

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

Establecimiento de plántulas de mezquite (*Prosopis laevigata*)
inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares bajo un sistema
prehispánico de riego por goteo en una zona semiárida deteriorada

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

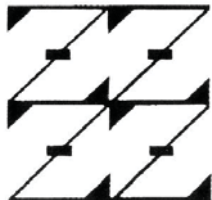
B I Ó L O G A

PRESENTA:

ITZIA PAZ CORTÉS

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA VEGETAL

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Arcadio Monroy Ata



México, D.F.

Junio de 2006

LO HUMANO:
EJE DE NUESTRA REFLEXIÓN

Investigación realizada con financiamiento de CONACYT (clave: SEMARNAT-2002-C01-668) y de la UNAM, a través de la DGAPA (Proyecto PAPIIT No. IN-235402).



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.

Dedicatoria

Frente a la fortuna de contar con grandes personas en mi vida, quiero agradecer especialmente a mi madre por su constante apoyo así como mi padre, por creer en mi.

A todos los que están aquí y los que faltaron, compañeros de muchas historias y continuas risas.

De corazón, gracias.





ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. MARCO TEÓRICO	
3.1. Zonas áridas y semiáridas	5
3.2. Micrositios y nodrizaje	7
3.3. Establecimiento	9
3.4. Herbivoría	10
3.5. Simbiosis micorrícica	11
3.6. Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)	14
3.7. HMA y restauración ecológica	15
3.8. Sistemas de riego	16
4. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	20
5. PROBLEMÁTICA	21
6. HIPÓTESIS	22
7. OBJETIVOS	23
8. ZONA DE ESTUDIO	24
9. MATERIAL Y MÉTODOS	
9.1. Colecta y preparación del suelo	27
9.2. Inóculo	27
9.3. Preparación de macetas	27
9.4. Germinación	28
9.5. Preparación del sistema de riego	28
9.6. Selección de plantas para transplante en campo	28

9.7. Selección de micrositios	29
9.8. Transplante en campo	30
9.9. Riego mensual	32
9.10. Evaluación de variables	33
9.11. Análisis de datos	34
9.12. <i>Prosopis laevigata</i>	
9.12.1. Descripción	37
9.12.2. Distribución y hábitat	38
9.12.3. Fenología	39
9.12.4. Dispersión y propagación	39
9.12.5. Importancia y problemática	39
9.12.6. Usos	40
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
10.1 Crecimiento	41
10.1.1. Altura	41
10.1.2. Pinnas	43
10.1.3. Cobertura foliar	46
10.1.4. Diámetro del tallo	48
10.1.5. Tasa relativa de crecimiento (RGR)	49
10.2. Supervivencia	50
10.3. Micorrización	57
10.4. Influencia del sistema de riego	59
10.4.1. Interacción con otras especies	61
10.4.2. Captación de agua por el mezquite	62
10.4.3. Balance económico	63

10.4.4. Ventajas y desventajas del sistema de riego	63
10.5. Nodrizaje	66
11. CONCLUSIONES	71
12. RECOMENDACIONES	72
14. ANEXOS	
I - Cuadros	73
II - Pintura ecológica	75
13. REFERENCIAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Vegetación de una zona semiárida en el Estado de Hidalgo (en primer plano *Opuntia imbricata*).
- Figura 2. Micrositio generado por *Flourensia* sp. en un agostadero semiárido del Valle de Actopan, Hidalgo.
- Figura 3. Diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos (tomado de Selosse y Le Tacon, 1998).
- Figura 4. Riego por goteo, aplicación lenta y localizada de agua, literalmente gota a gota (<http://www.fao.org/noticias/1997/970409-s.htm>, fecha de consulta: 250506).
- Figura 5. Ollas de barro elaboradas en Nuevo México, utilizadas para sistema de riego (<http://spectre.nmsu.edu/media>, fecha de consulta: 250506).
- Figura 6. Olla de barro enterrada para riego (tomada de Bainbridge, 2001).
- Figura 7. Zona de estudio, en el óvalo coordenadas de la parcela experimental: 20° 23' 28" LN y 99° 01' 22" LW.
- Figura 8. Agostadero semiárido en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo.
- Figura 9. Ejemplo de algunas macetas de PET con plántulas de (*Prosopis laevigata*).
- Figura 10. Ollas de barro preparadas antes de su colocación.
- Figura 11. Selección de plántulas en campo de los dos tratamientos.
- Figura 12. Ejemplo de ubicación de sistema de riego.
- Figura 13. Transplante de plántula a un costado del sistema de riego.
- Figura 14. Transplante en campo.
- Figura 15. Llenado de ollas de barro.
- Figura 16. Sistema de riego después de haber llenado la olla.
- Figura 17. Medición de altura mensual
- Figura 18. Dibujo del efecto del sistema de riego en el establecimiento de plántulas y el efecto de nodrizaje vegetal.
- Figura 19. Diagrama de flujo del establecimiento de *Prosopis laevigata* con un sistema de riego prehispánico por goteo.
- Figura 20. *Prosopis laevigata* (mezquite).
- Figura 21. Partes que componen una vaina de mezquite y esquema de las hojas pinnadas

compuestas del árbol del mezquite (tomado de Ramírez y Villanueva, 1998).

Figura 22. Gráfica de altura máxima promedio registrada durante el experimento. M+ es tratamiento micorrizado y M- tratamiento no micorrizado.

Figura 23. Altura máxima de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y el tratamiento M- es no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

Figura 24. Altura registrada en plántulas de mezquite en el mes de marzo de 2005.

Figura 25. Número promedio de pinnas presentes durante el experimento en cada tratamiento. M+ es tratamiento micorrizado y M- tratamiento no micorrizado.

Figura 26. Número de pinnas de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y el tratamiento M- es no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

Figura 27. Número de pinnas registradas en el mes de mayo de 2005 en plántulas de mezquite.

Figura 28. Cobertura promedio durante los meses de experimentación. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Figura 29. Cobertura foliar de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y M- es el tratamiento no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

Figura 30. Diferencias en cobertura foliar en plántulas de mezquite registradas durante el mes de marzo de 2005.

Figura 31. Crecimiento promedio del tallo durante los meses de experimentación. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Figura 32. Diámetro del tallo de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y M- es el tratamiento no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

Figura 33. Supervivencia en campo de los dos tratamientos. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Figura 34. Porcentaje de las causas de mortalidad que se presentaron durante la experimentación (herbivoría, sequía, vandalismo, herbivoría + sequía, herbivoría + vandalismo y herbivoría + sequía + vandalismo). M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Figura 35. Plántulas de mezquite impactadas por herbivoría.

Figura 36. Efecto de las causas de mortalidad por mes de experimentación. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.
s=sequía, h=herbivoría, v=vandalismo.

Figura 37. Efecto del vandalismo por habitantes de la zona los cuales extrajeron la olla

dejando las raíces de la plántula de mezquite expuestas.

Figura 38. Precipitación del año 2004 e inicio del 2005 y temperatura máxima, mínima y media del año 2004, presentes en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo.

Figura 39. Efecto de la sequía durante el establecimiento de plántulas de mezquite

Figura 40. Germinación de semillas de la zona de estudio alrededor del sistema de riego con olla de barro enterrada (fotos de a → d).

Figura 41. Establecimiento de otras plantas alrededor de la olla y de la plántula de mezquite.

Figura 42. Efecto del desarrollo radical de las plántulas de mezquite en la superficie de las ollas y área donde se colocó el sistema de riego (fotos de a → f).

Figura 43. Experimento del sistema de riego con olla de barro enterrada en un contenedor de plástico con una plántula de mezquite con tratamiento micorrizado, puesto simultáneamente con el experimento realizado en el agostadero semiárido.

Figura 44. Establecimiento de *Opuntia imbricata* a un costado de la plántula de mezquite, la cual, la esta protegiendo (a y b).

ÍNDICE DE CUADROS

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

Cuadro 2. Comparación de medias para la variable altura máxima en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Cuadro 3. Comparación de medias para la variable número de pinnas en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Cuadro 4. Comparación de medias para la variable cobertura foliar en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Cuadro 5. Comparación de medias para la variable diámetro del tallo en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Cuadro 6. Comparación de medias para la variable tasa relativa de crecimiento (RGR) en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Cuadro 7. Cuadro sintético de los resultados.

1. RESUMEN

Las zonas áridas y semiáridas de México albergan una gran riqueza de endemismos vegetales, sin embargo, la mayoría de los ecosistemas de estos ambientes presentan diferentes grados de deterioro. Por ello, en este trabajo se realizó un estudio del establecimiento de plántulas de mezquite (*Prosopis laevigata*), inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) nativos, las cuales fueron cultivadas durante seis meses en invernadero, para su posterior trasplante a la zona de estudio; este sitio es un agostadero sobrepastoreado, ubicado en el Valle de Actopan, Hidalgo, en el cual se implementó un sistema prehispánico de riego por goteo, con ollas de barro enterradas cubiertas por pintura orgánica vegetal. Las preguntas a responder con este estudio fueron: ¿La micorrización con hongos micorrizógenos arbusculares facilitará el establecimiento de *Prosopis laevigata*?, ¿Cuál será la diferencia en el desarrollo (en altura, diámetro de tallo, área foliar y número de pinnas) entre las plantas micorrizadas en relación a las no micorrizadas?. Para responder a esto, durante siete meses se realizaron registros mensuales de altura, número de pinnas, cobertura foliar, diámetro del tallo, RGR (tasa relativa de crecimiento) y supervivencia de las plantas.

Los resultados muestran que el diámetro del tallo y la RGR, en el tratamiento sin micorrizas, presentaron un mayor grosor en el tallo que en el tratamiento micorrizado. La supervivencia de *P. laevigata* fue de 30% y 26.6%, en el tratamiento micorrizado y en el no micorrizado respectivamente sin diferencias estadísticamente significativas. Las causas de mortalidad fueron herbivoría, sequía y vandalismo. Asimismo, el sistema de riego permitió el establecimiento de otras plantas alrededor de la olla y ésta fue receptora de agua de lluvia. Se concluye que las plántulas no hubieran sobrevivido sin el sistema de riego, ya que el año 2005 fue excesivamente caluroso en su primer semestre; se concluyó también que el sistema de riego es de bajo costo y eficiente, pero requiere tiempo y esfuerzo para elaborarlo y montarlo.

2. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas tienen gran importancia para México por su extensión, su potencial productivo, su biodiversidad y su diversidad cultural; sin embargo estas zonas han estado sujetas a una intensa explotación de recursos, principalmente por sobrepastoreo y pérdida de la cubierta vegetal. Por ello, es necesario comprender y revertir los mecanismos de la erosión, los cuales incrementan la degradación y sólo cambian en su índice de velocidad, de acuerdo con las características físicas, biológicas y ecológicas de la zona, las condiciones de manejo del suelo y el contexto socioeconómico del sitio (Montaño y Monroy, 2000). Es por eso que en un ambiente donde la vegetación esencialmente ha sido sobre-explotada y frecuentemente eliminada, es necesario lograr el establecimiento de plantas nativas que sean resistentes a las presiones selectivas locales; además, estas plantas deberán protegerse para lograr que lleguen a la edad adulta (Bradshaw, 1983).

Para ello la disciplina de restauración ecológica se propone proveer de bases científicamente sólidas para la reconstrucción de ecosistemas dañados o destruidos y producir sistemas autosuficientes, los cuales disminuyan en por lo menos algún grado el problema y sean resilientes, si existe daño subsecuente. El objetivo de la restauración ecológica es crear un ecosistema con las mismas especies y con las características y funcionalidad del sistema que existió previamente. Sin embargo, algunas veces la restauración *sensu stricto* no es una opción práctica (Urbanska, 1997).

Un desafío para la restauración de zonas áridas y semiáridas es el establecimiento de plantas leñosas, las cuales son benéficas pues aumentan la fertilidad del suelo y proveen de productos útiles para los humanos, además de comida y refugio para la fauna (Ross, 1990). Ha sido probado que los matorrales pueden incrementar la velocidad de infiltración de agua en el suelo mejorando su estructura, además reducen el impacto de las gotas de lluvia adicionando materia orgánica (Caravaca *et al.*, 2003). También, una serie de estudios de ecosistemas tiene evaluada la producción de leguminosas como una contribución relevante para los procesos inherentes a los ciclos de nutrientes en desiertos cálidos. Estos árboles son usados para estabilizar el suelo y sirven de rompevientos para el establecimiento de otras plantas, además de que incrementan el nivel de nitrógeno en el suelo por la fijación de nitrógeno simbiótico. Por ello, estas especies podrían ser parte de los planes de revegetación, porque es posible que puedan cultivarse en suelos deficientes en nitrógeno y además tienen efectos benéficos en varias propiedades del suelo, que son críticas para el crecimiento de las plantas (Ross, 1990).

