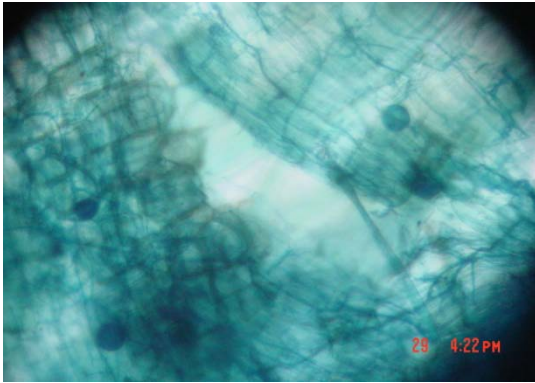


**FIGURA No. 7** Porcentaje de colonización micorrízica total de plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (A+) y no inoculadas (A-) de *Acacia farnesiana* después de seis meses de cultivo en invernadero.

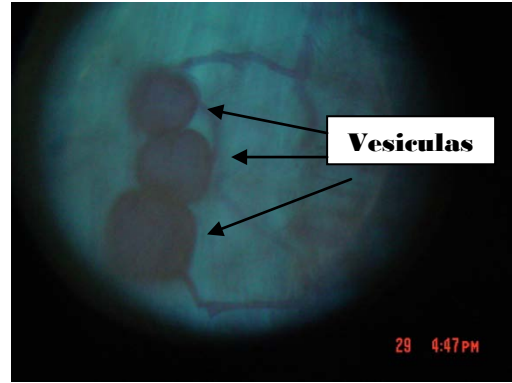
En el cuadro No. 4 se presentan los resultados del conteo de los fragmentos de las raíces analizadas, se mencionan las estructuras encontradas (vesículas, arbuscúlos y esporas véase fotos 9-15) así como el porcentaje de colonización respectivo.

| Espece vegetal           | Tratamiento | Colonización por vesículas (%) | Colonización por arbuscúlos (%) | Colonización por hifas (%) | No. de esporas (100 g) |
|--------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Acacia farnesiana</i> | A+          | 14.8 %                         | 3.5%                            | 58.9 %                     | 578                    |
|                          | A-          | 2.3%                           | 0                               | 0                          | 0                      |

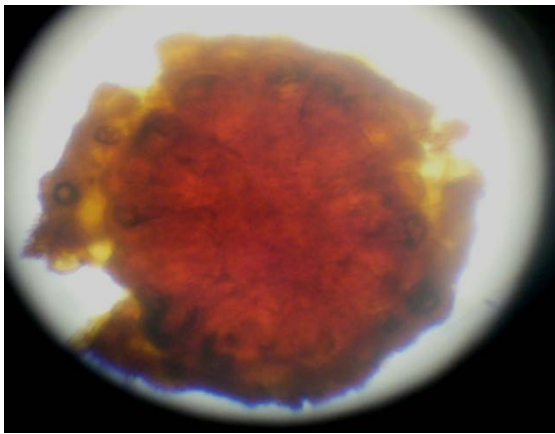
**Cuadro No. 4.** Porcentajes de colonización micorrízica después de seis meses en invernadero.



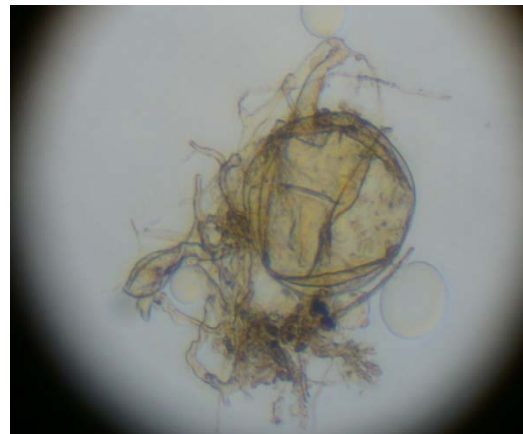
**Foto 9.** Hifas y vesículas (aumento 10 X)



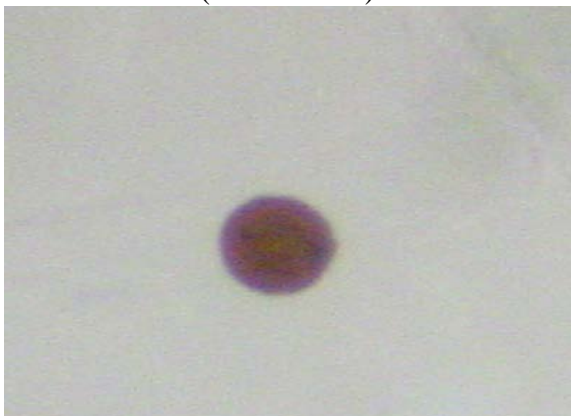
**Foto 10.** Conjunto de vesículas (aumento 40X)



**Foto 11.** Forma esporocárpica (360x352  $\mu\text{m}$ ) Color (20/60/100/0)



**Foto 12.** Espora germinando (200  $\mu\text{m}$ ) Color (0/0/20/0)



**Foto 13.** Espora (76x44  $\mu\text{m}$ ) Color (60/80/30/10)



**Foto 14.** Espora (80x48  $\mu\text{m}$ ) Color (0/10/40/0)



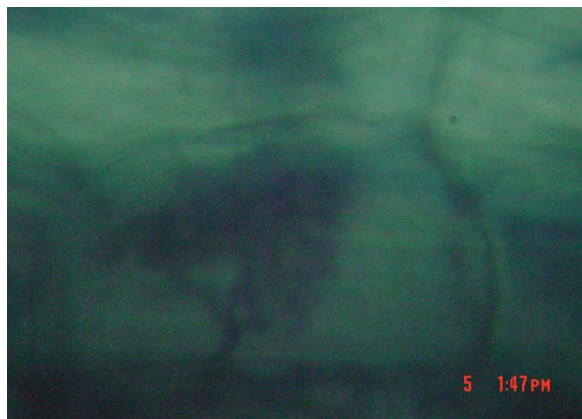


Foto 15. Arbúsculo.

## 11.2 *Mimosa biuncifera*

### 11.2.1 Supervivencia

A continuación la figura No. 8 muestra las diferencias entre ambos tratamientos, asimismo en las imágenes (16 y 17) se observan los individuos sobrevivientes de cada tratamiento.

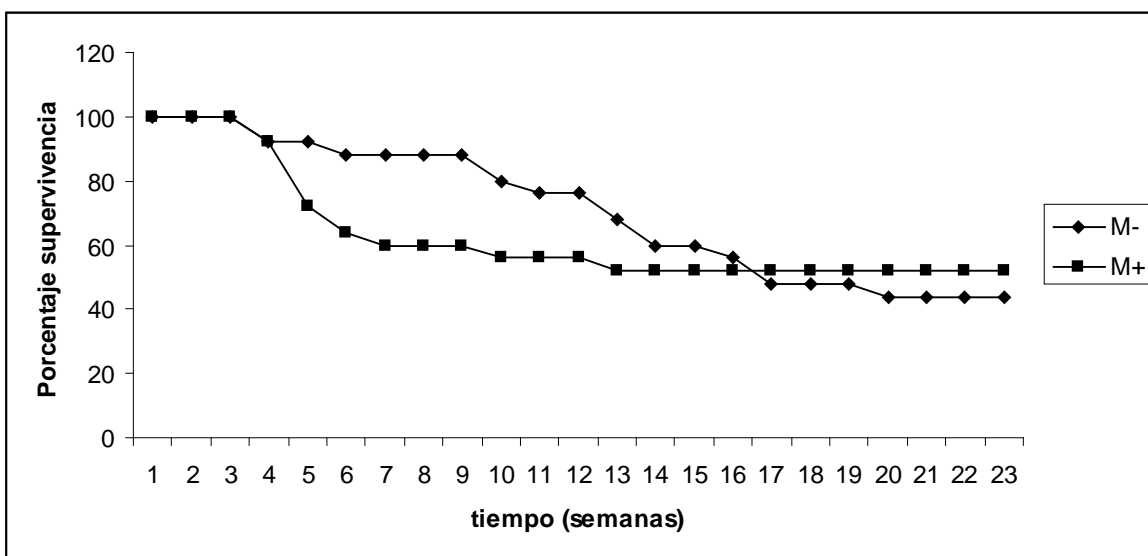


FIGURA No. 8. Porcentaje de supervivencia en *M. biuncifera* sin inóculo (M-) y con inóculo (M+).



Foto 16. Individuos sobrevivientes de M-



Foto 17. Individuos sobrevivientes de M+.

11.2.2 Crecimiento

La figura 9 muestra los resultados de la variable altura obtenidos durante el periodo de cultivo de *Mimosa biuncifera* con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-). Vale la pena decir que a partir de la décima semana de cultivo, difiere el crecimiento entre tratamientos, observándose un crecimiento mayor en el tratamiento micorrizado (M+) (Foto 18 y 19). Existen diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.003$ ) ver Anexo A8.

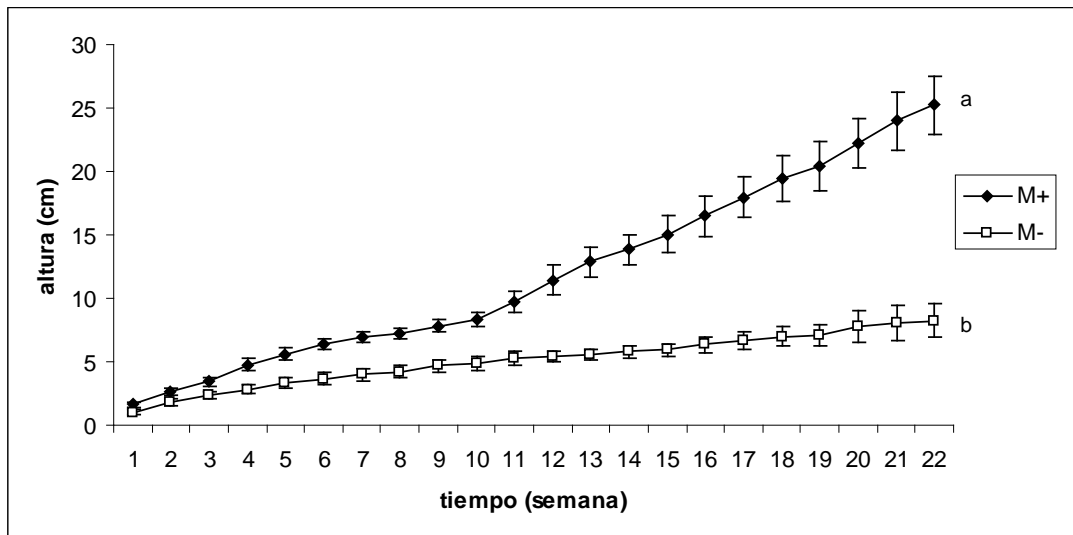


FIGURA 9. Altura promedio semanal en *Mimosa biuncifera* con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-). Las barras indican desviación estándar.