Las leguminosas presentan una relación mutualista con hongos micorrícicos, esta simbiosis está ampliamente distribuida en el reino vegetal (aproximadamente 90% de las plantas la forman); esta asociación posibilita una mayor absorción de nutrientes, principalmente fósforo y de otros como magnesio, calcio, potasio, hierro, cobre, boro y manganeso; además, permite la tolerancia al estrés hídrico (González, 1993; Perry y Amaranthus, 1990). Aunque el papel de las micorrizas es semejante en diferentes zonas geográficas, la asociación entre las plantas y los hongos micorrícicos es particularmente importante en ambientes áridos, ya que las micorrizas de tipo arbuscular contribuyen al suministro hídrico de la vegetación, lo cual es vital para la supervivencia, en zonas donde la disponibilidad de agua para las plantas es el factor más limitante de su desarrollo (Varma, 1999). Asimismo, se estima que las hifas externas proporcionan hasta un 80% del fósforo y 25% del nitrógeno requerido por la planta. A cambio, el hongo además de

contar con un hábitat, recibe azúcares simples derivados de la fotosíntesis efectuada por el hospedero (Hernández *et al.*, 2003).

El éxito del establecimiento de plantas nativas en suelos degradados de ecosistemas semiáridos también puede ser limitado por la baja densidad de propágulos micorrícicos, los cuales son indicadores de la fertilidad del suelo, ya que contribuyen a activar el ciclo de nutrimentos (Requena *et al.*, 2001). En este sentido, el uso de micorrizas nativas, como origen del inóculo de hongos micorrícicos arbusculares (HMA), para las plantas a emplear en el repoblamiento vegetal, puede ser considerado como una estrategia de inoculación preferencial, para garantizar el reestablecimiento exitoso de especies de matorral nativas en un suelo semiárido degradado (Jasper *et al.*, 1992; Caravaca *et al.*, 2003; Azcón-Aguilar *et al.*, 2003).

El mezquite (*Prosopis laevigata*) puede crecer en forma arbórea o arbustiva en condiciones naturales, en función de la disponibilidad hídrica del suelo; esta planta constituye, junto con otras especies, el eje del proceso ecológico conocido como nodrizaje vegetal, en el cual se forma un microclima favorable para el establecimiento de otras especies vegetales, por la sombra que se genera bajo su cobertura. Este nodrizaje es el origen de la conformación de las llamadas "islas de recursos", que se caracterizan no sólo en el incremento de humedad, materia orgánica o nutrimentos del suelo, sino también por ser núcleos que concentran una alta abundancia de hongos micorrícicos arbusculares. Estas islas, en ausencia de perturbación, incrementan el nivel de fertilidad del suelo y la cantidad y diversidad de HMA, en comparación con los sitios abiertos, por lo que en agostaderos semiáridos son un elemento de equilibrio ecológico ante condiciones de perturbación (Ross, 1990; Monroy *et al.*, 2000; Montaña, 2000).

El suelo bajo el mezquite también adquiere características de textura y estructura que favorecen la formación de grandes y largas masas de raíces, lo cual permite una mayor colonización de la planta por hongos micorrícicos arbusculares, (Carrillo *et al.*, 1999). Además de que existe un incremento en el nivel de nitrógeno el cual es acumulado simbióticamente.

Sin embargo, en climas áridos y semiáridos existe poca humedad y escasas precipitaciones (a veces infrecuentes) y algunas veces impredecibles (Patr *et al.*, 1983; Fuchs, 1973), dando como resultado que el recurso agua se encuentre limitado. Por ello, es necesario implementar un sistema de riego o de cosecha de agua, a fin de poder realizar cualquier programa con fines de restauración ecológica si se pretende lograr el establecimiento de una cubierta vegetal.

El riego es una práctica de la agricultura ideada para suplir una deficiencia del clima: permite compensar el desequilibrio entre el agua suministrada por la precipitación y la demanda evaporativa de la atmósfera (Fuchs, 1973). El propósito del riego es proveer al suelo de condiciones que favorezcan la germinación de semillas, emergencia de plántulas, el desarrollo del sistema radical y suministrar agua para el uso de la planta. La humedad del suelo puede ser mantenida en un rango que permita la absorción de agua por las raíces de las plantas en una velocidad comparable a la pérdida por transpiración (Patr *et al.*, 1983). La utilización de un sistema u otro de riego, tiene por tanto gran importancia por el distinto uso que hacen del agua las plantas en ambientes áridos: escape, tolerancia y resistencia a la sequía. (Medina, 2000). El método más adecuado se elige tomando en cuenta la topografía, características del suelo, adaptabilidad de la planta, el volumen del agua disponible y, además, su costo, la facilidad para el

establecimiento del sistema de irrigación y la mano de obra que requiere (De la Peña y Llerena, 2001).

Existen diferentes sistemas de riego, pero no todos pueden ser adaptados para zonas áridas y semiáridas, porque varios representan desventajas en cuanto a funcionalidad y costo-beneficio. Tomando en cuenta lo anterior, es necesario considerar otras alternativas como es el caso del sistema de riego con ollas de barro enterradas, el cual presenta alta eficiencia y sí puede ser adaptado a estas zonas. La olla es de arcilla y es llenada con agua; por sus poros suministra el riego que aporta a las plantas que se encuentren cerca. Las ollas de barro podrían ser consideradas, en varios ambientes, como un importante método de conservación del agua. Es valioso para la producción de alimentos y para revegetación de áreas afectadas por salinidad y la restauración del medio ambiente o cuando sólo existe agua salina para el riego, para siembra directa, propagación de plantas y jardinería, entre otros. El tamaño de la olla depende del tipo de cultivo, la densidad de la plantación y el tiempo de rellenado de olla. Una de las ventajas respecto a los sistemas de riego convencionales es que, otros sistemas son muy delicados y pueden obstruirse; sin embargo, este sistema no necesita de control de presión de aire o sistemas de filtro de agua, el sistema puede ser hecho con materiales y técnicas locales disponibles, además es improbable que las ollas de barro sean dañadas por animales u obstruidas por insectos y, en algunos sistemas de riego por goteo podría ser interrumpido el suministro de agua por alguna falla en el bombeo o filtro lo que puede ocasionar serios problemas y costos en el cultivo. Por esto las ollas de barro podrían ser consideradas, en varios tipos de clima, como un importante método de conservación del agua (Bainbridge, 2001).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Zonas áridas y semiáridas

Las zonas áridas del planeta son, por definición, las áreas donde llueve muy poco o nada o donde el agua disponible para el crecimiento vegetal es escasa. La sequía es resultante de un conjunto de factores que intervienen en su génesis; la aridez no puede apreciarse sino por sus efectos debido a la vegetación (Mosiño, 1991). Además por falta de humedad existe un calor sofocante por lo que los rayos solares atraviesan la atmósfera y calientan el suelo (Maldonado, 1991). Por ello, el crecimiento de las plantas en estas áreas depende de varios factores limitantes, incluyendo la baja e irregular lluvia con frecuentes periodos de sequía, alta temperatura e intensa radiación solar, y condiciones pobres de suelo, incluyendo baja capacidad de humedad y alta velocidad de infiltración y bajo contenido de carbono orgánico (Burley, 1982).

Las zonas áridas y semiáridas están ubicadas entre los 20° y 40° de latitud en ambos hemisferios porque meteorológicamente son regiones de alta presión atmosférica, que reciben corrientes de aire descendentes totalmente deshidratadas, característica clásica de los vientos contralisios (Velasco, 1991). Estas zonas se distribuyen a lo largo de dos cinturones que pasan sobre el trópico de Cáncer y el de Capricornio, y son llamadas desiertos. Comprenden una superficie alrededor de 20 millones de kilómetros cuadrados, correspondiendo al 14% de la superficie total del planeta (Maldonado, 1991).

México, considerado como uno de los 12 países con mayor megadiversidad biológica, está conformado en un 60% de zonas áridas y semiáridas (Montaño y Monroy, 2000) que cubren parte de los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, Puebla y Oaxaca. Las zonas áridas contribuyen con una superficie mayor a los 56 millones de hectáreas y las zonas semiáridas, cubren una superficie de más de 23 millones de hectáreas (Maldonado, 1991).

Cada zona árida posee una flora característica en la que dominan determinadas especies generalmente provistas de una armadura de espinas, que además de defenderlas del ramoneo de los animales, evitan considerablemente la evapotranspiración (Maldonado, 1991); además, sus formas biológicas son funcionales para afrontar las áreas secas (Rzedowski, 1994) (ver figura 1). En México, la cantidad de asociaciones vegetales presentes es numerosa. Se estima que hay unas 4000 especies de plantas vasculares en las zonas áridas y semiáridas. En estos ambientes, la gran mayoría de estas especies tienen distribución restringida sólo a una fracción del área total afectada por el clima seco (Rzedowski, 1991). Asimismo, la flora de los matorrales xerófilos de México es rica en endemismos tanto a nivel específico como genérico y, por consiguiente, la composición está representada ampliamente por la familia Compositae que puede llegar a constituir la cuarta parte de la vegetación, y por las familias Poaceae, Cactaceae, Agavaceae y Leguminosae, esta última sobre todo en climas más calurosos.



Figura 1. Vegetación de una zona semiárida en el Estado de Hidalgo (en primer plano *Opuntia imbricata*).

El uso más frecuente de los matorrales xerófilos es el pecuario, siendo los hatos mixtos caprino-ovinos los animales más comunes en estos ambientes (Rzedowski, 1994; Montaña y Monroy, 2000). Estas actividades afectan a los ecosistemas y es así como los ecosistemas áridos y semiáridos son susceptibles de ser erosionados y altamente vulnerables a la pérdida de suelo, dadas las condiciones de marginación de las comunidades rurales que habitan estas zonas y el acelerado deterioro ecológico ocasionado por el sobrepastoreo, la apertura de nuevas tierras para la agricultura, el abandono de las mismas, los incendios y la creciente extracción de leña, entre otros factores (Bainbridge, 1990; Montaña y Monroy, 2000; Camargo *et al.*, 2003).

Es así que el crecimiento de poblaciones rurales en zonas áridas y semiáridas trae problemas exacerbados por la ganadería y la erosión que provoca el hombre debido a sus actividades, especialmente la sobreexplotación de la naturaleza en la búsqueda de recursos para su supervivencia y desarrollo (Warren *et al.*, 1996; Montaña y Monroy, 2000). Por ello es conveniente tener como marco principal además del socioeconómico la estructura y el manejo de los ecosistemas áridos y semiáridos, una propuesta que combine las técnicas ecológicas y el entendimiento de los problemas culturales (Bainbridge, 1990), que deberá enfocarse desde el punto de vista del desarrollo agrícola, ganadero o forestal, de las formas de producción y de las características de los terrenos (Montaña y Monroy, 2000).

3.2. Micrositios y nodrizaje

Las condiciones climáticas generales en las regiones áridas, son importantes ya que las plantas y los animales escapan con frecuencia a los rigores del ambiente habitando áreas reducidas con microclimas favorables (Cloudsley, 1979). El clima inmediato del organismo es con frecuencia marcadamente diferente del clima medio de la región representado por los registros meteorológicos. La consideración de este hecho ha conducido al establecimiento del concepto de microclima. Este concepto es particularmente importante en relación con la humedad, ya que ésta varía ampliamente dentro de cortas distancias en cualquier hábitat irregular (Clarke, 1975).

Las plantas presentan cierta dependencia de condiciones que parecen relacionarse principalmente con la regulación (moderación) del microclima y necesidad de los recursos agua y nutrientes alrededor de las especies vegetales que conforman el microclima (Robinson, 2003). Los micrositios proporcionan el recurso hídrico necesario para el establecimiento y crecimiento vegetal, pues tienen reservas hídricas en el suelo, la cual es aprovechada por las plantas (Bainbridge, 1990) (figura 2).



Figura 2. Micrositio generado por *Flourensia* sp. en un agostadero semiárido del Valle de Actopan, Hidalgo.

Por el término microclima se estableció el concepto de sitio seguro ("safe site"), los cuales son ambientes donde llegan por dispersión semillas o propágulos vegetativos que presentan condiciones favorables para la germinación y el establecimiento. Estos son específicos de especies y la diversidad de ellos representa una condición para el desarrollo de la riqueza de especies. Las plantas nativas generan naturalmente sitios seguros porque: 1) ellas están adaptadas para esa condición de vida en el área que será restaurada y 2) su sitio seguro puede ser definido más fácilmente que para las plantas exóticas (Urbanska, 1997).

Los sitios seguros se caracterizan por diversas combinaciones de atributos, los cuales aseguran un microclima favorable, adecuada estructura/textura del suelo, nutrimentos, contenido de agua para un rápido crecimiento radical y protección, por ejemplo contra herbívoros. Esto da como resultado un conjunto de condiciones favorables para el establecimiento de la planta y es así como los sitios seguros son una característica para la restauración (Bainbridge, 1990; Urbanska, 1997; Robinson, 2003). En el cuadro 1 se muestran algunos ejemplos de microsítios en ambientes áridos.

Las plantas y animales han desarrollado una funcionalidad fisiológica, anatómica y ecológica, como en el caso de la asociación vegetal de los árboles nodriza; llamados así porque proveen el microclima necesario para el establecimiento y supervivencia de otras plantas (Bolen, 1998).

El uso de plantas nodrizas se recomienda para un programa de restauración de zonas áridas y semiáridas, las cuales promueven microsítios apropiados para el establecimiento y crecimiento de las plantas; así, de esta manera se incrementan las posibilidades de supervivencia, en ambiente difíciles como lo son las zonas secas (Bainbridge, 1990). Bajo los árboles, la temperatura superficial en la estación del año más cálida es normalmente de 5 a 15 °C menor que en las áreas abiertas del alrededor. Dependiendo del tamaño del árbol, la arquitectura de sus ramas y densidad del follaje la radiación decrece de 40 a 70% creando un fuerte gradiente termal de manera vertical (Robinson, 2003).

Se ha visto que las especies de *Mimosa* forman islas de recursos, y no son sólo ricas en nutrimentos, además, en propágulos micorrícicos, por eso son una opción para la conservación de la biodiversidad y restauración de suelos. Esta es una de las pocas especies de plantas que han sido estudiadas en su cualidad de formadoras de islas de recursos (Camargo y Dhillion, 2003).

Una plántula en desarrollo requiere un suministro hídrico que garantice su supervivencia en la época seca, lo cual es más probable en microsítios bajo plantas adultas establecidas (Monroy *et al.*, 2000).

Las relaciones funcionales de las nodrizas no están restringidas para áreas cálidas o secas, pues ocurren frecuentemente por igual, aunque son menos espectaculares que en otros ecosistemas (Urbanska, 1997).

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

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

3.3. Establecimiento

El establecimiento puede ser definido como aquellas plántulas que después de germinar no dependen de sus hojas cotiledonares donde están contenidas sus reservas y que son capaces por sí mismas de fotosintetizar compuestos orgánicos (Torres, 2005).

Existen factores que afectan el crecimiento de las plantas, como las condiciones ambientales que es considerado como el más importante en el establecimiento. La temperatura y humedad son dos de los elementos que mayor influencia tienen en la germinación y el desarrollo subsecuente (Orozco, 1993).

La competencia entre las plantas por espacio, nutrimentos, humedad y otros factores también está influenciada por las condiciones ambientales; el nivel de competencia intra-específica es determinado por las circunstancias siguientes a la fecha de siembra, así, existe una menor competencia cuando las condiciones ambientales que siguen a la siembra son favorables y se manifiesta por un mayor incremento en el número de plantas por unidad de superficie, en el diámetro de las raíces, el número de hojas por planta, la altura sobre la última hoja y la producción de materia seca por planta y por lo tanto en un mayor éxito durante la fase de establecimiento (citado en Orozco, 1993).

El establecimiento exitoso de las plantas, puede ser promovido por la selección de especies que presenten un alto grado de vigor durante la etapa de establecimiento. Durante esta etapa, la competencia entre individuos de la misma especie y de diferentes especies puede ser muy intensa y resultar en la pérdida de muchas plántulas, por lo que

bajo condiciones ambientales desfavorables, solo aquellas plántulas vigorosas podrán sobrevivir. Las especies que tienen altas tasas de germinación, enraizamiento, crecimiento rápido del vástago y resistencia al estrés, son referidas como vigorosas (Orozco, 1993).

El establecimiento de especies nativas sirve para restaurar las características de biodiversidad y prevenir el proceso de erosión y desertificación de zonas semiáridas (Caravaca *et al.*, 2003), por lo que el desarrollo rápido de un sistema radical suficiente para tomar agua y nutrientes para la plántula, es una prioridad, más que el desarrollo del vástago, para que las plántulas alcancen el establecimiento (Orozco, *op. cit.*).

Existen básicamente tres condiciones que garantizan el éxito en el establecimiento de las plántulas:

a) plántulas vigorosas (adaptadas); b) competencia reducida y c) ambientes favorables. No es necesario que se cumplan las tres condiciones, ya que dependerá del ambiente y de las posibilidades para modificarlo (Orozco, 1993).

Se sabe que los hongos micorrizógenos arbusculares contribuyen con el aumento en el crecimiento de especies nativas de matorral en un corto periodo de tiempo, el cual cambia a crear un medio ambiente más favorable para el desarrollo del proceso del ecosistema. Es por ello que es necesaria la simbiosis micorrícica para el éxito en el establecimiento y crecimiento de plantas en un área degradada (Caravaca *et al.*, 2003).

El cuidado de la planeación y el conocimiento de las características del suelo y las condiciones del medio ambiente para la revegetación de zonas áridas son clave para el éxito del establecimiento puesto que se imitan los eventos del establecimiento natural. Para el caso de las plantas leguminosas esto significa que la humedad debe estar disponible en el suelo para promover el desarrollo radical y la formación de asociaciones simbióticas en las raíces (donde se recomiendan los hongos micorrícicos arbusculares). Para esto es necesario inocular los cultivos con raíces colonizadas antes de la plantación para promover el crecimiento rápido en suelos deficientes de nutrientes. Los efectos benéficos de las leguminosas en la fertilidad del suelo (fijación de nitrógeno) y propiedades físicas y químicas del suelo, entre otras, es garantía de su uso para la restauración de sistemas desérticos perturbados (Ross, 1990).

3.4. Herbivoría

Los herbívoros son los animales que se alimentan de plantas, lo cual es sólo un tipo especial de actividad predatoria. Sin embargo, como las plantas son sésiles, desarrollan mecanismos contra el ataque de los herbívoros (Krebs, 1985, Strauss y Agrawal, 1999) pues las plantas poseen defensas químicas y estructurales diversas que desalientan la actividad predatoria. Ejemplos de ello son muchas sustancias secundarias de las plantas, almacenadas en estructuras específicas y a las que los herbívoros han respondido mediante modificaciones en sus ciclos vitales o con la producción de enzimas para detoxificarse.

Los herbívoros suelen competir por las plantas como alimento, pero también se facilitan mutuamente la alimentación, ya que en algunos casos el apacentamiento hace que se incremente la producción de plantas, debido al proceso conocido como

dominancia apical, donde la hormona auxina esta involucrada en la inhibición del crecimiento de yemas laterales por las terminales (Greulach y Edison, 1990). Los sistemas de apacentamiento suelen incluir muchas especies de herbívoros, de tamaños muy diversos, que comen las mismas plantas.

Algunos herbívoros son capaces de afectar la densidad y la productividad futuras de las plantas de que se alimentan, por lo que los herbívoros muy eficaces provocan su propia extinción a menos que se dispongan de alguna restricción que impida la explotación excesiva de las plantas en que ejercen su actividad predatoria. Al parecer, la mayor parte de los sistemas de plantas y herbívoros presentan un equilibrio fluctuante, y algunas poblaciones de herbívoros vigilan su provisión de alimentos, por lo que las grandes fluctuaciones en estos últimos con frecuencia se traducen en un efecto semejante a la densidad de herbívoros (Krebs, 1985). La habilidad para la tolerancia a la herbivoría es resultado de diversas respuestas de la planta y su historia de vida (Strauss y Agrawal, 1999).

La herbivoría es generalmente fácil de compensar después del establecimiento de plantas, y si aún no se han establecido pueden ser poco tolerantes a la primera herbivoría porque la fase de establecimiento es crítica para la supervivencia (Strauss y Agrawal, 1999).

La tolerancia a la herbivoría es tratada generalmente como una sola característica. En cuanto a la resistencia, los diferentes géneros de herbívoros tienen diferentes efectos en la respuesta de la planta y esto consecuentemente con su salud (Strauss y Agrawal, 1999). Los efectos en los costos del medio ambiente son particularmente importantes cuando el mecanismo de resistencia depende de condiciones medioambientales (Purrington, 2000).

Muchos estudios sostienen la noción de que en las primeras estaciones la herbivoría y baja competencia entre plantas está positivamente asociada con la alta tolerancia. La competencia vegetal puede reducir la tolerancia no solo porque la competencia reduce los recursos del suelo, sino también porque la pérdida de dominancia apical puede estar particularmente en detrimento en medios ambientes competitivos donde la luz es limitada (Strauss y Agrawal, 1999).

3.5. Simbiosis micorrícica

De los diferentes organismos que benefician las plantas, se conoce más acerca de los hongos micorrícicos. Se piensa que aproximadamente el 90% de las plantas forman micorrizas (Perry y Amaranthus, 1990). Las asociaciones micorrícicas son cosmopolitas por su presencia en la mayoría de los hábitats naturales terrestres y generalistas por el amplio número de familias de plantas susceptibles de ser micorrizadas (Hernández *et al.*, 2003). Estos hongos son encontrados en casi todos los ecosistemas terrestres, pueden estar presentes no sólo en zonas pioneras o medios ambientes muy salinos y tiene reputación de ser los segundos más grandes componentes de biomasa de muchos ecosistemas terrestres (Varma, 1999). Por ello la micorrización es considerada como la norma en los ambientes naturales (Hernández *et al.*, *op. cit.*). Aunque el papel principal de las micorrizas es el mismo en todas las zonas geográficas, el beneficio es de alta relevancia para la asociación en zonas áridas (Varma, 1999).

Se estima que las hifas externas proporcionan hasta un 80% del fósforo y 25% del nitrógeno requeridos por la planta. A cambio, el hongo además de contar con un hábitat, recibe azúcares simples derivados de la fotosíntesis efectuada por el hospedero. Se ha señalado que una gran cantidad de hongos micorrizógenos asociados con especies vegetales reciben del 4 al 20% de carbono almacenado por la planta (Hernández *et al.*, 2003). Perry y Amaranthus (1990) mencionan que dependiendo del medio ambiente en el cual ellos se encuentren pueden desviar hasta un 80% o más de carbono neto fijado en la fotosíntesis para los procesos bajo el suelo. Algo de este carbono irá para el crecimiento de la raíz; de cualquier modo, una proporción relativamente alta puede ser usada para alimentar los hongos micorrícicos y otros organismos. Esta no es energía que pierde la planta. Por el contrario, los organismos viven en la rizósfera (zona de influencia de la raíz) y, aumentan el crecimiento de la planta por efecto de un aceleramiento en el ciclo de nutrimentos, limitación de patógenos, aireación del suelo y captación de agua.

La simbiosis micorrícica, en la mayoría de condiciones experimentales, benefician a la planta hospedera. Esto se demuestra a menudo por la comparación del crecimiento de plantas inoculadas y no inoculadas en suelo estéril. Al final del experimento, las plantas micorrizadas exceden en tamaño respecto a las no micorrizadas. La magnitud del crecimiento de las micorrizadas responde dependiendo fuertemente en tales factores como las especies de plantas, las especies de hongos y fertilidad del suelo. La micorriza puede mejorar mucho la relación de absorción de fósforo y ciertos micronutrimentos, especialmente cobre y zinc (St. John, 1990).

De acuerdo con el grado de penetración del hongo en la raíz del hospedero Harley y Smith (1983) dividieron a las micorrizas en tres grupos: ectomicorriza, ectendomicorriza y endomicorriza. De acuerdo con los hongos y plantas que se asocian se subdividió a la ectendomicorriza en arbutoide, monotropoide y ectendomicorriza, y a la endomicorriza en ericoide, orquideoide y arbuscular (figura 3).

La ectomicorriza presenta un manto fúngico denso que cubre exteriormente a la raíz, intercelularmente penetran las hifas y dan lugar a la red de Harting.

La ectendomicorriza presenta manto fúngico laxo, red de Harting y penetración intracelular escasa; se dividen en: a) arbutoide: el hongo forma un manto, red de Harting e hifas intercelulares; b) monotropoide: el hongo forma un manto fúngico, hifas intracelulares e intercelulares y, c) ectendomicorriza: el hongo forma en algunos casos un manto, presenta hifas intercelulares e intracelulares, llamadas estas últimas pelotones fúngicos.

La endomicorriza presenta hifas externas que exploran el suelo y penetración de hifas intracelular e intercelularmente, no hay un manto fúngico ni red de Harting; se dividen en: a) arbuscular: el hongo penetra intracelularmente e intercelularmente y forma arbuscúlos y vesículas, incluso su nombre describe las estructuras que forma; b) ericoide: el hongo penetra intracelularmente e intercelularmente y forma enrollamientos hifales llamados ovillos y, c) orquideoide: el hongo penetra intracelularmente e intercelularmente y forma enrollamientos hifales llamados ovillos.

Con mucho, la mayoría de las especies de plantas micorrizadas forman micorrizas arbusculares (Harley y Smith, 1983; Perry y Amaranthus, 1990)

Las plantas con ectomicorrizas son casi exclusivamente para leñosas perenifolias, incluyendo, en particular, miembros de las familias *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Ericaceae* y *Dipterocarpaceae* (Perry y Amaranthus, 1990).