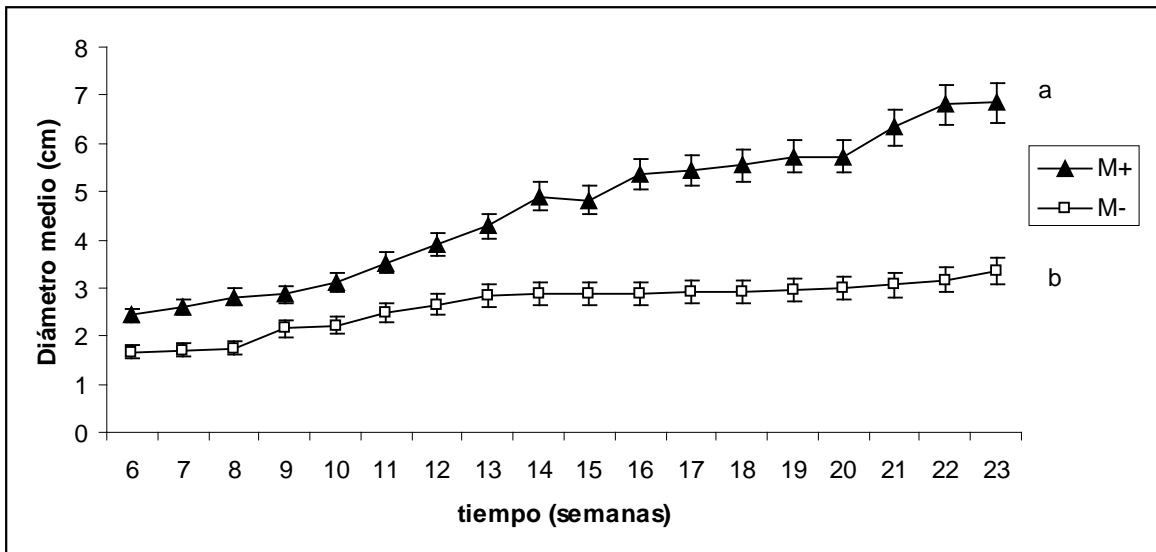
**Foto 18.** Comparación entre individuos con distintos tratamientos; sin inóculo (M/S) y con inóculo (M/C).



**Foto 19.** Crecimiento de las formas arbustivas que se presentaron en *M. biuncifera* con inóculo (M+).

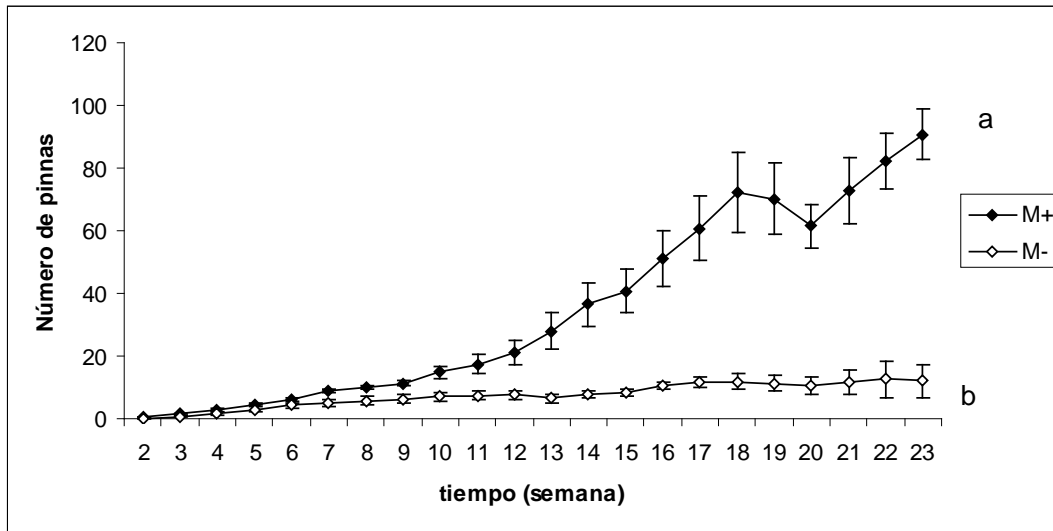


En el caso del diámetro medio, la figura 10 presenta los resultados de ambos tratamientos en *Mimosa biuncifera* con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-). Se muestra la diferencia que existe entre ambos tratamientos, desde las primeras semanas de cultivo, siendo el tratamiento micorrizado el que mantiene valores mayores. Existen diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.01$ ) (Ver Anexo- A9) a partir de la 12ava semana.



**FIGURA 10.** Diámetro promedio semanal de la media de *Mimosa biuncifera* con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-). Las barras indican la desviación estándar.

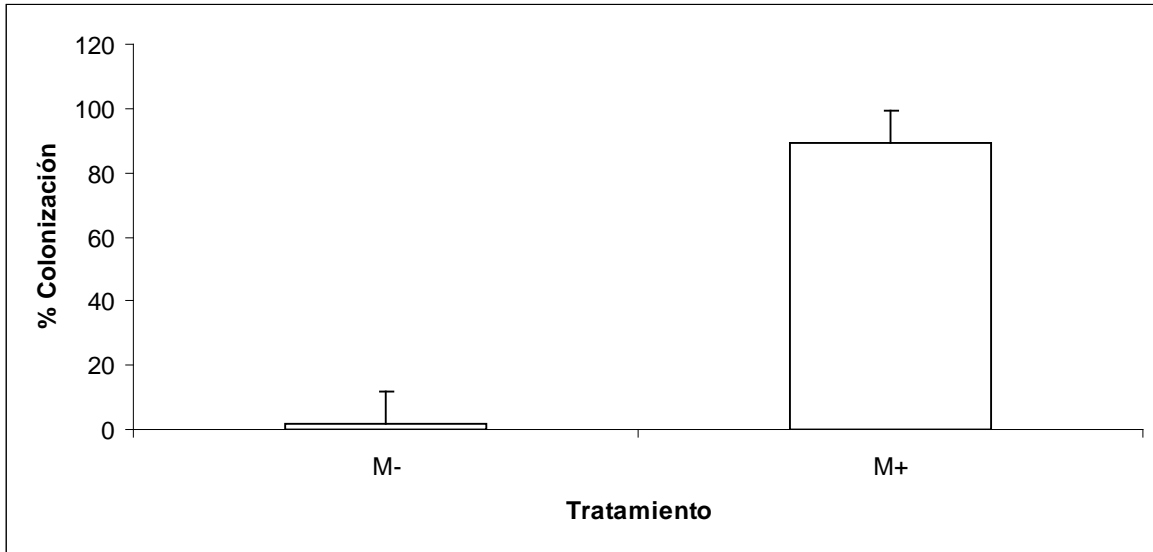
Con respecto a la variable número de pinnas en la figura 11 los resultados muestran que se registraron diferencias entre los tratamientos con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-) obteniendo un número de pinnas mayor en el tratamiento con micorrizas (M+) a partir de la doceava semana de cultivo. Las diferencias son estadísticamente significativas ( $p=0.009$ ) (Ver Anexo-A10). También se observa en la semana 20, correspondiente al mes de noviembre, un decremento en el número de pinnas a causa de un mecanismo fisiológico que adoptan algunas especies vegetales que consiste en el desprendimiento de sus hojas para evitar la pérdida de agua por transpiración (Cuestas, 2005).



**FIGURA 11.** Promedio semanal del número de pinnas de *Mimosa biuncifera* con micorrizas (M+) y sin micorrizas (M-). Las barras indican la desviación estándar.

### 11.2.3 Colonización micorrícica

Los datos de colonización micorrícica de *Mimosa biuncifera* (Figura 12) indican que las plantas del tratamiento con micorrizas (M+) presentan un porcentaje de micorrización de 89.2%. Por su parte las plantas del tratamiento sin micorrizas (M-) presentan un porcentaje de 1.8%. La colonización del tratamiento no micorrizado se atribuye a las mismas causas que en el caso de la colonización en *A. farnesiana*.



**FIGURA 12.** Porcentaje de colonización micorrícica total de plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y no inoculadas (M-) de *Mimosa biuncifera*. Las barras indican desviación estándar.

#### 11.3.6 Esporas

Al analizar las raíces de las plantas de *M. biuncifera* se encontraron fragmentos de raíz colonizados por vesículas e hifas (Cuadro No. 5), algunas de estas estructuras pueden observarse en las fotos 19 a 26. Al realizar la revisión de las muestras de suelo el número de esporas encontradas se registra en el cuadro No.4.

| Especie vegetal          | Tratamiento | Colonización por vesículas (%) | Colonización por arbusculos (%) | Colonización por hifas (%) | No. De esporas (100 g de suelo) |
|--------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| <i>Mimosa biuncifera</i> | M+          | 32.8 %                         | 0                               | 56.4 %                     | 262                             |
|                          | M-          | 1.8 %                          | 0                               | 0                          | 0                               |

**Cuadro No. 5.** Porcentajes de colonización y número de esporas encontradas en *Mimosa biuncifera*. M+= *M. biuncifera* micorrizadas, M- *biuncifera* sin micorrizas.

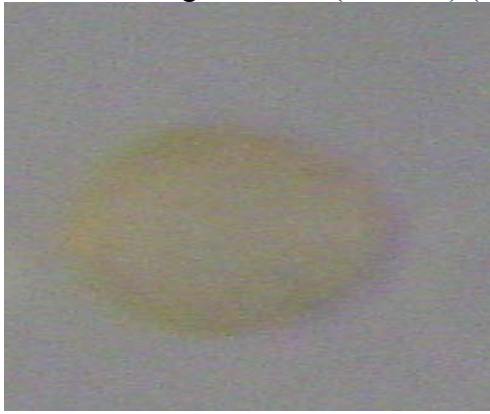
Respecto a las esporas encontradas en las muestras de suelo de *Mimosa biuncifera* con inóculo (M+) se describe a continuación el color y el tamaño de las mismas. Cabe mencionar que para determinar el color la prueba se realizó en húmedo y se utilizó la tabla de colores propuesta por el INVAM (Ver anexo A15).