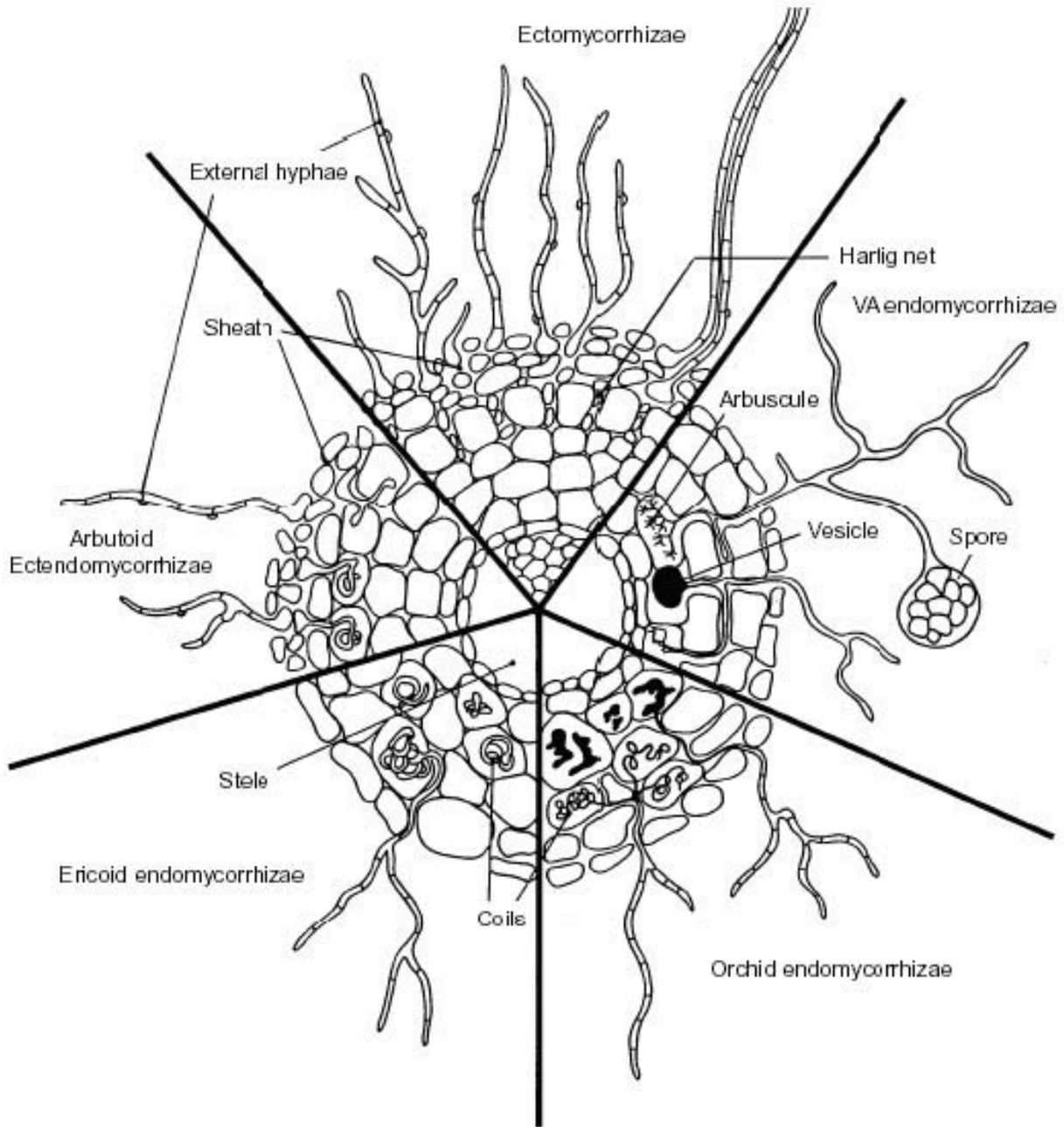


Figura 3. Diferentes tipos de colonización producidos por los hongos micorrizógenos (tomado de Selosse y Le Tacon, 1998).

3.6. Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA)

Esta relación simbiótica está ampliamente distribuida en el reino vegetal, la asociación posibilita, mediante mecanismos bioquímicos, una mayor absorción de nutrimentos, principalmente fósforo y además magnesio, calcio, potasio, azufre, fierro, cobre, boro y manganeso. La asociación también permite tolerancia al estrés hídrico. Asimismo, la asociación endomicorrícica influye en el crecimiento de plantas, ciclo de nutrimentos y composición microbiana de casi todos los suelos (González, 1993).

Los HMA tienen un abastecimiento constante directo de C orgánico desde su hospedero. Sus hifas parecen permanecer viables por mayor tiempo, por lo que su participación en la estabilidad de agregados se considera de gran importancia. De la longitud hifal en el suelo, los HMA contribuyen con una elevada proporción

Los procesos por los cuales los HMA participan en la agregación del suelo serían: 1) enlazamiento físico por desarrollo extensivo de las hifas externas en el suelo para crear un esqueleto estructural que participa en la adherencia de partículas del suelo; 2) enlazamiento químico, debido al mucigel (glomalina) que las hifas producen y excretan en las raíces colonizadas y en el suelo; 3) generación de condiciones adecuadas para el desarrollo de raíces e hifas externas; 4) envolvimiento de microagregados en macroagregados pequeños y la creación de la estructura del macroagregado; 5) protección contra los procesos de excesivo secado y humedecimiento de los agregados de los diferentes niveles jerárquicos, debido al carácter hidrofóbico de la glomalina y 6) creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de otros microorganismos de la rizosfera que están involucrados en la formación y estabilidad de agregados (González *et al.*, 2004).

Los HMA no son específicos de una especie o de un grupo vegetal particular, sin embargo, la planta hospedera sí tiene una respuesta diferencial dependiendo de la especie de hongo que la colonice y también la misma especie de hongo puede estar asociada por ejemplo con helechos, palmeras, vegetales de jardín, etc. (Hernández *et al.*, 2003; St. John, 1990). Por ejemplo el crecimiento de los árboles está afectado por la densidad y la composición del inóculo de HMA (Allen *et al.*, 2003). También se ha visto que las especies de plantas dominantes del Desierto de Chihuahua presentan dos sistemas estratégicos en sus raíces, que dependen de la historia de vida de las especies. Las plantas que son perennes tienen raíces primarias y secundarias y dependen del espesor que provocan en sus raíces los HMA y en las anuales que presentan raíces delgadas es rara la infección con HMA. Las anuales son efímeras y pequeñas tendrían un costo mayor mantener la simbiosis, en cambio las perennes tienen crecimiento lento y el costo del mantenimiento de la micorriza sólo es en tiempo crítico (Collier *et al.*, 2003).

Las malezas, especialmente las anuales, frecuentemente no forman micorrizas ni de uno ni de otro tipo o se hacen pero sólo ocasionalmente (esto es probablemente porque las anuales completan su ciclo de vida que es breve durante periodos favorables y no tienen que sobrevivir por ejemplo sequía, por lo que no requieren de la micorrización. La pérdida de organismos rizosféricos es importante debido al sobrepastoreo y probablemente contribuye a la conversión extensa de plantas perennes por anuales (Perry y Amaranthus, 1990).

La terminología mas apropiada para describir las asociaciones de los hongos micorrícicos arbusculares dependen particularmente de la filogenia estructural o funcional

usada para clasificar sus componentes. Los hongos micorrícicos arbusculares pertenecen a un orden (Glomales) que contiene cerca de 150 especies dentro de los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Archaeospora* y *Paraglomus*, divididos en 5 familias (Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Archaeosporaceae y Paraglomaceae). La más reciente de las clasificaciones basada en evidencias moleculares, coloca a los HMA en el nivel de Phylum, denominado Glomeromycota, más relacionado con Basidiomycota y Ascomycota que con Zygomycota (Morton, 2001; Schüßler, *et al.*, 2001; Brundett, 2004).

3.7. Hongos micorrizógenos arbusculares y Restauración Ecológica

La restauración ecológica es una rama de la ciencia ecológica encargada de reconstruir la estructura y la funcionalidad de ecosistemas deteriorados, hasta llegar a un nivel de maduración y de complejidad tal que se obtenga un sistema autoorganizativo e independiente de insumos o trabajos de mantenimiento de origen humano. Actualmente, se efectúan programas de restauración ecológica aplicando conocimientos fundamentales, como la germinación, el establecimiento vegetal, la sucesión ecológica, la simbiosis hongo-raíz vegetal, entre muchas otras (Monroy, 2002).

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

Existen varios métodos para la restauración, los cuales están siendo probados, como la plantación de especies vegetales y promoción de procesos de sucesión ecológica y es aquí donde las micorrizas son un componente importante para este fin, ya que pueden cambiar el funcionamiento de suelos perturbados y así lograr la supervivencia y crecimiento de la vegetación; es por esto que la inoculación con hongos micorrizógenos arbusculares puede ser la llave en los procesos de restauración (Harker *et al.*, 1993; Allen *et al.*, 2003). Es así que los HMA ayudan a convertir los suelos áridos en suelos fértiles y productivos (Raman y Mahadevan 1996). Puesto que la adición de inóculos micorrícicos para el suelo deficiente de nutrimentos y micoflora, incrementa la supervivencia y resistencia al estrés hídrico y contribuye a la agregación de partículas de suelo (Jasper, 1994). Además de que los HMA tienen la habilidad de aumentar el transporte de agua en las plantas, incrementando también la captación de varios nutrimentos y la habilidad de las plantas para amortiguar altas temperaturas (Rao y Tak, 2002).

Por ello es una meta la introducción de plantas nativas asociadas con una comunidad de simbiontes microbianos, como herramienta biotecnológica exitosa para así

recuperar ecosistemas desertificados (Requena *et al.*, 2001), porque en particular la desertificación reduce la diversidad y potencial del inóculo de uno de los más importantes mutualismos simbióticos de las plantas (citado en Ferrol *et al.*, 2004).

La simbiosis micorrícica formada entre raíces de plantas y los hongos micorrizógenos arbusculares, del orden de los Glomales, interesa a estudiosos de la ecología porque tiene una potencial influencia en los procesos ecológicos, determinando la diversidad de esta asociación simbiótica en las plantas de comunidades naturales además de la capacidad del hongo de presentar una alta variedad de respuestas sobre el crecimiento de especies vegetales con las que coexisten (Varma, 1999).

3.8. Sistemas de riego

Para hacer posible que prevalezcan los asentamientos humanos en tierras áridas, debe existir un avance considerable en el control, transporte y almacenamiento del agua. En algunas regiones desérticas o semidesérticas, el agua superficial que proviene de las precipitaciones pluviales constituye la única fuente de agua dulce. En otras áreas, estas precipitaciones no revisten tanta importancia porque gran parte de ellas se evapora antes de que caiga la siguiente. El beneficio que puede llegar a producir depende fundamentalmente del tipo de terreno (Deming, 1979).

El riego es una práctica de la agricultura ideada para suplir una deficiencia del clima: el desequilibrio entre el agua suministrada por la precipitación y la demanda evaporativa de la atmósfera (Fuchs, 1973).

Las definiciones clásicas de riego hablan de un medio de aplicar agua artificialmente a los cultivos para complementar la acción de la lluvia, sin embargo, la definición es demasiado general, pues además, hay que poner el agua a disposición de la planta para que ésta pueda aprovecharla mejor. De esta forma surgió una definición más concreta del riego, como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que ésta pudiera ser utilizada al máximo. La utilización de un sistema u otro de riego, tiene por tanto gran importancia por el distinto uso que hacen del agua (Medina, 2000).

Tomando en cuenta que cuando se maneja mal alguno de los diferentes sistemas de riego que existen, pueden causar diversos problemas que impactan en el medio ambiente como por ejemplo, salinización e inundaciones reduciendo el rendimiento de las cosechas. (<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/p-cap10.html> fecha de consulta: 250506)

Sin embargo, existen técnicas que son resultado de combinar adelantos revolucionarios de la ciencia de la irrigación logrados en los últimos decenios, con tecnologías tradicionales utilizadas con éxito durante siglos. De esta manera es posible mantener condiciones de humedad del suelo casi óptimas (eliminando así los problemas de anegamiento y salinización, a la vez que se economiza agua) a lo largo del ciclo agrícola, respondiendo continuamente a las variables condiciones del clima y del crecimiento de los cultivos (<http://www.fao.org/noticias/1997/970409-s.htm> fecha de consulta: 250506). Deming (1979) y De la Peña y Llerena (2001) mencionan que el método de irrigación bajo la superficie también llamado drenaje controlado; el cual trata de mantener el agua de la capa freática en un nivel constante y suficientemente bajo como

para permitir una buena aireación de las raíces del cultivo, pero lo suficientemente alto como para permitir el ascenso del agua a las raíces, por capilaridad es muy eficiente y es aquí donde una técnica ancestral de riego por ollas de barro enterradas con dichas características ha reaparecido, y su reintroducción está beneficiando a muchas personas (figura 4). Aunque no es propiamente un drenaje controlado, pues en algún momento el sistema puede azolverse y limitar el riego, o porque no se sabe cuanta agua aportan los poros de la olla, por ello tiene características distintas a los sistemas de riego comerciales.

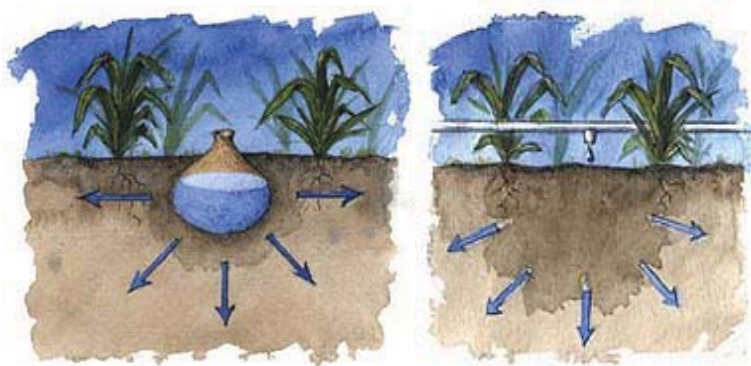


Figura 4. Riego por goteo, aplicación lenta y localizada de agua, literalmente gota a gota (<http://www.fao.org/noticias/1997/970409-s.htm> fecha de consulta: 250506).

El sistema es sencillo y eficiente además de ser antiguo, el cual desapareció de Nuevo México hace décadas al modernizarse los métodos de riego, pero fue ampliamente usado por los hispanos y los pueblos indígenas (<http://spectre.nmsu.edu/media>, fecha de consulta: 250506). También existen datos sobre este sistema que lo practican los campesinos tradicionales del Norte de África y el Medio Oriente así como los aztecas en México. El barro se mantiene poroso porque no tiene laca encima, dejando que el agua trasmite lentamente por las paredes de la olla. De esa forma, riega directamente las raíces de las plantas, porque las raíces empiezan a crecer alrededor de la olla para absorber el agua. El cuello y la boca de las ollas quedan por encima del suelo para volver a llenar la olla cuando baja el agua. Este sistema elimina casi por completo la pérdida de agua por evaporación y derrame que ocurre con los métodos modernos de riego, permitiendo que las plantas absorban cerca del 100% del líquido (<http://spectre.nmsu.edu/media> fecha de consulta: 250506). Se encuentran diferentes tipos de ollas y uno muy eficiente, el cual se elabora en nuevo México se muestra en la siguiente imagen (figura 5).



Figura 5. Ollas de barro elaboradas en Nuevo México, utilizadas para sistema de riego (<http://spectre.nmsu.edu/media>, fecha de consulta: 250506).

Este sistema presenta varias ventajas: primero, no se obstruye fácilmente; segundo, las ollas de barro enterradas no necesitan de control de presión de aire o sistemas de filtro de agua; tercera, pueden ser hechas con materiales y técnicas locales disponibles; cuarta, es menos posible que sean dañadas por animales u obstruidas por insectos; y finalmente, algunos sistemas de riego por goteo podría ser interrumpido el suministro de agua por alguna falla en el bombeo o filtro lo que puede ocasionar serios problemas y costos en el cultivo, en cambio el sistema de ollas de barro puede requerir de agua sólo una vez a la semana (figura 6).

Un punto muy importante es que este sistema podría ser adaptado para zonas áridas y semiáridas donde el agua es el factor limitante pues las ollas de barro o simplemente, donde quiera, como un importante método de conservación del agua. Es valioso para la producción de alimentos y para revegetación de áreas afectadas por salinidad o cuando sólo existe agua salina para el riego (Bainbridge, 2001).

De las sales del suelo, sólo una pequeña fracción es absorbida por las plantas. Tampoco son transportadas a la atmósfera por evaporación. Por ello tienden a acumularse en las zonas en que se produce un descenso de humedad, es decir en la proximidad de las raíces y en la superficie del suelo. A medida que las plantas extraen el agua del suelo aumentan la concentración de las sales presentes en la solución del suelo y en ocasiones se produce su precipitación. Para eliminarlas hay que recurrir al lavado, que las arrastra lejos de la masa radicular. El control de las sales en el suelo, para que la zona radicular se mantenga a niveles aceptables, está relacionado con el manejo del agua del riego (Medina, 2000).

Aun cuando el agua sea abundante y bastante pura, debe cuidarse que su uso no perjudique a las cosechas, por minerales disueltos en el suelo y en el agua. La sal que contiene el agua de irrigación, puede destruir la fertilidad del suelo y el remedio consiste en controlar el nivel de salinidad en las aguas de irrigación, para que no sea mayor que el requerido, disponiendo de agua de lluvia o de calidad (después de la época de irrigación), o bien, de un drenaje funcional que filtre las sales acumuladas en el suelo y permita conducir las a niveles más profundos de las capas subterráneas, porque el agua sirve como vehículo de transporte a través del suelo, de los elementos necesarios para la planta, de forma que la absorción de los mismo la realiza disueltos en dicho líquido; pero a su vez el agua en su recorrido desde el punto de captación hasta que se aplica a las

plantas, se va cargando de sales que se aportan al terreno y que por tanto pueden ser diferentes que las que éste contiene (Medina, 2000; Deming, 1979).

Por ello, este sistema de riego de ollas de barro enterradas es efectivo contra la salinidad, y además, para favorecer el establecimiento de árboles y la restauración del medio ambiente, para siembra directa, propagación de plantas y jardinería, entre otros (Bainbridge, 2001).

El agua que libera la olla de barro es ayuda a asegurar la germinación de las semillas en zonas calurosas y secas; además, provee estabilidad en plantaciones jóvenes durante periodos de temperaturas altas, baja humedad y desecación por el viento.

El tamaño de la olla depende del tipo de cultivo, la densidad de la plantación y el tiempo de rellenado de olla. Dos a cinco litros es conveniente y generalmente disponible. De diez a veinte litros puede ser recomendable para plantas perennes o con largos intervalos de riego (Bainbridge, 2001).

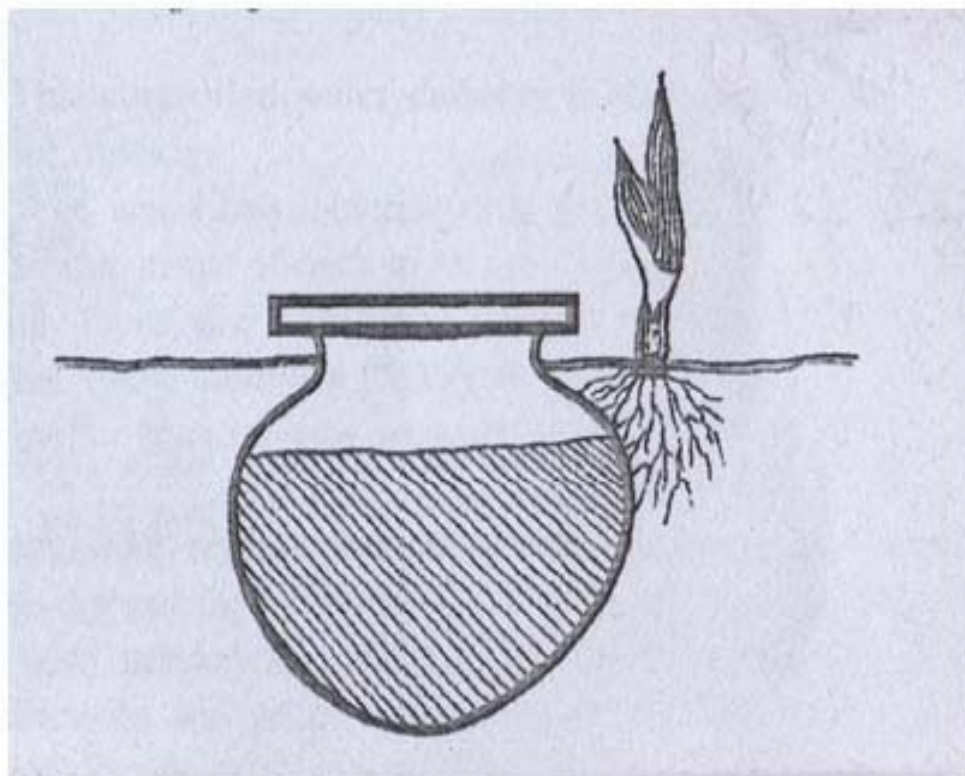


Figura 6. Olla de barro enterrada para riego (tomada de Bainbridge, 2001).

El método más adecuado se elige tomando en cuenta la topografía, características del suelo, adaptabilidad de la planta, el volumen del agua disponible, y además, su costo, la facilidad de su establecimiento y la mano de obra que requiere (De la Peña y Llerena, 2001).

4. JUSTIFICACION CIENTÍFICA

Las zonas áridas y semiáridas ocupan entre el 50 y 70 % del territorio nacional y gran parte de ellas han sido perturbadas por la incidencia continua de prácticas inmoderadas e inadecuadas de explotación de los recursos (agua, suelo y biota), mediante la ganadería y agricultura entre otros, que trae como consecuencia suelos erosionados, baja fertilidad, grave deterioro de su cubierta vegetal y, por consecuencia bajo nivel de vida de los pobladores. Por ello, recuperar la cubierta vegetal de estas zonas es una tarea prioritaria implementando métodos conocidos para repoblar las áreas perturbadas. Se sabe que el factor limitante de las zonas áridas y semiáridas es el agua además de las altas temperaturas, que inhiben el establecimiento de los organismos vegetales, por lo que en este trabajo se pretende realizar el establecimiento de plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*), cuya importancia en el desarrollo de estas zonas es fundamental pues fue una especie dominante en el Valle de Actopan, Hidalgo, además de que se sabe que el mezquite bajo su dosel provee sombra y modera la temperatura superficial del suelo, retiene el suelo, es efectiva como nodriza y por lo tanto formador de islas de recursos. Asimismo, conociendo lo conveniente de usar hongos micorrizógenos arbusculares nativos para la restauración ecológica de sitios perturbados, se usarán plantas de mezquite micorrizadas y su testigo, para evaluar el papel de esta asociación mutualista en el establecimiento vegetal, además de hacer uso de un sistema prehispánico de riego por goteo mediante ollas de barro enterradas, para lograr el desarrollo de las plantas evitando el estrés hídrico. Esta metodología es técnicamente viable en un agostadero deteriorado, por lo que en este trabajo se implementó este sistema de riego con fines de restauración ecológica.

5. PROBLEMÁTICA

La perturbación de las zonas áridas y semiáridas ha ocasionado baja regeneración de la cubierta vegetal provocando erosión, infertilidad y pérdida de la flora característica donde el mezquite es un componente dominante. Por ello los hongos micorrizógenos arbusculares pueden ser de gran importancia para lograr el establecimiento de las plantas inoculadas e incrementar la probabilidad de supervivencia, disminuyendo el estrés hídrico, por lo que se plantean las siguientes preguntas en relación a un lote de plantas de seis meses de edad de *Prosopis laevigata*, micorrizadas y no micorrizadas, transplantadas a un agostadero semiárido:

¿La micorrización con hongos micorrizógenos arbusculares facilitará el establecimiento de *Prosopis laevigata*?

¿Cuál será la diferencia en el desarrollo (de altura, diámetro de tallo, área foliar y número de pinnas) entre las plantas micorrizadas en relación a las no micorrizadas?

6. HIPÓTESIS

La simbiosis de los hongos micorrícicos arbusculares con las especies vegetales favorece significativamente el desarrollo vegetal, incrementando su establecimiento y supervivencia, por lo que al utilizar hongos micorrizógenos arbusculares nativos para inocular plantas de *Prosopis laevigata* (especie característica de zonas áridas) se obtendrá mejor crecimiento y establecimiento, además de evitar el estrés hídrico propio de las zonas áridas y semiáridas mediante la implementación de un sistema de riego con ollas de barro enterradas.

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo General

Lograr el establecimiento de *Prosopis laevigata* en una zona semiárida deteriorada mediante el uso de hongos micorrizógenos arbusculares y un sistema de riego prehispánico de ollas de barro enterradas, con fines de restauración ecológica.

7.2. Objetivos particulares

- ✓ Evaluar el desarrollo vegetal mediante: altura máxima, diámetro medio del área foliar, diámetro del tallo, número de pinnas y tasa de crecimiento del tallo de plantas inoculadas y no inoculadas en campo.
- ✓ Determinar el efecto de los HMA en el crecimiento, establecimiento y supervivencia de *Prosopis laevigata* en campo.
- ✓ Determinar las causas de la mortalidad de las plántulas de mezquite.
- ✓ Analizar la operatividad del sistema de riego prehispánico de ollas de barro enterradas, para lograr el establecimiento de *Prosopis laevigata* en un periodo de sequía.

8. ZONA DE ESTUDIO

El valle del Mezquital se ubica dentro del límite sudoeste del estado de Hidalgo (20° 02' longitud norte y 99° 15' longitud oeste). Está situado en lo alto de la meseta mexicana a 60 km de la Ciudad de México, con una latitud entre 1640 a 2400 m sobre el nivel del mar. Está conformado por 27 municipios de los 84 que conforman el estado de Hidalgo. Presenta condiciones de zona semiárida, clima de semiseco a seco, temperatura mayor de 20° C y presencia de lluvias menos a 700 mm anuales. La agrupación vegetal más abundante es el matorral xerófilo.