**Foto 20.**Color beige (0/10/20/0) (64.2  $\mu$  53.5  $\mu$ )

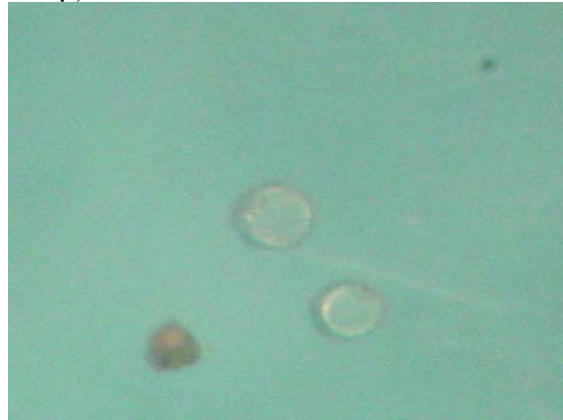
**Foto 21.**Color transparente (0/0/5/0) grande (64.2  $\mu$  74.9  $\mu$ ), chica (53.5  $\mu$  53.5  $\mu$ )

**Foto 22.** Color blanco (10/0/20/0) (42.8 $\mu$  53.5  $\mu$ )

**Foto 23.**Color beige con hifa (0/0/20/0) (107 $\mu$  107  $\mu$ )



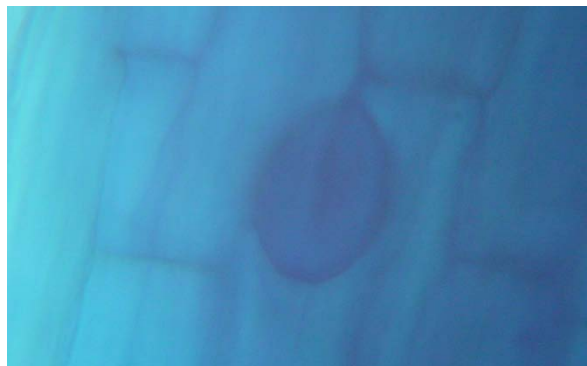
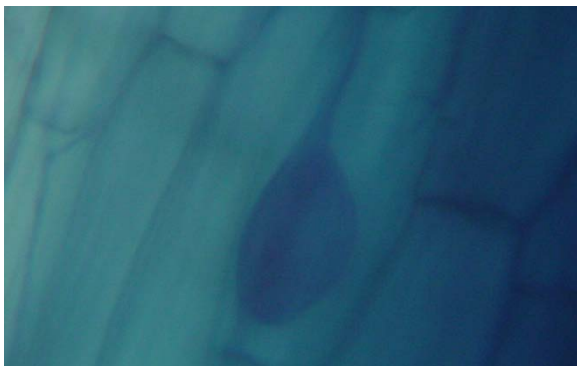
**Foto 20.** Espora (40 X)

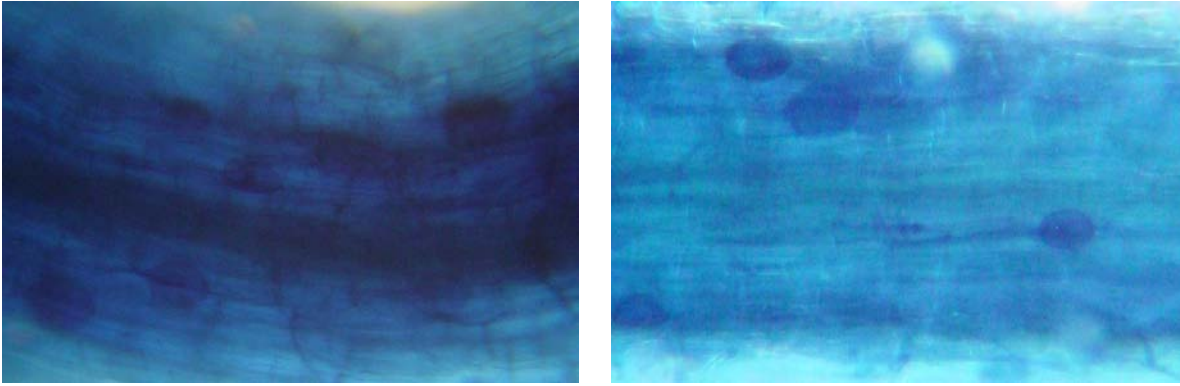


**Foto 21.** Esporas.



**Foto 22 y 23** Esporas

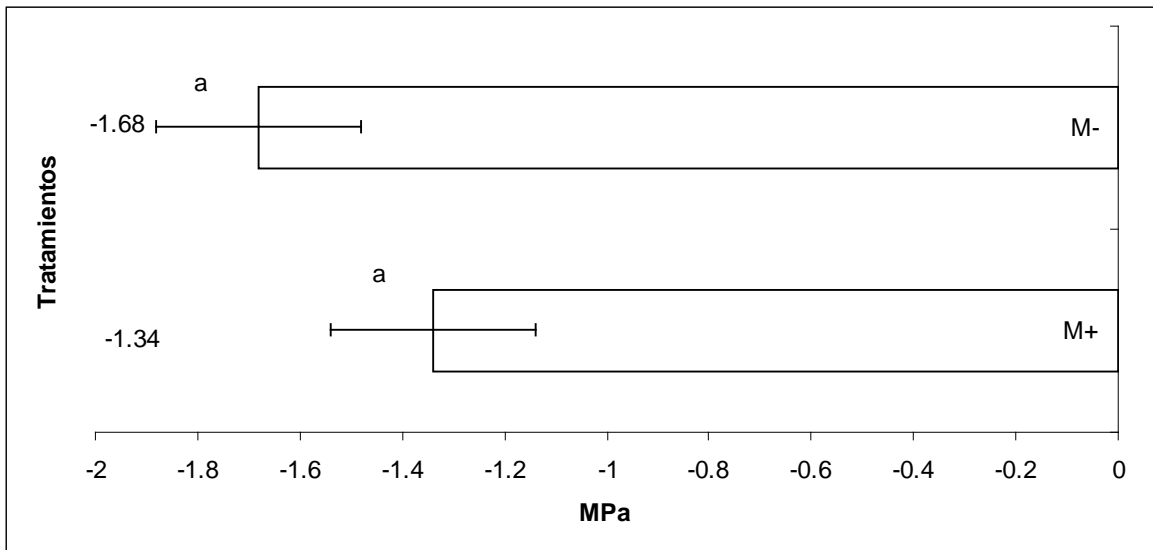




Fotos 24 a 27 Vesículas encontradas en la raíz de *M. biuncifera*.

### 11.2.5 Potencial hídrico

La figura 13 presenta una comparación entre los resultados obtenidos respecto del potencial hídrico de *M. biuncifera*, donde los valores promedio indican que el lote micorrizado (M+) ( $\Psi_w = -1.34$ ), registro valores de hidratación mayores que el testigo (M-) ( $\Psi_w = -1.68$ ). Estadísticamente las diferencias no fueron significativas ( $p=0.241$ ) (Ver Anexo-A11). Los individuos utilizados para realizar esta prueba se muestran en las fotos 28 y 29.



**FIGURA 13** Potencial hídrico caulinar de *Mimosa biuncifera* con inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares (M+) y sin inóculo (M-). (Letras minúsculas iguales indican que no hubo diferencias significativas).



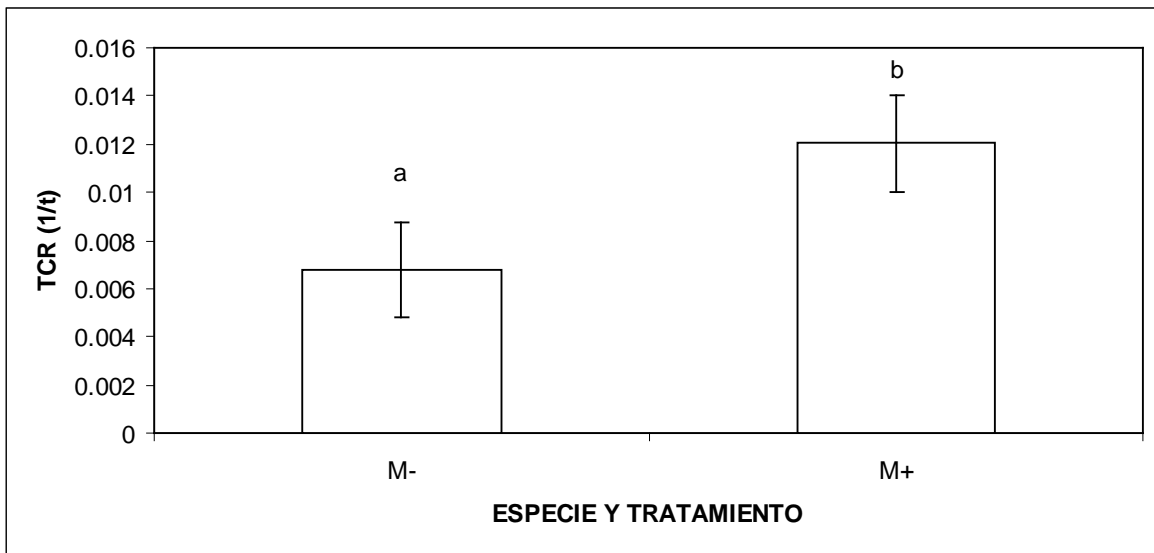
**Foto 28.** Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico en el tratamiento no micorrizado.



**Foto 29.** Individuos que se utilizaron para la prueba de potencial hídrico en M+.

11.2.6 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Se encontró que la tasa relativa de crecimiento (Figura 14) en el tratamiento micorrizado fue mayor en comparación con el tratamiento no micorrizado presentando diferencias estadísticas significativas (Ver Anexo 16).



**FIGURA 14.** Tasa de crecimiento relativo (TCR) de *Mimosa biuncifera* sin inóculo (M- = 0.0067) y con inóculo (M+ = 0.0120). Las letras desiguales (a y b) significa que existen diferencias significativas entre tratamientos.



## 11.2.7 Biomasa húmeda y seca

A continuación se presenta en el cuadro 6 los promedios de las variables evaluadas al término del cultivo, observándose que en los tratamientos micorrizados los valores son mayores y las diferencias que presentan son significativas (Ver anexo: A12, A13 y A14).

| TRATAMIENTO | BIOMASA SECA    |               | COCIENTE R/V | EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA(EUA) (g biomasa seca/kg de agua irrigada) |
|-------------|-----------------|---------------|--------------|---|
|             | VASTAGO (V) (g) | RAÍZ (R)(g)   |              |   |
| M+          | 1.36 ± 0.35 a   | 0.70 ± 0.12 a | 0.51 a       | 1.39 ± 0.25 a   |
| M -         | 0.08 ± 0.04 b   | 0.09 ± 0.01 b | 1.12 b       | 0.11 ± 0.04 b   |

**Cuadro 6.** Biomasa seca, cociente raíz-vástago (R/V) y eficiencia en el uso del agua (EUA) de *Mimosa biuncifera* después de 23 semanas de cultivo en condiciones de invernadero. Letras minúsculas desiguales indican que hay diferencias estadísticas significativas. (M+): *M. biuncifera* con inóculo;(M-): *M. biuncifera* sin inóculo.