Se encuentra dentro de dos provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico (95% del Valle) se subdivide en dos subprovincias: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y Lagos y Volcanes de Anáhuac, dentro de la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo se encuentra el valle del Mezquital que presenta un corredor, inferior a los 2000 msnm, de lomeríos bajos de material volcánico y llanuras. Aparte de ciertas prominencias dentro de dicho corredor, queda prácticamente encerrado, desde todos lados, por sistemas de sierras, mesetas, lomeríos, casi todos de origen volcánico, que exceden los 2000 m. Esta subprovincia, sustenta un mosaico edáfico más o menos homogéneo; sobre las sierras dominan los suelos someros y en las llanuras son generalmente profundos.

La convergencia de estas dos provincias fisiográficas otorga a la región un mosaico de sustratos geológicos de naturaleza caliza por parte de la Sierra Madre Oriental e ígneos por el Eje Volcánico Transversal. (Vázquez, comun. personal).

Respecto a su vegetación predominan actualmente, aparte de los campos cultivados, arbustos espinosos, como el nopal, el garambullo, el huizache, el cardón, la biznaga, el orégano, la palma y otros agaves fibrosos, como la lechuguilla y el maguey. Entre los árboles no espinosos predominan el pirul, y el mezquite que da su nombre al Valle estudiado, pero la planta más generosa siempre es el maguey, útil en muchos aspectos (Tranfo, 1989).

El agostadero donde se realizó la experimentación pertenece al Valle de Actopan, subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, ubicado en el Municipio de Santiago de Anaya. Específicamente el Valle de Actopan se localiza entre los 20° 21' y 20° 25' de latitud Norte y entre los 98° 55' y 99° 06' de longitud oeste, con una altura promedio de 1950 m. s. n. m. mientras que el agostadero bajo estudio presenta las coordenadas: 20° 23' 28" LN y 99° 01' 22" LW, con una altitud de 2038 m.s.n.m. (figura 7).

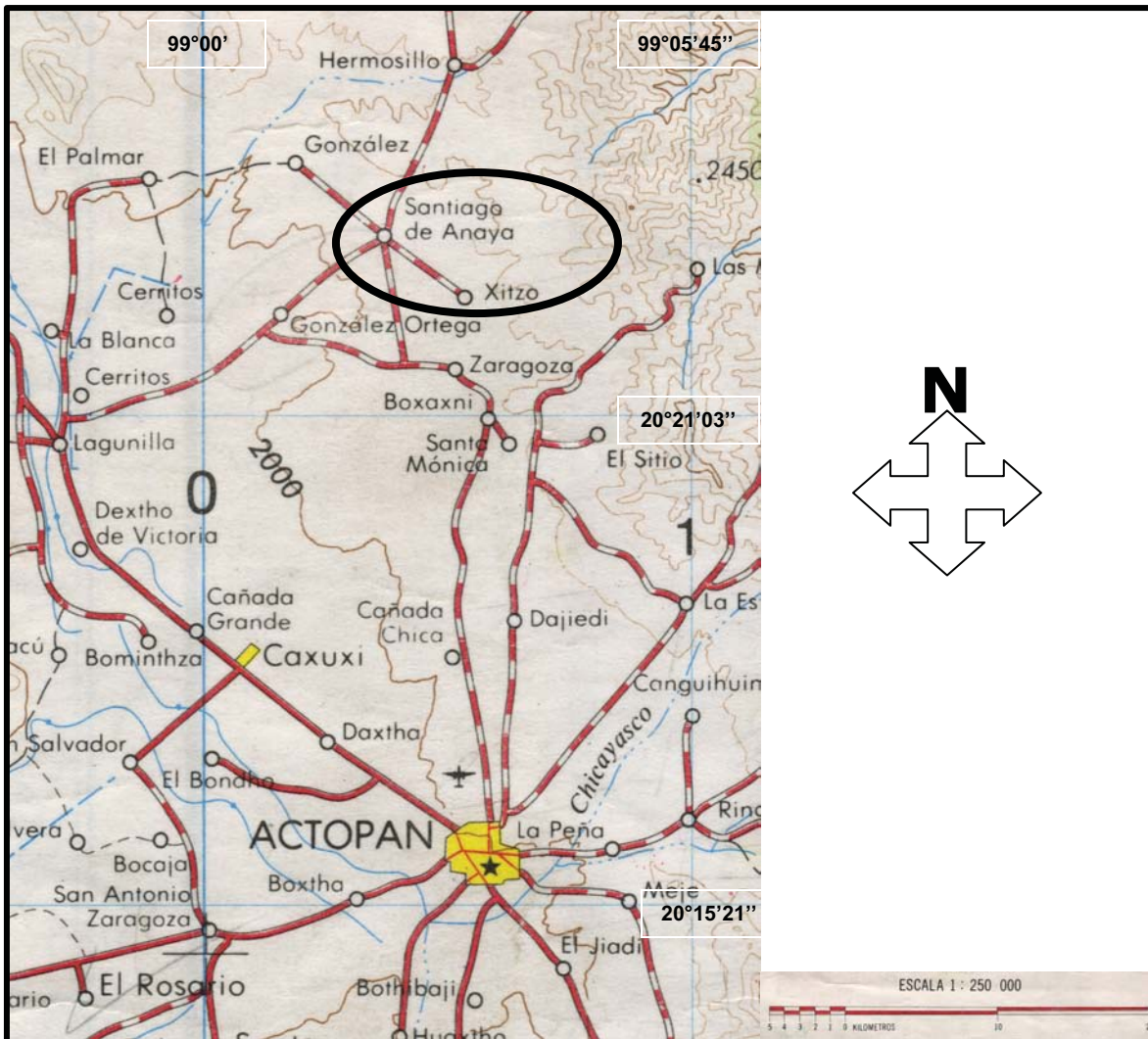


Figura 7. Zona de estudio, en el óvalo coordenadas de la parcela experimental:
 $20^{\circ} 23' 28''$ LN y $99^{\circ} 01' 22''$ LW

El clima de esta región es semiárido templado, con régimen de lluvias de verano, con un periodo de sequía intraestival, una precipitación media anual de 550 mm concentrada en los meses de junio a septiembre, existiendo periodos de sequía que van desde los 6 a los 8 meses. La temperatura media anual es de 16° y 20° C.

El tipo de vegetación es un matorral xerófilo con elementos de matorral espinoso rosetófilo y crasicalescente (Rzedowski, 1994) y actualmente mediante percepción remota se sabe que el sitio presenta matorral subinermes (comunidades que se encuentran entre un matorral rosetófilo y un matorral inermes (Vázquez, comun. personal). Antiguamente la especie dominante fue el mezquite (*Prosopis laevigata*), el cual crece en forma arbustiva y arbórea (figura 8).

Las características de este suelo es de textura franco arcillosa (27% limo, 35% arena, 38% arcilla), contiene 2.93% de materia orgánica, tiene un pH de 8.4, una

concentración de 15 ppm de N, 13 ppm de P, 181 ppm de K y una conductividad eléctrica de $0.18 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Escalante, 1995).



Figura 8. Agostadero semiárido en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo

9. MATERIAL Y MÉTODOS

9.1. Colecta y preparación del suelo

El suelo fue recolectado en Santiago de Anaya, Hidalgo. El trabajo de laboratorio se realizó en el invernadero de la FES Zaragoza *campus* II, donde el suelo se tamizó con una malla metálica de apertura de 0.1 cm², y posteriormente se realizó una mezcla homogénea del suelo con gravilla (de mármol) en relación 2:1 (v/v) y así facilitar la infiltración del agua. Una vez terminada la mezcla se esterilizó durante una hora a una temperatura de 94-96° C a 15 atm de presión, en una autoclave.

9.2. Inóculo

Se usó un inóculo obtenido a partir de suelo colectado en Xitzo en el año 2002, (el cual es un ecosistema semiárido poco perturbado), y este se mantuvo en refrigeración para la preservación de las esporas contenidas en el suelo. El inóculo tiene en promedio de 252 esporas vivas por 100 g de suelo de acuerdo al conteo de esporas realizado en el 2004 con el método de tamizado y decantación (citado en Ferrera *et al.*, 1993).

9.3. Preparación de macetas

Se prepararon macetas de pet con capacidad de 2 litros y se formaron dos lotes de 40 macetas cada uno, a un lote de 40 macetas se le agregaron 1000 g de suelo esterilizado y a las otras 40 macetas donde se colocaron las plantas inoculadas, se les agregó 900 g de suelo estéril, más 100 g de suelo con inóculo (figura 9).



Figura 9. Ejemplo de algunas macetas de PET con plántulas de *Prosopis laevigata*.

9.4. Germinación

Las semillas que se utilizaron se pusieron a germinar directamente en las macetas, previo tratamiento de desinfección con cloro al 5% por dos horas. El tratamiento pregerminativo fue escarificación mecánica. Se realizaron dos riegos semanales. A los seis meses de desarrollo, se llevaron a la zona de estudio para ser transplantadas. Aunque sería mas recomendable utilizar material biológico de mínimo un año de edad.

9.5. Preparación del sistema de riego

Se utilizaron 60 ollas de barro (arcilla) con capacidad de 7 litros cada una, las cuáles fueron revestidas con pintura orgánica hecha a base de las pectinas del nopal (extraídas por calentamiento), cal, agua y sal (Monroy, 2003, anexo II pintura ecológica). La pintura orgánica fue útil para evitar la filtración del agua de manera rápida. Según Bainbridge (2001), pintando los bordes de las ollas con pintura blanca no tóxica reduce la evaporación del agua y pintada en sus paredes reduce el uso del agua (figura 10). Los orificios laterales que presentan las ollas en la parte superior fueron tapados con cera de Campeche para evitar evaporación. Cuando se colocaron las ollas en el sitio, fueron cubiertas con bolsas de plástico sujetadas con ligas. Esta fue la única parte de la olla que salió del suelo, ya que permanecieron enterradas a un costado de la planta.

Se utilizaron 30 ollas de barro para el lote testigo (M-) y 30 para el lote micorrizado (M+).



Figura 10. Ollas de barro preparadas antes de su colocación.

9.6. Selección de plantas para transplante en campo

Se seleccionaron únicamente las plantas cuyo rango de altura para el tratamiento micorrizado fuera de 6-14 cm y para el no micorrizado 5-14 cm (figura 11). En total fueron 30 plantas para cada uno de los tratamientos.



Figura 11. Selección de plántulas en campo de los dos tratamientos.

9.7. Selección de microsítios

Las plantas se transplantaron en el mes 0 (ene.), en una parcela experimental de Santiago de Anaya, Hidalgo, en un agostadero semiárido deteriorado.

En el sitio se seleccionaron, como plantas nodrizas a *Flourensia* sp. debido a su abundancia y ahí se excavó un hoyo de acuerdo al tamaño de la olla (capacidad aproximada de 7 litros de agua) , extrayendo rocas y rompiendo los terrones (figura 12).

También se usaron como microsítios rocas medianas que se encontraron en el sitio, mismas que se colocaron alrededor de la planta después del trasplante.



Figura 12. Ejemplo de ubicación de sistema de riego.

9.8. Transplante a campo

Se realizó el transplante de 1-3 cm aproximadamente de distancia del borde de la olla dejando un espacio de un lado de la planta para poder llenar la olla de agua, por si la planta creciera mucho de acuerdo a lo sugerido por Bainbridge (2001) (figura 13 y 14).

Se colocaron las plantas de *Prosopis laevigata* en posición norte respecto a la olla, para protegerla de los rayos solares y del posible forrajeo. Según Valiente Banuet *et al.*, (1991, citado en Avilés y Cortés, 1997) mencionan que el principal factor que determina el efecto de la planta nodriza, es la protección que provee a otros organismos vegetales contra la fuerte radiación; la cual determina la distribución de ciertas especies bajo su copa con una preferencia hacia el lado norte, donde se recibe menor radiación anual y hacia el lado oeste que generalmente es más frío y recibe radiación principalmente al atardecer.

También se colocaron alrededor de la planta rocas medianas como protección y para generar el micrositio como reservorio de humedad y protección solar.



Figura 13. Transplante de plántula a un costado del sistema de riego.



Figura 14. Transplante en campo.

9.9. Riego mensual

Se vertieron aproximadamente 7 litros de agua a cada una de las ollas del sistema de riego del lote testigo y micorrizado mensualmente durante enero de 2005 (mes 0) a agosto de 2005 (mes 7) (figura 15).

En caso que las bolsas que cubrían la olla se encontraran en mal estado (rota o ya no se encontrara cubriendo la olla) se reemplazaron así como la liga que sujeta la bolsa (figura 16).

Cuando una de las ollas se encontró en mal estado (rota completamente o de alguna de sus partes) se cambió por otra que se encontrara en buenas condiciones.



Figura 15. Llenado de ollas de barro.



Figura 16. Sistema de riego después de haber llenado la olla.

9.10. Evaluación de variables

El día del transplante se midieron las variables de respuesta a las plantas del lote testigo y el micorrizado. Estas variables fueron: altura total (figura 17) la cual fue evaluada midiendo desde la base del tallo hasta la parte alta de la planta, el diámetro medio se consiguió midiendo el diámetro mayor (esto considerando los tallos y pinnas mas largos) y menor (considerando los tallos y pinnas mas pequeños) abarcando todo el follaje en forma de cruz y después sacando el promedio entre ambos datos, también el diámetro del tallo midiéndolo a partir de 1 cm de la superficie del suelo. Esto se evaluó con la ayuda de un vernier y por último, el número de pinnas se contó una por una. Además se evaluaron las causas de mortalidad (herbivoría, sequía, vandalismo) y el % de supervivencia de ambos tratamientos. Se consideró al factor herbivoría de manera morfológica, cuando la planta presentó evidencias de ramoneo en pinnas y/o tallos, incluso algunas veces trozados. La sequía cuando el tallo y/o pinnas se encontraban amarillas de manera evidente y también cuando al romper una parte pequeña del tallo este se encontrara seco. Respecto al vandalismo, la condición fue encontrar la olla fuera del sitio donde se colocó originalmente, o ver partes rotas de ella, incluso las raíces de la planta de mezquite a la cual le suministraba agua se encontraban al descubierto y algunas veces la planta ya muerta. El registro de todas las variables se realizó cada mes durante siete meses (enero 2005 a agosto de 2005).



Figura 17. Medición de altura mensual

9.11. Análisis de datos

Se realizó una comparación de medias entre plantas micorrizadas y no micorrizadas para las siguientes variables de respuesta en cada punto de registro de datos (mensualmente):

- Altura máxima
- RGR del tallo= $[\ln(\text{diámetro final}) - \ln(\text{diámetro inicial})] / \text{tiempo (días)}$
- Diámetro del tallo
- Cobertura
- Número medio de pinnas
- % de supervivencia (las que pasaron la época de sequía-calor)
- Causas de mortalidad (sequía, herbivoría y vandalismo)

Para el caso del análisis de las causas de mortalidad (sequía, herbivoría, y vandalismo) y el % de supervivencia se realizó una polarización de datos (cualitativos a cuantitativos) donde 0- estado impactado, 1- estado vital y 3- muerta (para cualquiera de las causas). Y después de haber polarizado los datos se realizó una prueba de medias.

Los análisis estadísticos de este proyecto fueron analizados utilizando los programas StataCorp, 2003 y Microsoft Excel 2000.

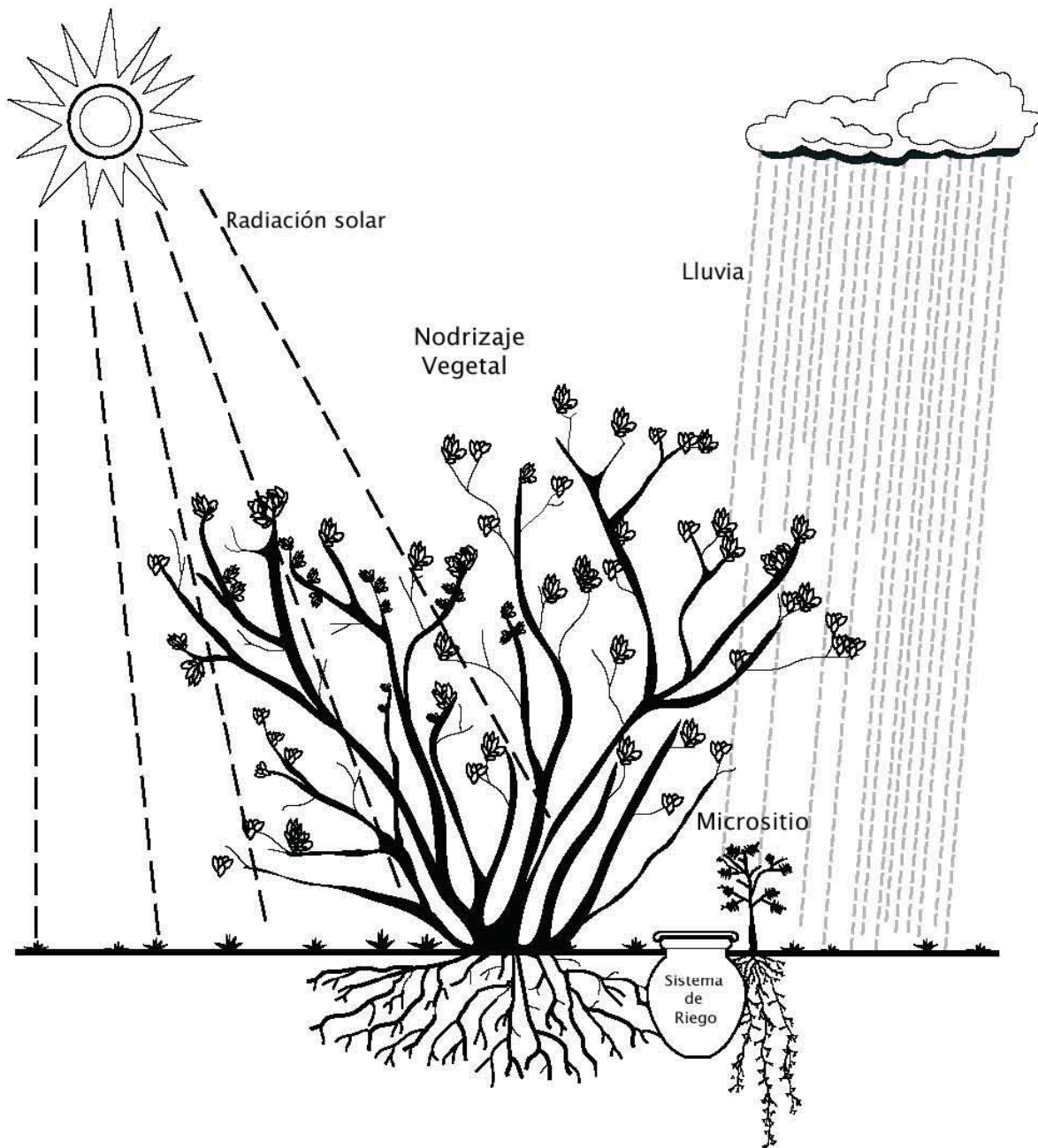


Figura 18. Dibujo del efecto del sistema de riego en el establecimiento de plántulas y el efecto de nodrizaje vegetal

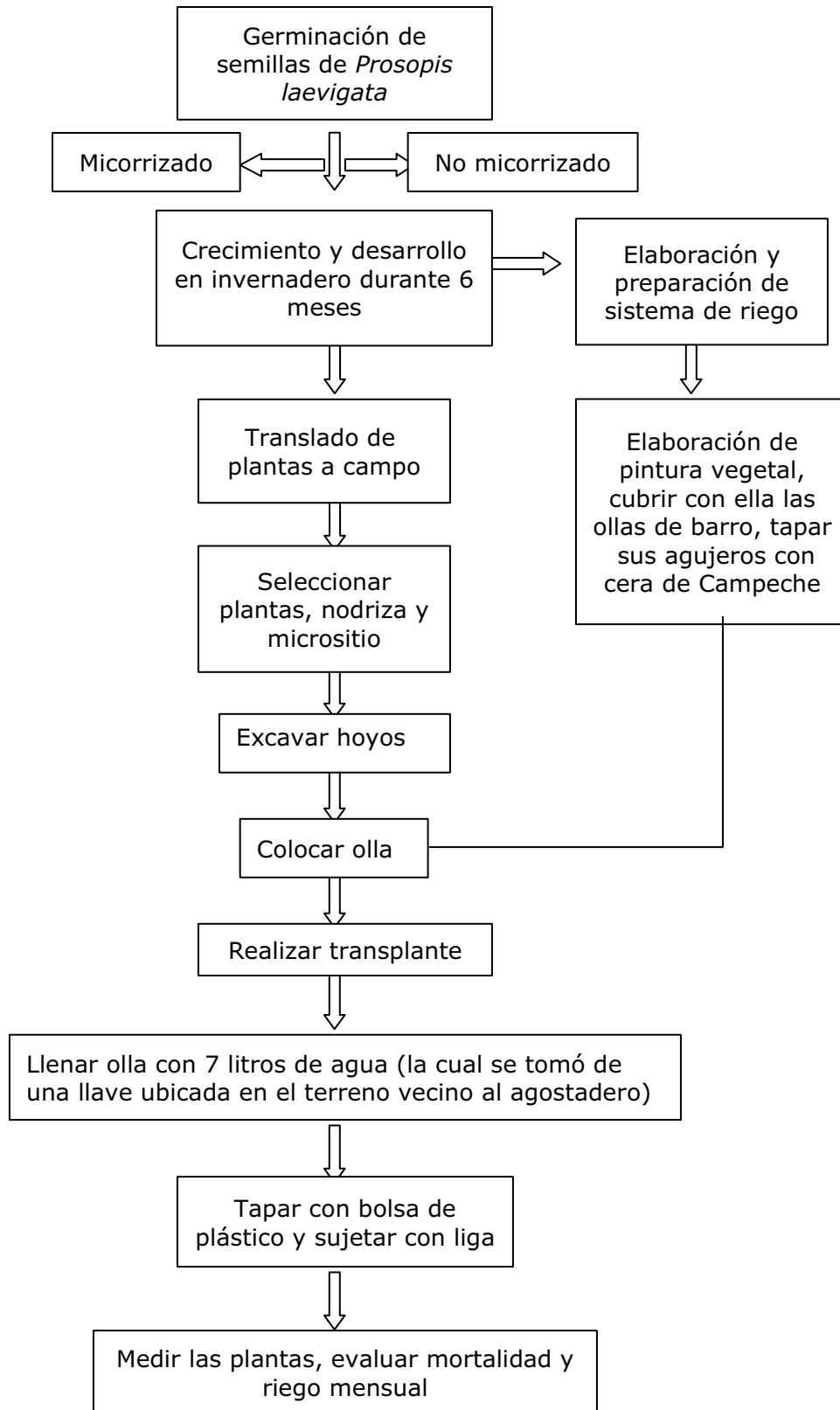


Figura 19. Diagrama de flujo del establecimiento de *Prosopis laevigata* con un sistema de riego prehispánico por goteo

9.12. *Prosopis laevigata* (Wild.) M. C. Johnst.



Figura 20. *Prosopis laevigata* (mezquite).

9.12.1. Descripción

Prosopis spp.

El género *Prosopis* comprende árboles o arbustos, generalmente armados de púas o espinas; estípulas pequeñas, espinosas o ausentes, hojas bipinnadas, las glándulas del peciolo y del raquis pequeñas o ausentes, folíolos pequeños, en número variables; flores reunidas en espigas o racimos axilares, rara vez forman cabezuelas; flores pequeñas, pentámeras, de color amarillento; cáliz acampanado y brevemente dentado; pétalos unidos muy cerca de la base, valvados; estambres libres, brevemente salientes, anteras con una glándula pequeña y decidua en el ápice; ovario sésil o estipitado, multiovulado, estilo filiforme, estigma pequeño y terminal; legumbre linear, recta o falcada, a veces enroscada, comprimida o túrgida, indehiscente, el exocarpio delgado o coriáceo, el mesocarpio esponjoso o endurecido y el endocarpio cartilaginoso o papiráceo; semillas ovadas o comprimidas. Se conocen 45 especies de las regiones tropicales y subtropicales del globo. En el Valle hay una sola especie (figura 20).

Prosopis laevigata. Árbol o arbusto, a veces hasta de 12 metros de altura, aunque generalmente menor; tronco de 1 metro de diámetro, por lo general de 30 a 60 cm, corteza gruesa, de color café-negruzco, algo fisurada; copa más ancha que alta; ramas glabras o pilosas, armadas de espinas estipulares de 1 a 4 cm de largo; hojas pecioladas con 1 a 3 pares de pinnas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos sésiles, oblongos o linear-oblongos, de 5 a 15 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, ápice obtuso, margen

entero, base obtusa, glabros o ligeramente pubescentes; flores dispuestas en espigas densas de 5 a 10 cm de largo; flores blanco-amarillentas, sésiles o casi sésiles; cáliz de 1 mm, glabro o puberulento; corola de 2.5 a 3 mm de largo, pétalos agudos, tomentulosos en el margen y en el interior; estambres de 4 a 5 cm de largo; legumbre linear, algo falcada, de 7 a 20 cm de largo por 8 a 15 mm de ancho, comprimida, glabra, de color café-amarillento, a veces rojizo, algo constreñida entre las semillas; éstas oblongas, comprimidas, de 8 a 10 mm de largo, de color blanco-amarillento. A esta especie vegetal se conoce con el nombre común de “Mezquite” (Rzedowski, 1979) (figura 21).