A pesar de no haber planteado como objetivo el análisis del sustrato utilizado para este trabajo, el siguiente cuadro (7) presenta como un dato adicional los resultados de algunas características analizadas.

| PROPIEDAD                     | A+                 | A-              | M+                 | M-              |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| <b>Color de suelo seco</b>    | 5/2 Café grisáceo  | 6/2 Café claro  | 5/2 Café grisáceo  | 6/2 Café claro  |
| <b>Color de suelo húmedo</b>  | 3/2 Café oscuro    | 3/2 Café oscuro | 3/2 Café oscuro    | 3/2 Café oscuro |
| <b>Densidad aparente</b>      | 1.38 g/cc          | 1.4 g/cc        | 1.43 g/cc          | 1.41 g/cc       |
| <b>Densidad real</b>          | 2.93 g/cc          | 3.31 g/cc       | 2.34 g/cc          | 1.85 g/cc       |
| <b>Arcilla (%)</b>            | 3.84               | 2.56            | 2.92               | 4.56            |
| <b>Limo (%)</b>               | 2.56               | 3.28            | 4                  | 1.84            |
| <b>Arena (%)</b>              | 96.16              | 94.16           | 93.8               | 93.6            |
| <b>Clasificación textural</b> | Arenoso mijagonoso | Arenoso         | Arenoso mijagonoso | Arenoso         |
| <b>Materia orgánica (%)</b>   | 0.69               | 0.41            | 0.75               | 0.69            |

**CUADRO No. 7** Resultados de análisis edafológicos físicos realizados a las muestras de *Acacia farnesiana* (A+: con inóculo y A-: sin inóculo) y *Mimosa biuncifera* (M+: con inóculo y M-: sin inóculo).

En el siguiente cuadro (8) se encuentran sintetizados los resultados antes mencionados de los parámetros registrados durante el experimento. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

| <b>Especie</b>   | <b><i>Acacia farnesiana</i></b> |                    | <b><i>Mimosa biuncifera</i></b> |                    |
|--|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>Tratamiento</b>   | <b>Sin inóculo</b>              | <b>Con inóculo</b> | <b>Sin inóculo</b>              | <b>Con inóculo</b> |
| <b>Supervivencia (%)</b>   | 84                              | 100                | 44                              | 52                 |
| <b>Colonización micorrícica (%)</b>                              | 2.3                             | 76                 | 1.8                             | 89.2               |
| <b>Número de esporas encontradas</b>                             | 0                               | 578                | 0                               | 262                |
| <b>Tasa de crecimiento relativo (TCR)</b>                        | 0.0035 a                        | 0.0100 b           | 0.0067 c                        | 0.0120 d           |
| <b>Eficiencia en el uso del agua (EUA) (g/kg H<sub>2</sub>O)</b> | 0.44 a                          | 2.07 b             | 0.11 c                          | 1.39 d             |
| <b>Cociente Raíz/Vástago (R/V)</b>                               | 1.02 b                          | 0.45 a             | 1.12 c                          | 0.51 d             |
| <b>Potencial hídrico caulinar <math>\Psi</math> (MPa)</b>        | -1.36 a                         | -1.6 a             | -1.34 b                         | -1.68 b            |

**Cuadro No. 8.** Síntesis de resultados

### 11.3 Discusión de resultado

#### 11.3.1 Supervivencia

La supervivencia fue mayor en los tratamientos micorrizados en ambas especies, en el caso de *A. farnesiana*, el total de individuos (25) que conformaban el lote micorrizado sobrevivieron. En cambio se registro un deceso de individuos del 6% en el lote testigo. Para el caso del lote de *M. biuncifera* micorrizada (M+) se registro un deceso de individuos menor (48%) que en el lote no micorrizado (M-) (56%) (Figura 4). Los decesos se presentaron en dos periodos críticos durante los cuales se registro un aumento tanto de temperatura como de humedad en los meses de agosto y octubre respectivamente.

Según los resultados obtenidos se presento mayor número de sobrevivientes en los lotes micorrizados de ambas especies y se atribuye a que los individuos inoculados desarrollaron más resistencia gracias a que estaban mejor nutridos por la asociación que establecieron con los HMA y soportaron las condiciones adversas que se presentaron durante el periodo del experimento, asimismo se encontró la presencia de plaga (“arañita roja”, *Tetranychus telarius*) la cual según Alsina, 1982, provoca que los individuos invadidos se desarrollen deficientemente y algunos se marchiten por completo. En este trabajo se observo que individuos inoculados (Fotos 33, 34 y 35) de ambas especies resistieron al ataque de esta plaga en comparación con los no inoculados (Fotos 30, 31 y 32), debido a que está comprobado que una planta con mejor nutrición resiste mejor a la invasión de las plagas.



**Foto 33.** Lote de A+ invadido por “arañita” roja (*Tetranychus telarius*).



**Foto 34.** Individuo de A+ deteriorado por el ataque de “arañita roja”.



**Foto 35.** Individuo de A+ en deterioro progresivo a causa de “arañita roja”.



**Foto 30.** Lote A- invadido por la arañita roja (*Tetranychus telarius*).



**Foto 31.** Individuo de A- deteriorado por el ataque de arañas rojas



**Foto 32.** Individuo de A- en deterioro progresivo a causa de arañas rojas.

A-: individuos no micorrizados de *A. farnesiana*; A+: individuos micorrizados de *A. farnesiana*.

### 11.3.2 Crecimiento

De acuerdo a los resultados de las variables evaluadas (supervivencia, altura, diámetro y número de pinnas) y a las diferencias estadísticamente significativas registradas entre tratamientos es probable que se puedan atribuir tales variaciones a que las plantas de *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* son susceptibles a asociarse con hongos micorrizógenos arbusculares viéndose reflejado esto en una mejor nutrición y por consecuencia en un mejor desarrollo de las plantas (Saif, 1987; Khasa *et al.*, 1992). En estudios realizados por Fragoso 2001 y Peña 2002, se reporta que tanto *Acacia* como *Mimosa* micorrizadas registraron valores mayores que las plantas testigo.

Asimismo, Allen (1991); Bethlenfalvay *et al.*, (1984); Ferrera-Cerrato (1983), reportan efectos positivos de la inoculación respecto a un incremento en la tasa de crecimiento así como en la supervivencia de las plantas. Para este trabajo la TCR tanto de *A. farnesiana* como de *M. biuncifera* también obtuvo valores más altos en el tratamiento micorrizado siendo tales diferencias estadísticamente significativas.

### 11.3.3 Potencial hídrico

El potencial hídrico obtenido en ambas especies presenta valores similares siendo estos, mayores en las plantas micorrizadas. Este parámetro se considera importante ya que de acuerdo a Hopkins (1995), al obtener valores altos se refleja que la planta tiene mayor disponibilidad del agua para llevar a cabo sus funciones elementales.

A pesar de los reportes antes mencionados, en los resultados de este estudio las diferencias encontradas entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas en el caso de ambas especies. Sin embargo es importante mencionar que este resultado contrasta con lo reportado por Luna (2005), en donde se encontraron valores mayores en los lotes de las plantas micorrizadas comparadas con las no micorrizadas.

Asimismo González (2003) encontró que la simbiosis micorrícica mejora la conductividad hidráulica de la raíz para la toma y flujo de agua, coincidiendo con los resultados de Simancas (2007) en donde las plantas micorrizadas obtuvieron valores mayores de hidratación que las no micorrizadas.

### 11.3.4 Biomasa húmeda y seca, cociente raíz – vástago y eficiencia en el uso del agua

Los resultados en este parámetro indican que la mayor expresión de crecimiento se canalizó a la parte aérea en el caso de las especies micorrizadas, esto coincide con los resultados encontrados en el estudio hecho por López (2007), en donde se explica que tal efecto puede deberse al hecho de que las plantas inoculadas cuentan con un sistema de captación de nutrientes eficiente, gracias a la contribución de la red hifal y por lo tanto la planta asigna mayor parte de su potencial energético al desarrollo de biomasa de la parte aérea, ocupándose minoritariamente en el desarrollo de un sistema radical, es decir que en la repartición de recursos entre el vástago y la raíz se favorece al primero.

La revisión detallada de los ejemplares vegetales estudiados indica que se presentó un vigoroso crecimiento de la parte aérea de los individuos micorrizados en ambas especies, expresado en la altura y en la cantidad de biomasa producido. Esto es atribuido, en parte, a que se sabe que con la micorrización puede incrementarse la eficiencia de absorción de algunos elementos, permitiendo a muchas plantas que crecen en suelos

infértiles absorber fósforo y otros nutrimentos poco móviles. Hay que destacar que, según estudios realizados por Bhat (1973) y Brokes (1984), el fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, debido a que entre las funciones que realiza está el estimular la formación temprana y el crecimiento de las raíces así como intervenir en la formación de los órganos de reproducción de las plantas. Al ser el fósforo un elemento constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos y vitaminas, es indispensable en procesos donde hay transporte, almacenamiento y transformación de energía; este elemento actúa también en la fotosíntesis, respiración, división y elongación celular.

De igual forma, los resultados obtenidos en cuanto a la Eficiencia en el uso del Agua (EUA), muestran que el tratamiento micorrizado en *A. farnesiana* produce 1.63 g más de biomasa seca por cada litro de agua irrigada que el tratamiento no micorrizado, asimismo para el tratamiento micorrizado en *M. biuncifera* se reporta 1.28 g más de biomasa seca por cada litro de agua irrigada que para el tratamiento sin micorrizar. Siendo las diferencias estadísticamente significativas. Tales resultados coinciden con el estudio realizado por Peña 2002, en donde las plantas de *M. biuncifera* de tratamientos micorrizados tuvieron una mayor eficiencia al producir mayor biomasa por agua irrigada que las no micorrizadas. Por tal motivo se considera que los resultados obtenidos para este parámetro son importantes ya que permiten estimar la eficiencia del uso del agua a partir de la pérdida por transpiración, la cual va acompañada a la toma de CO<sub>2</sub> en los estomas de la planta (Nobel, 1998).

El aumento en la cantidad de biomasa producida por unidad de agua irrigada puede deberse a que las plántulas micorrizadas pueden obtener más eficientemente los recursos como fósforo y agua debido a la asociación con los hongos micorrizógenos arbusculares (Rincón *et al.*, 1993).

Como consecuencia del mejoramiento en la absorción de fosfatos bajo condiciones de micorrización las plantas pueden crecer mejor y producir más biomasa. El comportamiento de las plantas de *A. farnesiana* y *M. biuncifera* en este caso es similar por lo que se puede aseverar que responde adecuadamente a la asociación con los hongos micorrizógenos arbusculares.

Aunque no tuvo como finalidad el analizar otro tipo de asociación en este trabajo, se considera importante mencionar como dato adicional que al realizar esta prueba se encontró que algunos individuos de *A. farnesiana* además de la colonización por HMA en las raíces, establecieron una relación simbiótica con bacterias, siendo esto reflejado en la formación de nódulos. Es importante señalar que en una muestra de 10 individuos, solo se encontró en 2 individuos la presencia de nódulos, por lo tanto no se considero representativa para hacer un análisis a detalle. Sin embargo, se considero importante mencionar la presencia de los nódulos para que en un trabajo posterior pueda servir de referencia en el estudio basado en la doble simbiosis., ya que como refiere rojas 2003 en un estudio realizado, las plantas mostraron un alto crecimiento debido a la nutrición incrementada con P, la cual estuvo favorecida por la fijación de nitrógeno por parte de *Rhizobium*. En un estudio previo (Simancas, 2007) esto se atribuye a que, generalmente, la colonización de raíces por HMA favorece la nodulación por las bacterias fijadoras de N (*Rhizobium* en plantas leguminosas), e incrementan el número de nódulos en plantas que están micorrizadas con respecto a las que no están micorrizadas. Con ambos simbiontes presentes, el crecimiento de la planta es generalmente mayor que sólo con un simbionte.

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre los beneficios obtenidos por la colonización de ambos simbiontes.

| <b>MICORRIZAS</b>  | <b>NODULOS BACTERIANOS</b>  |
|--|---|
| Incremento en la absorción de N, Mg, K, Zn, Cu, Bo.  | Genera nitrógeno disponible para la planta. Muestran versatilidad en la movilidad en el metabolismo de C y N.   |
| Formación de una red de hifas, extensa, la cual permite tener una mayor exploración en el suelo.   | Incrementa considerablemente el número y longitud de los pelos radicales, el ritmo de aparición y número de raíces laterales, el diámetro y longitud de raíces laterales y el área de la superficie de la raíz. |
| Resistencia de las plantas al estrés hídrico y a la salinidad  | Incrementa la masa seca y el contenido total de nitrógeno en la planta.   |
| Aumento en la resistencia a patógenos del suelo así como en el contenido de agua debido al aumento de la conductividad hídrica.<br>Formación de una red de hifas que penetran la raíz. | Algunas rizobacterias producen sideróforos (sustancias extracelulares) que juegan un papel importante en el control de patógenos.   |
| Promueve un mejor desarrollo en la planta en cuanto a su crecimiento y vigor.  | Estudios hechos a la bacteria <i>Azotobacter</i> demuestran que al interactuar con las micorrizas promueven el crecimiento de las plantas debido a la producción de hormonas.                                   |
| Formación de una red de hifas que penetran la raíz.  | Formación de hebras de infección dentro de la raíz.   |
| Se ha encontrado que se asocia con leguminosas   | Se ha encontrado que se asocia con leguminosas.   |

El uso de dos microorganismos puede tener como consecuencia mejores resultados en el desarrollo de las plantas, es posible que una planta inoculada con dos microorganismos (si son los adecuados), logre una mayor tasa de establecimiento y supervivencia en condiciones de campo. Cabe mencionar que los resultados de tal interacción entre ambos microorganismos pueden ser selectivos y depende de la bacteria y hongo implicados, lo cual ha sido confirmado en otros estudios (Azcón, 1989, citado por Córdoba, 1999).

#### 11.3.5 Colonización micorrícica

Al realizar la revisión de las raicillas en ambas especies, se encontraron estructuras como esporas, vesículas, arbuscúlos e hifas; presentándose en mayor número las hifas, seguido de las vesículas y en el caso de *A. farnesiana* se encontró la presencia de arbuscúlos y esporas que superó en cantidad a las halladas en las muestras de *M. biuncifera*. Ante la presencia de tales estructuras puede decirse que en las dos especies experimentales de este trabajo, se logró establecer una relación con los HMA, esto coincide con lo observado por Alarcón (2000) en donde se considera que una vez establecida la colonización, ésta se caracteriza por presentar estructuras como vesículas y arbuscúlos, y que en si por su parte al hongo MA le es fundamental el encontrar y colonizar una raíz hospedera, ya que en ausencia de raíces y al no contar con una fuente de carbohidratos, su crecimiento cesa, no llegándose a completar su ciclo de vida. Asimismo, se considera que en la micorriza arbuscular funcional, la planta cede al hongo heterótrofo productos carbonados derivados de la fotosíntesis. En contrapartida el micosimbionte aporta a la planta nutrimentos minerales y agua obtenidos como consecuencia de su mayor accesibilidad a recursos distantes del sistema radical (Brundrett, 1990), contribuyendo de manera significativa a que las plantas micorrizadas se desarrollarán mejor que las no micorrizadas, presentando una mejor nutrición y resistiendo mejor a las condiciones adversas (Alarcón y Ferrera - Cerrato, 2000, Davies *et al.*, 2000).



## 12. CONCLUSIONES

El porcentaje de colonización micorrícica que se presentó en ambas especies fue de más del 50%, por tanto, se considera que *Acacia farnesiana* y *Mimosa biuncifera* en condiciones de invernadero fungieron como hospederos apropiados para los HMA, formando asociaciones micorrícicas arbusculares. Asimismo mostraron un aumento significativo en su contenido hídrico, reflejado en la reducción de estrés de la planta y por tanto en la mejora de las relaciones hídricas, de igual manera la TCR mostró valores más altos para las plantas inoculadas respecto a las plantas testigo.

La influencia de los HMA sobre el desarrollo de la biomasa en ambas especies favoreció la parte aérea de los individuos ya que se registraron valores menores del cociente raíz/vástago en el tratamiento micorrizado que en el testigo. Esto hace viable la inoculación de ambas especies para su utilización como especies forrajeras.

En la Eficiencia en el uso del agua (EUA) los valores mayores obtenidos, demuestran que las plantas micorrizadas son más eficientes para producir biomasa por unidad de agua consumida.

*Acacia farnesiana* respondió mejor al tratamiento de micorrización en comparación de los resultados obtenidos con *Mimosa biuncifera* por lo que respecta a supervivencia, biomasa total y Eficiencia en el uso del agua (EUA).

*Mimosa biuncifera* registró los valores más altos que *A. farnesiana* en cuanto a Colonización micorrícica, Tasa de crecimiento relativo (TCR), Cociente raíz-vástago (R/V) y Potencial hídrico caulinar ( $\Psi$ ) en comparación con los lotes micorrizados.

De esta forma se pone de manifiesto que la respuesta de ambas especies, aunque diferencial, es favorable a la inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares.

Se considera por tanto que los datos generados en este estudio son potencialmente útiles para futuros programas de revegetación de zonas áridas y semiáridas.

### 13. RECOMENDACIONES

1. Que el conteo de esporas no se extrapole
2. Es muy importante la escarificación en la testa de la semilla sobre todo en el caso de *Acacia farnesiana* ya que es muy dura.
3. Que se realicen frecuentemente revisiones a los individuos en cuanto se detecte la aparición de arañita roja o algún otro insecto y se trate de eliminar con control manual para evitar que aumente su población y se convierta en plaga.
4. Que se determinen las morfoespecies antes del experimento y después del mismo para detectar si existen variaciones.

## 14. ANEXOS

## A1

## Altura

Análisis de varianza (ANOVA) de altura de *Acacia* con una confianza del 95%

|                         | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F     | Significancia |
|-------------------------|-------------------|----|----------------|-------|---------------|
| <b>Entre grupos</b>     | 3043.326          | 1  | 3043.326       | 10.79 | .001          |
| <b>Dentro de grupos</b> | 1302.678          | 44 | 29.606         |       |               |
| <b>Total</b>            | 4346.004          | 45 |                |       |               |

## Media

|              | N  | Media   | Desviación Estandar | Error estandar | Mínimo | Máximo |
|--------------|----|---------|---------------------|----------------|--------|--------|
| <b>AM+</b>   | 25 | 29.7200 | 6.9673              | 1.3935         | 15.00  | 42.00  |
| <b>AM-</b>   | 21 | 13.3905 | 2.6233              | .5725          | 10.60  | 22.30  |
| <b>Total</b> | 46 | 22.2652 | 9.8274              | 1.4490         | 10.60  | 42.00  |

## A2

## Diámetro Medio

Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro medio de *Acacia* con una confianza del 95%

|                             | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F      | Significancia |
|-----------------------------|-------------------|----|----------------|--------|---------------|
| <b>Entre grupos</b>         | 61.389            | 1  | 61.389         | 12.567 | .003          |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 26.335            | 44 | .599           |        |               |
| <b>Total</b>                | 87.724            | 45 |                |        |               |

## Media

|            | N  | Media    | Desviación Estandar | Error estandar | Mínimo  | Máximo   |
|------------|----|----------|---------------------|----------------|---------|----------|
| <b>AM+</b> | 25 | 102.8400 | 24.8356             | 4.9671         | 92.5884 | 113.0916 |

|              |    |         |         |        |         |         |  |
|--------------|----|---------|---------|--------|---------|---------|--|
| <b>AM-</b>   | 21 | 34.1905 | 15.4260 | 3.3662 | 27.1686 | 41.2123 |  |
| <b>Total</b> | 46 | 71.5000 | 40.3731 | 5.9527 | 59.5107 | 83.4893 |  |

**A3****Numero de pinnas**

**Análisis de varianza (ANOVA) del número de pinnas de Acacia con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | 53786.902                | 1         | 53786.902             | 12.977   | .005                 |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 19562.598                | 44        | 444.605               |          |                      |
| <b>Total</b>                | 73349.500                | 45        |                       |          |                      |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |  |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--|
| <b>AM+</b>   | 25       | 102.8400     | 24.8356                    | 4.9671                | 92.5884       | 113.0916      |  |
| <b>AM-</b>   | 21       | 34.1905      | 15.4260                    | 3.3662                | 27.1686       | 41.2123       |  |
| <b>Total</b> | 46       | 71.5000      | 40.3731                    | 5.9527                | 59.5107       | 83.4893       |  |

**A4**

**Análisis de varianza (ANOVA) del potencial hídrico de Acacia con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | .144                     | 1         | .144                  | 1.236    | .299                 |
| <b>Dentro de los grupos</b> | .932                     | 8         | .117                  |          |                      |
| <b>Total</b>                | 1.076                    | 9         |                       |          |                      |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>AM+</b>   | 5        | -1.3600      | .2881                      | .1288                 | -1.80         | -1.10         |
| <b>AM-</b>   | 5        | -1.6000      | .3873                      | .1732                 | -2.10         | -1.20         |
| <b>Total</b> | 10       | -1.4800      | .3458                      | .1093                 | -2.10         | -1.10         |

**A5**

**Análisis de varianza (ANOVA) de la Biomasa seca aérea de Acacia con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | 10.300                   | 1         | 10.300                | 14.60    | .0002                |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 5.776E-02                | 8         | 7.220E-03             |          |                      |
| <b>Total</b>                | 10.358                   | 9         |                       |          |                      |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>AM+</b>   | 5        | 2.3284       | 8.252E-02                  | 3.691E-02             | 2.24          | 2.44          |
| <b>AM-</b>   | 5        | .2986        | 8.735E-02                  | 3.906E-02             | .17           | .39           |
| <b>Total</b> | 10       | 1.3135       | 1.0728                     | .3392                 | .17           | 2.44          |

**A6**

**Análisis de varianza (ANOVA) del cociente raíz/vástago de Acacia con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | .824                     | 1         | .824                  | 5.439    | .048                 |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 1.212                    | 8         | .151                  |          |                      |
| <b>Total</b>                | 2.035                    | 9         |                       |          |                      |

**Media**

|            | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>AM+</b> | 5        | .4520        | .1555                      | 6.953E-02             | .28           | .66           |

|              |    |        |       |       |     |      |
|--------------|----|--------|-------|-------|-----|------|
| <b>AM-</b>   | 5  | 1.0260 | .5279 | .2361 | .39 | 1.64 |
| <b>Total</b> | 10 | .7390  | .4755 | .1504 | .28 | 1.64 |

**A7****Eficiencia en el uso del agua (EUA)****Análisis de varianza (ANOVA) del UEA de Acacia con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | 6.675                    | 1         | 6.675                 | 32.36    | .009                 |
| <b>Dentro de los grupos</b> | .163                     | 8         | 2.039E-02             |          |                      |
| <b>Total</b>                | 6.838                    | 9         |                       |          |                      |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>AM+</b>   | 5        | 2.0740       | .1547                      | 6.918E-02             | 1.91          | 2.28          |
| <b>AM-</b>   | 5        | .4400        | .1298                      | 5.805E-02             | .26           | .57           |
| <b>Total</b> | 10       | 1.2570       | .8717                      | .2756                 | .26           | 2.28          |

**A8****Altura****Análisis de varianza (ANOVA) de Altura de Mimosa con una confianza del 95%**

|                         | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>     | 1931.250                 | 1         | 1931.250              | 4.9      | .003                 |
| <b>Dentro de grupos</b> | 863.410                  | 22        | 39.246                |          |                      |
| <b>Total</b>            | 2794.660                 | 23        |                       |          |                      |

**Media**

|  | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
|  |          |              |                            |                       |               |               |

|              |    |         |         |        |       |       |  |
|--------------|----|---------|---------|--------|-------|-------|--|
| <b>M+</b>    | 13 | 25.2308 | 8.3382  | 2.3126 | 15.00 | 44.00 |  |
| <b>M-</b>    | 11 | 7.2273  | 1.7059  | .5144  | 3.90  | 9.60  |  |
| <b>Total</b> | 24 | 16.9792 | 11.0230 | 2.2501 | 3.90  | 44.00 |  |

**A9****Diámetro medio**

**Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro medio de Mimosa con una confianza del 95%**

|                         | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F      | Significancia |
|-------------------------|-------------------|----|----------------|--------|---------------|
| <b>Entre grupos</b>     | 98.832            | 1  | 98.832         | 60.495 | .01           |
| <b>Dentro de grupos</b> | 35.942            | 22 | 1.634          |        |               |
| <b>Total</b>            | 134.773           | 23 |                |        |               |

**Media**

|              | N  | Media  | Desviacion Estandar | Error estandar | Minimo | Maximo |
|--------------|----|--------|---------------------|----------------|--------|--------|
| <b>M+</b>    | 13 | 6.8000 | 1.6778              | .4653          | 4.20   | 10.10  |
| <b>M-</b>    | 11 | 2.7273 | .4650               | .1402          | 1.90   | 3.40   |
| <b>Total</b> | 24 | 4.9333 | 2.4207              | .4941          | 1.90   | 10.10  |

**A10****Pinnas**

**Análisis de varianza (ANOVA) del número de pinnas de Mimosa con una confianza del 95%**

|                     | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F   | Significancia |
|---------------------|-------------------|----|----------------|-----|---------------|
| <b>Entre grupos</b> | 41630.014         | 1  | 41630.014      | 8.5 | .009          |

|                         |           |    |         |  |  |
|-------------------------|-----------|----|---------|--|--|
| <b>Dentro de grupos</b> | 10685.944 | 22 | 485.725 |  |  |
| <b>Total</b>            | 52315.958 | 23 |         |  |  |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>M+</b>    | 13       | 90.7692      | 29.7270                    | 8.2448                | 40.00         | 156.00        |
| <b>M-</b>    | 11       | 7.1818       | 2.8572                     | .8615                 | 2.00          | 10.00         |
| <b>Total</b> | 24       | 52.4583      | 47.6928                    | 9.7353                | 2.00          | 156.00        |

**A11**

**Análisis de varianza (ANOVA) del potencial hídrico de Mimosa con una confianza del 95%**

|                             | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b>         | .289                     | 1         | .289                  | 1.606    | .241                 |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 1.440                    | 8         | .180                  |          |                      |
| <b>Total</b>                | 1.729                    | 9         |                       |          |                      |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>M+</b>    | 5        | -1.3400      | .2608                      | .1166                 | -1.60         | -1.00         |
| <b>M-</b>    | 5        | -1.6800      | .5404                      | .2417                 | -2.50         | -1.10         |
| <b>Total</b> | 10       | -1.5100      | .4383                      | .1386                 | -2.50         | -1.00         |

**A12**

**Análisis de varianza (ANOVA) de la Biomasa seca aérea de Mimosa con una confianza del 95%**

|                     | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>F</b> | <b>Significancia</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------------------|
| <b>Entre grupos</b> | 4.115                    | 1         | 4.115                 | 12.651   | .007                 |



|                             |       |   |      |  |  |
|-----------------------------|-------|---|------|--|--|
| <b>Dentro de los grupos</b> | 2.602 | 8 | .325 |  |  |
| <b>Total</b>                | 6.717 | 9 |      |  |  |

**Media**

|              | N  | Media     | Desviacion Estandar | Error estandar | Minimo | Maximo |
|--------------|----|-----------|---------------------|----------------|--------|--------|
| <b>M+</b>    | 5  | 1.3662    | .7997               | .3577          | .58    | 2.29   |
| <b>M-</b>    | 5  | 8.326E-02 | .1044               | 4.670E-02      | .01    | .27    |
| <b>Total</b> | 10 | .7247     | .8639               | .2732          | .01    | 2.29   |

**A13**

**Análisis de varianza (ANOVA) del cociente raíz/vástago de Mimosa con una confianza del 95%**

|                             | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F     | Significancia |
|-----------------------------|-------------------|----|----------------|-------|---------------|
| <b>Entre grupos</b>         | .930              | 1  | .930           | 4.470 | .047          |
| <b>Dentro de los grupos</b> | 1.665             | 8  | .208           |       |               |
| <b>Total</b>                | 2.595             | 9  |                |       |               |

**Media**

|              | N  | Media  | Desviacion Estandar | Error estandar | Minimo | Maximo |
|--------------|----|--------|---------------------|----------------|--------|--------|
| <b>M+</b>    | 5  | .5100  | 7.681E-02           | 3.435E-02      | .42    | .62    |
| <b>M-</b>    | 5  | 1.1200 | .6406               | .2865          | .44    | 1.90   |
| <b>Total</b> | 10 | .8150  | .5370               | .1698          | .42    | 1.90   |

**A14**

**Análisis de varianza (ANOVA) de la EUA de Mimosa con una confianza del 95%**

|                      | Suma de cuadrados | df | Media cuadrada | F      | Significancia |
|----------------------|-------------------|----|----------------|--------|---------------|
| <b>Entre grupos</b>  | 4.083             | 1  | 4.083          | 23.896 | .001          |
| <b>Dentro de los</b> | 1.367             | 8  | .171           |        |               |

| <b>grupos</b> |       |   |  |  |  |
|---------------|-------|---|--|--|--|
| <b>Total</b>  | 5.450 | 9 |  |  |  |

**Media**

|              | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desviacion Estandar</b> | <b>Error estandar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|--------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| <b>M+</b>    | 5        | 1.3960       | .5767                      | .2579                 | .90           | 2.15          |
| <b>M-</b>    | 5        | .1180        | 9.602E-02                  | 4.294E-02             | .03           | .28           |
| <b>Total</b> | 10       | .7570        | .7782                      | .2461                 | .03           | 2.15          |

**A15**

|                           | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|---------------------------|--------------|----------------------------|---------------|---------------|
| <i>A. farnesiana</i> (A+) | 0.0100184    | 0.00289964                 | 0.00216167    | 0.0141682     |
| <i>A. farnesiana</i> (A-) | 0.00356741   | 0.00133554                 | 0.00114985    | 0.00659585    |

**ANOVA con un nivel de confianza del 95 %**

|                | <b>suma de cuadrados</b> | <b>Df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>Valor de F</b> | <b>Valor de P</b> |
|----------------|--------------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Entre grupos   | 0.000474962              | 1         | 0.000474962           | 8.80              | 0.0003            |
| Acacia sin mic | 0.000237463              | 44        | 0.00000539689         |                   |                   |
| Total (corr.)  | 0.000712425              | 45        |                       |                   |                   |

**A16****TRC *Mimosa biuncifera***

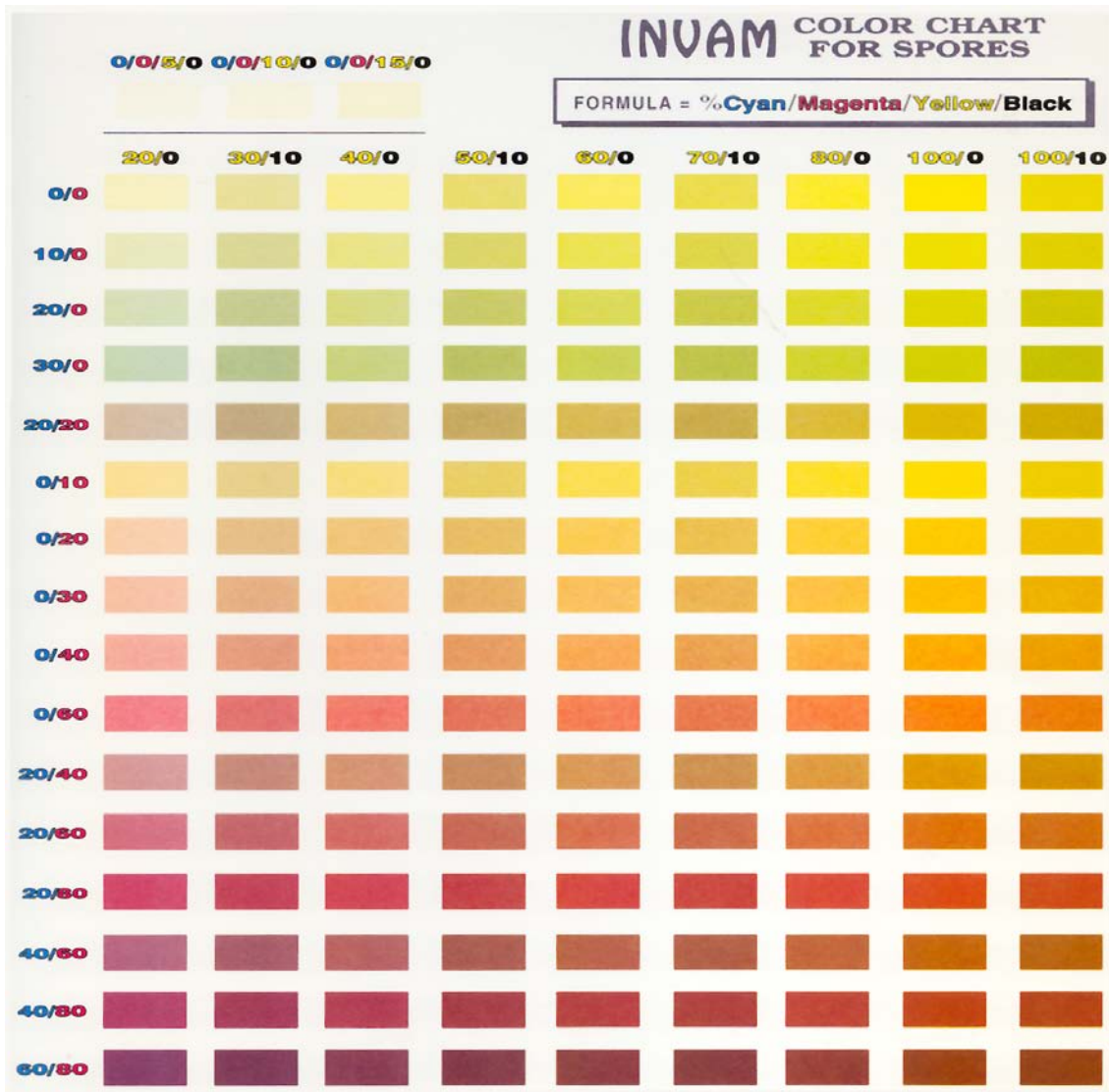
| <b>PLANTA</b>        | <b>Media</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Minimo</b> | <b>Maximo</b> |
|----------------------|--------------|----------------------------|---------------|---------------|
| <i>M. biuncifera</i> | 0.012034     |                            |               |               |

|                             |            |            |            |           |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-----------|
| (M+)                        |            | 0.00381367 | 0.00692595 | 0.0191124 |
| <i>M.biuncifera</i><br>(M-) | 0.00677405 | 0.00505246 | 0.00166017 | 0.0191676 |

**ANOVA con un nivel de confianza del 95 %**

| <b>PLANTA</b>  | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Df</b> | <b>Media cuadrada</b> | <b>Valor de F</b> | <b>Valor de P</b> |
|----------------|--------------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Entre grupos   | 0.000164851              | 1         | 0.000164851           | 8.44              | 0.0082            |
| Mimosa sin mic | 0.000429802              | 22        | 0.0000195365          |                   |                   |
| Total (corr.)  | 0.000594654              | 23        |                       |                   |                   |

**A17 Tabla de colores propuesta por el INVAM para la identificación de colores en las esporas.**



**15. REFERENCIAS**

- Álvarez S.**, J.D. y Ferrera–Cerrato, R. (1994) “Los microorganismos del suelo en la estructura y función de los agroecosistemas”. Cuaderno de Edafología 25. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias. México.
- Álvarez – Sánchez J.**, y Monroy A. A., (2008), “Técnicas de estudio de las asociaciones micorrícicas y sus implicaciones en la restauración”. Las prensas de Ciencias. 32.232.
- Alarcón A.**, Ferrera – Cerrato R. (2000) “Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular”. Colegio de Postgraduados. Pp. 5,79:251
- Allen M.F.** (1991) “The ecology of mycorrhizae”. University Press, Cambridge.
- Alsina G.L.** (1982) “Horticultura General” 4ª ed. Editorial Sintet. España. 375: 345-347.
- Ames R.E.**, Reid C.P.P., Porter L.K, Cambardella C. (1983) “Hyphal uptake and transport of nitrogen from two N-Labelled source by *Glomus mosseae*, a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus”. New Phytologist. 95:381–396.
- Azcón, C.**, Barea, J.M. (1997) "Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture significance and potentials" *Scientia Horticulturae*, 68:1-24.
- Bago B.,C.** Azcón-Aguilar y Y. Piché (1998 a) “Architecture and development dynamics of the external mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown under monoxenic conditions”. *Mycologia*. 90:52–62.
- Bago B.C.**, Azcón-Aguilar, A. Goulet y Y. Piché (1998 b) “Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of simbiotic arbuscular mycorrhizal fungi”. *New Phytol*. 139:375–388.
- Bainbridge, D.A.** (1990) “The restoration of agricultural lands and drylands”. En: Berger J. J. (editor). *Environmental restoration: science and strategies for restoration of the earth*. Island Press. Estados Unidos. 4-13.
- Barneby R.C.** (1991) “*Sensitivae censitae Mimosa*”. *Botanical Garden*. Vol. 65. New York. 3:24-835.
- Bansal M,** Mukerji KG. (1994) “Efficacy of root litter as a biofertilizer”. *Biol. Fertil. Soils* 18:228–230.
- Bansal M,** Mukerji KG. (1996) “Root exudation in rhizosphere biology”. In Mukerji KG, Singh VP, Suvergha. *Concepts in applied microbiology and biotechnology*. Aditya Books. New Delhi. 97–119.

- Bashan** Y., E.A. Davis A., Carrillo-García, Linderman G.R. (2000) "Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert". *Applied Soil Ecology*. 14:165-175.
- Bethlenfalvay**, G. J.; S. Dakessian y R. S. Pacousky (1984). Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implications. En: Guzmán Plazola, R. A. y R. Ferrera – Cerrato. 1990. La endomicorriza vesículo – arbuscular en las leguminosas. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. México.
- Bhat**. K. S. y Nye P.H. (1973) Diffusion of phosphate to plant roots in soil, i. Quantitative autoradiography on the depletion zone. *Plant and soil*. 38. P.161-175.
- Bonfante** P., R. Ballestrini y K. Mendgen (1994) "Storage and secretion process in the spore *Gigaspora margarita* Becker & Hall as revealed by high-pressure freezing and freeze-substitution". *New Phytol*. 128:93-101.
- Bravo-Hollis** H., R. H. Sánchez-Mejorada (1978) "Las cactáceas de México". Vol. 1, México, 89:96:713.
- Brokes**, P. C. Powlson, D. S. y Jenkinson, D. S. (1984) Phosphorous in soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry (England)* V. 16. 2. P. 169-175.
- Brundrett** M., (1990). En González, Ferrera – Cerrato y Pérez (1998). Biotecnología de la micorriza arbuscular en fructicultura. U.A. Tlaxcala y C.P. pp. 115.
- Camargo-Ricalde** S.L., Dhillion S.S., (2003) "Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal resource islands within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México". *Mycorrhiza*. 13:129-136.
- Cervantes** R.M.C. (2002) "Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México". Instituto Geografía. UNAM. México. 17:50-142.
- Charest** C, Dalphe Y, Brown A. (1993) "The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae and chilling on two hybrids of maize" *Mycorrhiza*. 4:89-92.
- Clark** R. B., Zeto S.K. y R.W. Zobel (1999) "Arbuscular mycorrhizal fungal isolates effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic". *Soil Biol. Biochem*. 31:1757-1763.
- Córdoba** C. M. d. J. (1999). "La micorriza arbuscular y su interacción con las bacterias promotoras de crecimiento. Colegio de postgraduados Montecillo Estado de México.

- Córdova D. G. y J. E. R. Barbosa** (2000) “Estimación de la fitomasa aérea del Gatuño (*Mimosa biuncifera* Benth)”. Acta Universitaria. México. 10 (1) Junio, 10-17.
- Cruz R.J.A.** (1996) “Evaluación de las condiciones microclimáticas, edáficas y de vegetación bajo el dosel de *Prosopis leavigata* (Humb & Bonpl, ex Wild) M.C.Johnst; en un agostadero semiárido del norte de Guanajuato”. Tesis de Maestría en Botánica. Colegio de Postgraduados en ciencias agrícolas. Programa de botánica. Montecillo México.10-11.
- Davies Jr. F. T;A.A.** Estrada Luna; T.L. Finnerty, J.N. Egilia y V. Olalde-Portugal.(2000) Applications of mycorrhizal fungi in plant propagation Systems.pp 129-146.
- De la Rosa-Mera C.J., Monroy A.,** (2006), “Mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida” TIP Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas, 9 (2): 96-100.
- Dehne HW** (1982) “Interaction between VAM fungi and plant pathogens”. Phytopathology. 72:1115–1119.
- Ferrera – Cerrato, R.** (1983). “La micorriza vesículo – arbuscular en los diferentes agroecosistemas”. Symposium sobre la sequía y su impacto en la agricultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Ferrera-Cerrato R., González C. Ma. del C., Rodríguez, M. Ma. de las N.** (1993), “Manual de agromicrobiología”. Trillas. México. Pp. 66-68.
- Ferrera-Cerrato R., Quintero L. R.,** (1993) “Agroecología, sostenibilidad y educación” Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Estado México. 127:128:138:152-265.
- Ferreya E.R., Selles V G., Lumus S G.** (2001) “Riego deficitario controlado en Nogales, estrategia de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales”. Boletín INIA No. 58, 36p.
- Ferreya E.R., Selles V G., y Lumus S G.** (2002) “Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv. kakamas, en el rendimiento y estado hídrico de las plantas”. Agricultura Técnica.
- Fragoso I.S.** (2001) “Generación de un inóculo M.A. nativo a Santiago de Anaya, Hgo., y su potencialidad en la inoculación de *Acacia farnesiana* y *Bouteloua curtipendula*”
- Friese C. F., M. F. Allen** (1991) “The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture”. Mycologia. 83:409–418.

- García-Espino G.**, J.R. Reynaga V., Medina T., J.G. y R. Jasso I. (1989) “Características físicas y químicas de islas de fertilidad y áreas adyacentes de mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr.) en un matorral mediano espinoso en el norte de Coahuila” *Agraria*. 5(1):38-49.
- García-Moya E.**, C. McKell (1970) “Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a deser-wash plant community”. *Ecology*. 51(2):81-88.
- Gerdemann, J. W.** y Nicolson, T.H. (1963) “Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting”. *Transactions of the British Mycological Society*. 46, 235-244.
- González C.F.**, (2003) “Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. Sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. Tesis profesional de Biólogo. FES Zaragoza, UNAM.
- González-Chávez, Gutiérrez-Castorena y Wright S.**, (2004) “Hongos Micorrízicos Arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad”. *Colegio de Postgraduados. Terra Latinoamericana* 22: 507-514.
- Gupta, R.** y Mukerji K.G. (2000) “The growth of VAM fungi under stress conditions” En: Mukerji, D.G y Chamola, B.P. *Mycorrhizal biology*. Kluwer Academic/ Plenum Publishers. Estados Unidos de América. Pp. 57-65.
- Harley J.L.** y S.E. Smith (1983) “Mycorrhizal Symbiosis”. Academic Press. Londres 483 pp.
- Hartmann H. T.** y D.E. Kester (1987) “Propagación de plantas: principios y prácticas”. Trad. Marino, A. A., CECSA. México, D.F. 760 pp.
- Hernández C., M. E.** y E. García (1997) “Condiciones climáticas en las zonas áridas de México”. *Geografía y Desarrollo. Revista del Colegio Mexicano de Geógrafos Posgraduados, A. C. México*. 5.67-68.
- Hernández-Cuevas L., Castillo A. S., Guadarrama C. P., Martínez O. Y., Romero R. M., Sánchez G.I.** (2003) “Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel”. *Facultad de Ciencias. UNAM. México*. 2-15:84.
- Honrubia M., P. Torres, G. Díaz y A. Cano** (1992) “Manual para micorrizar plantas en viveros forestales”. Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación, ICONA. Murcia.
- Hopkins W.G.** (1995) “Introduction to plant physiology”. John Wiley and Sons, Inc. New York. 464 pp.



- Hunt R.**, Neal A. M., Laffarga J. (1993). Mean relative growth rate. In *Methods in Comparative Plant Ecology: A Laboratory Manual*, ed. G.A. Hendry & J. P. Grime, London: Chapman & Hall. 98 – 102 pp.
- Janardhanan K.K** (1990) En: **Alarcón A.**, Ferrera – Cerrato R. (2000) “Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular”. Colegio de Postgraduados. Pp. 240.
- Jasper D.A.**, L.K. Abbott y A.D. Robson (1991) “The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. *New Phytol.* 118:471-476.
- Jones B.S. Jr.**, (1988) “Sistemática vegetal” 2ª. Ed. Mc Graw-Hill. México 47.
- Khasa, P.**, V. Burlan y J.A. Fortín. 1992. Response of some tropical plant species to endomycorrhizal fungi under field conditions. *Trop. Agric. (Trinidad)* 69: 279-283.
- Kothari SK**, Marschner H., George E. (1990) “Effects of VA mycorrhizal fungi and microorganisms on root and shoot morphology, growth and water relations in maize”. *New Phytol.* 116:303–311.
- Leiva M.** y Fernández-Alés R. (1998). Variability in seedling water status during drought within a *Quercus ilex* subsp. *Ballota* population, and its relation to seedling morphology, *Forest Ecology and Management*, 111:147-156.
- Luna C. L. A.** (2005) “Influencia de Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA) sobre el desarrollo de *Agave salmiana* (Agavaceae) y *Opuntia streptacantha* (Cactaceae) en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza .UNAM. 92 pp.
- López M.L** (2007) “Evaluación de 5 inóculos multiespecíficos de hongos micorrízicos producidos en el invernadero” Tesis de Licenciatura. FES – Zaragoza UNAM. Pag. 64.
- Mathew J.** Shankar A., Neeraj, Varma A. K., (1991) “Glomaceous fungi associated with spineless cacti, a fodder supplement in deserts”. *Trans Mycol Soc Jpn*, 32:225–233.
- McKell, C. M.** (1972) “Seedling vigor and seedling establishment”. En V.C. Youngner V.B. y C.M McKell (eds.). *The biology and utilization of grasses*. Academic. N.Y. Pp 74–89.
- McVaugh R.** (1987) “Flora Novo-Galiciana; a descriptive account of the vascular plants of western México”. Leguminosae. *Ann Arbor, The University of Michigan Press*. Estados Unidos.(5) 6,127:128,198:200,224,235:236-786.
- Miranda F.**, Hernández E., (1983) “Los tipos de vegetación de México y su clasificación”. *Bol.Soc.Bot. México.* 179:28-29.

- Monroy A. A.**, (2002) “En busca del paraíso perdido: restauración ecológica”, *Coinversus*, Punto Critico, (8) 28-33.
- Monroy A. A.**, Estévez T.J., García S.R., Ríos G.R., (2007) “Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Bol. Soc. Bot. Mex. Restauración Ecológica de México*. 49-57.
- Montaño A. N.M.**, Monroy A.A. (2000) “Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México”. *Ciencia y Desarrollo* 154. México. 26-37.
- Morton J.B.**, Bentivenga S.P., Bever J. D. (1994) Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes. *Can J. Bot.* 73(Suppl.1). S25-S32.
- Morton J.B.**, y Benny G.L. (1990) Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*. 37:471-491.
- Mosiño A.**, P.A. (1983) “Climatología de las zonas áridas y semiáridas de México”. Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Memoria de Simposio. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México. 9-38.
- Munsell** Soil color charts (1992)
- Nicolson T.H.** (1959) “Mycorrhizae in Gramineae. I Vesicular–arbuscular endophytes with special reference to the external phase”. *Trans. Br. Mycol.* 42:421–438.
- Nicolson T.H.** (1960) “Mycorrhizae in Gramineae. II Development in different habitats, particularly sand dunes”. *Trans Br Mycol Soc* 43:132–145.
- Niembro R. A.**, (1990) “Árboles y arbustos útiles en México” Ed. Limusa–Noriega. 26:27–205.
- Nobel S.Park.** (1998) “Los incomparables Agaves y Cactus”. Editorial Trillas. México D.F. pp. 211.
- Oropeza Orozco**, y G. Alfaro S. (1997) “Vulnerabilidad global de las zonas áridas a la desertificación”. *Geografía y Desarrollo. Revista del Colegio Mexicano de Geógrafos Posgraduados*, A. C. Núm. 15. México. Pp. 9–38.
- Panti M.M.A.** (1984) “Contribución al conocimiento del Pedregal de San Ángel sobre el problema de su flora y conservación”. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Peña B. J.C.**, (2002) “Influencia de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el establecimiento de *Mimosa biuncifera* Benth. Bajo condiciones de sequía en un invernadero. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM.64pp.

- Pierik R.L.M.** (1988) "In vitro culture of higher plants as a tool in propagation of horticultural crops". *Acta Hortic.* 230:25–40.
- Pizo M.A.,** Vond Allmen Ch. Y Morellato L.C.P. 2006. Seed size variation in the palm *Euterpe eudulis* and effects of seed predators on germination and seedling survival. *Acta ecologica*, 29:311-315.
- Rincón, E.,** Hunte y J. Ramírez (1993). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on biomass production by the cactus *Pachycereus pecten-aboriginum*. *Mycorrhiza* 3:79-81.
- Rojas A. J.D.** (2003) "Efecto de la inoculación de las MA sobre el rendimiento de maíz y haba aplicando composta y fertilización inorgánica". Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología.UNAM. Fes Zaragoza. Pag. 8:111.
- Ross, I.K.** (1979) "Biology of the Fungi: Their Development, Regulation, and Associations". New York, McGraw-Hill Book Co.
- Rzedowski G.C.,** de J. Rzedowski (2001) "Flora fanerogámica del Valle de México". 2ª ed. Instituto de Ecología. CNCB. Pátzcuaro Michoacán. 1046:35-36,252-253,257.
- Rzedowski J.** (1994) "Vegetación de México". Limusa. Noriega Editores. México. 245-248.
- Saif, S.R.** (1987). Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant Soil* 97: 25-35.
- Salisbury F.B.,** C.W. Ross (1978) "Plant physiology". Wassworh. Estados Unidos. 422 pp.
- Salisbury F.B.,** C.W. Ross (1994) "Fisiología Vegetal" Grupo Editorial Iberoamericana. México D.F. 115 pp.
- Salisbury F.B.,** C.W. Ross (2000) "Fisiología de las plantas". Ed. Paraninfo Thomson Learning. España. 909:931–985.
- Shantz H.L** (1956). "History and problems of arid lands development". En: G.F. White (dir). The future of arid lands. *Am. Assoc. Adv. Sci.* (43)3-5.
- Schreiner R.P,** Koide RT (1993) "Streptomycin reduces plant response to mycorrhizal infection". *Soil Biol. Biochem.* 25: 1131-1133.
- Schreiner RP,** Bethlenfalvay GJ (1995) "Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture". *Crit. Rev. Biotechnol.* 15:271-285.

- Schüßler** A., Schwarzott D., Walker C., (2001) “A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution”, The British Mycological Society. 105(12):1413-1421.
- Schwarzott** D., Walker C., Schüßler A., (2001) “ *Glomus* the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic”. Molecular Phylogenetics and Evolution. 21: (2). Noviembre. 190-197.
- Simancas** O. J.E., (2007), “Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), de *Azospirillum brasilense* y de su interacción sobre el desarrollo de plántulas de *Agave salmiana* var. *salmiana* en condiciones de invernadero”. Tesis de Licenciatura. UNAM. 10 – 15.
- Simon** L, Bousquet J, Levesque RC, Lalonde M (1993) “Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants”. Nature. 67:69-363.
- Smith** S y D. Read (1997) “Mycorrhizal symbiosis” Academic Press. Gran Bretaña. 606: 1-11
- Strullu** D.G. (1985) “Les mycorhizes. Handbuch der Pflanzen-anatomie”. Borntraeger, Berlin Struttgart.
- Summerbell** R.C (1989) “Microfungi associated with the mycorrhizal mantle and adjacent microhabitats within the rizosphere of black spruce”. Can. J. Bot. 67:1085–1095.
- Sylvia** D.M. (1989) “Nursery inoculation of sea oats with vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi and outplanting performnace on Florida beaches”. J. Coastal Res.5:747–754.
- Thornlwy** J.H.M. (1972) “A balanced quantitative model for root:shoot ratios and vegetative plants” Annais of Botany 36: 431-441.
- Tisdall** J.M (1991) “Fungal hyphae and structural stability of soil”. Aust. J. Soil Res. 29:729-743.
- Trejo A. D.**, Zulueta R.R., Lara C.L., (2008) “Manual de prácticas para el estudio de la simbiosis micorrizógena arbuscular” Universidad Veracruzana, México.15, 41-45.
- Van der Heijden**, M.A.G., Klironomos, J.N., Ursio M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A.& Sanders I.R. (1998) “Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69-72.
- Varma** A. (1998) “Mycorrhiza Manual”. Springer. Germany. 530:85-86
- Velasco-Molina** A. H. (1991) “Las zonas áridas y semiáridas sus características y manejo” Editorial Limusa. México. 47–66.

**Walker C.** (1997) "Spore extraction by centrifugation sugar flotation" Impreso Biological Research and Imaging Laboratory. Hampshire.Uk.

**Wilson, J.B.** (1988) "A review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models". Ann. of Bot. 61:433-449.

SITIO WEB:

1. <http://geología.igeolcu.unam.mx/LEA/Proyectos.html>
2. <http://www.fungi.org/wiki/Fungi.html>
3. <http://www.banderas.com.mx>
4. <http://148.233.168.204/pfnm/Acacia Farnesiana.html>
5. <http://www.IPNI.org/plant index plant search.html>
6. <http://www.agro.ar.szczecin.p/~jblaszkowsk>