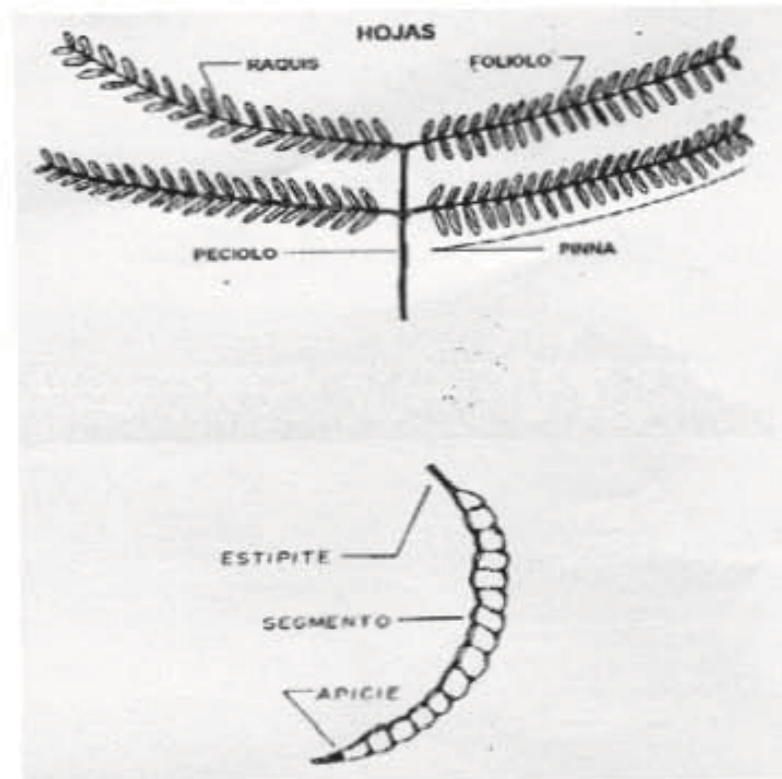


Figura 21. Partes que componen una vaina de mezquite y esquema de las hojas pinnadas compuestas del árbol del mezquite (tomado de Ramirez y Villanueva, 1998).

9.12.2. Distribución y hábitat

El género *Prosopis* tiene una amplia distribución en México; se le puede localizar desde cerca del nivel del mar, hasta altitudes superiores a los 2000 m. Aunque prefiere lugares moderadamente secos, prospera bien en climas BW, hasta el CW; por lo que respecta a suelos se distribuye tanto en suelos de origen calizo como ígneo. El mezquital es característico de terrenos planos, así como de suelos profundos con declive lento; el tipo de suelo donde se establece es oscuro, casi negro (Villanueva, 1993).

9.12.3. Fenología

Las etapas vegetativas y reproductivas del mezquite varían a través del año, en función del tiempo y de la especie. En la zona media el inicio de crecimiento de hojas y ramas así como la floración es en febrero y marzo, la fructificación y maduración del fruto es entre mayo y junio, la senescencia de hojas es en septiembre y octubre y la latencia vegetativa se presenta entre noviembre y enero (Ramírez y Villanueva, 1998).

9.12.4. Dispersión y propagación

Debido a que el mezquite no resiste el sobrepastoreo en sus primeras etapas de desarrollo, es poco recomendable la siembra directa en campo, por lo que es necesario producir plantas de mezquite en viveros hasta cierta etapa de crecimiento. Su cultivo y uso en trabajos de reforestación podrá generar alternativas de empleo rural en zonas de alto riesgo agrícola (Ramírez y Villanueva 1991).

9.12.5. Importancia y problemática

Los mezquites constituyen parte importante de la flora nacional, alcanzando inclusive carácter predominante en ciertas regiones; han estado ligados con la vida del campesino mexicano desde tiempos remotos; hasta la fecha no han recibido la atención que se merecen (Villanueva, 1993).

Estos árboles se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas, cumpliendo una función importante que es la de disminuir las condiciones extremas de temperatura, así como la de permitir la vida de plantas y animales, en localidades donde crece en forma silvestre (Ramírez y Villanueva 1991).

El carbono orgánico acumulado bajo el dosel de plantas leguminosas por la descomposición de materia orgánica tiene un número de efectos benéficos en la composición química y física del suelo. La disponibilidad de los nutrimentos del suelo (mineralización) puede ser incrementada cuando el carbono del sustrato es apropiado y está disponible como fuente de energía para las bacterias del suelo.

Las bacterias del suelo actúan para incrementar la velocidad de descomposición, mineralización y, si las bacterias fijadoras son de vida libre y están presentes, pueden incrementar los niveles de nitrógeno en el suelo. El dosel del mezquite provee sombra y modera la temperatura superficial del suelo creando condiciones favorables para la actividad microbiana (Ross, 1990).

Desde hace tiempo la sobreexplotación del mezquite es motivo de inquietud ya que provoca la erosión del suelo y la reducción del hábitat disponible para otras especies silvestres de animales y vegetales (Gil, 2005). Pues en épocas pasadas los bosques de mezquite o mezquital, ocupaban amplias extensiones del país, pero éstas han venido disminuyendo considerablemente, debido a los aprovechamientos intensivos de la especie (muchas veces clandestinos) y a la apertura de nuevas áreas para el cultivo: estas acciones dan paso a posteriores áreas improductivas, dado que las condiciones climatológicas prevalecientes no son aptas para obtener a través de los cultivos tradicionales producciones satisfactorias y mucho menos remunerativas, por lo que posteriormente estas áreas son abandonadas, requiriéndose un lento proceso para volver a su condición original. Existe poca regeneración natural de esta especie, debido

fundamentalmente a la apertura de áreas agrícolas, explotaciones irracionales e intenso pastoreo. Esta última acción origina que las plantas en estado juvenil sean consumidas por los animales, no alcanzando a llegar a una etapa en la que se encuentre fuera del alcance de ellos. El mezquite por su capacidad de retención del suelo y por su rusticidad, es recomendado para regenerar suelos degradados (Villanueva, 1993).

9.12.6. Usos

Además de su resistencia para sobrevivir en regiones áridas, con lluvias escasas e irregulares y con temperaturas extremas este árbol ofrece varias ventajas: las hojas proporcionan forraje para las cabras, las flores dan néctar para la producción apícola y las vainas son usadas en la elaboración de alimentos balanceados para animales. Asimismo, la madera es fuerte y durable, empleada en la construcción y fabricación de muebles y duela, puertas, ventanas, pisos, objetos decorativos, mangos de herramientas (Gil, 2005). Además es excelente como leña y carbón (Ramírez y Villanueva 1991). La goma del mezquite de composición química similar a la goma arábiga producida por *Acacia senegal* es utilizada como emulsificante de productos alimenticios. De la flor del mezquite se deriva una miel de abeja de alta calidad. Del fruto del mezquite también se puede extraer harina para consumo humano de alto valor agregado (Villanueva, 1993; Villanueva *et al.*, 2001; Nagel, 1995). En forma adicional ayuda a retener el suelo, lo protege de fuertes vientos y lo mejora y fertiliza de manera natural (Ramírez y Villanueva 1991).

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Crecimiento

El crecimiento fue evaluado considerando cinco aspectos: altura máxima, cobertura foliar, diámetro del tallo, número de pinnas y tasa relativa de crecimiento (RGR).

10.1.1 Altura

En lo que respecta a la altura, a partir de los datos registrados mensualmente en las plántulas de *Prosopis laevigata* bajo los dos tratamientos (micorrizado y no micorrizado), se observó que las plantas de ambos lotes fueron impactadas por herbivoría, por lo que decrecieron. Asimismo, el tratamiento de plantas micorrizadas se muestra con cierta tendencia de crecimiento estable a partir del mes 6 (jul.) seguido del 7 (ago.) (como se muestra en la figura 22); esto posiblemente por el inicio de la temporada de lluvias, que hace disponible mayor cantidad de alimento para los herbívoros, además de evitar la mortalidad por sequía. El análisis estadístico nos muestra que si hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos micorrizado y no micorrizado, (cuadro 2, anexo I).

Las diferencias entre tratamientos se observan claramente en la figura 23, pues los datos fluctuaron entre cada mes de registro, sin embargo, del mes 4 al 5 (may.-jun.) los dos tratamientos presentan una tendencia estable en cuanto a su altura, en relación con los otros datos.

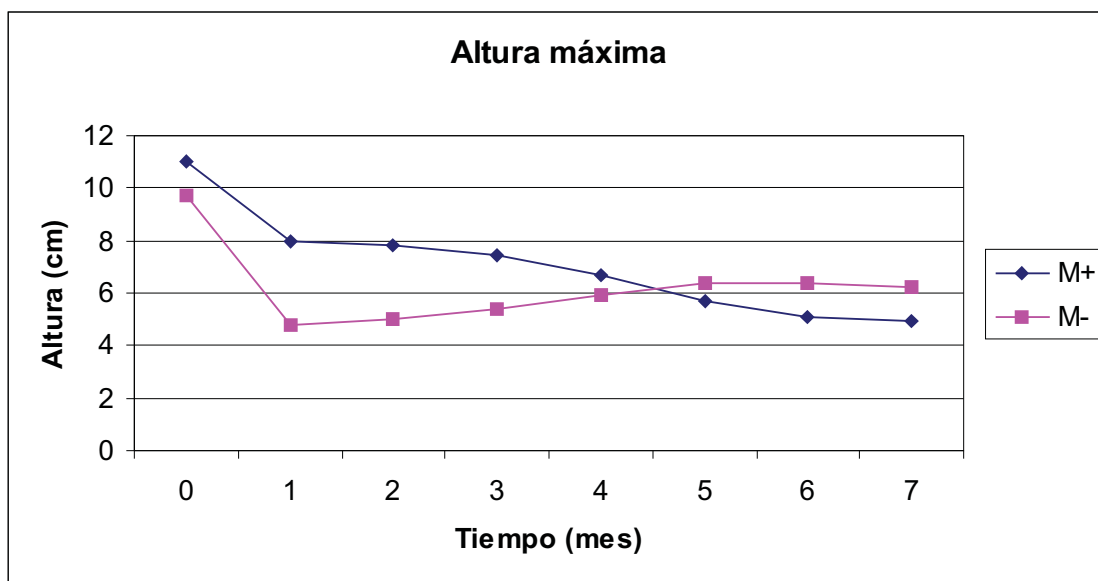


Figura 22. Gráfica de altura máxima promedio registrada durante el experimento. M+ es tratamiento micorrizado y M- tratamiento no micorrizado.

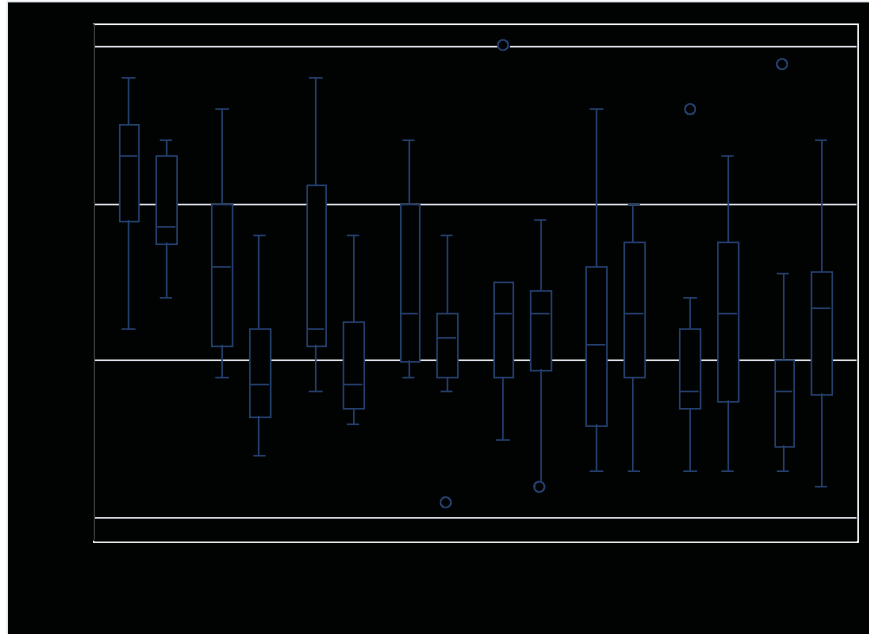


Figura 23. Altura máxima de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y el tratamiento M- es no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

Torres (2005) quien también trabajó con plantas de mezquite, obtuvo que los HMA favorecen un mayor desarrollo vegetal (altura, diámetro, número de hojas y de pinnas) en plántulas de *Prosopis laevigata*, en comparación con aquellas que no son inoculadas, durante las 12 semanas posteriores al establecimiento de las plántulas. Esto en condiciones de invernadero, sin embargo el presente experimento no coincide con esos resultados pues este trabajo se realizó en campo, donde existen variables no controladas que influyen en ambos tratamientos, y como principal factor fue la herbivoría, seguido de sequía y después vandalismo.

Caravaca, *et al.*, (2003) mencionan que aún cuando existe colonización micorrícica en plantas hospederas, no es un prerrequisito para responder exitosamente al crecimiento en todas las plantas inoculadas con HMA. Por lo que, aún cuando se hizo la inoculación con HMA, en la altura del tratamiento M+ no fue notoria, debido principalmente a la presión de herbivoría.

Se observó que en el mes 4 (may.) aun cuando se muestran los dos tratamientos con valores en sus medianas similares (figura 23), la altura en el mes anterior es mayor para el tratamiento micorrizado y menor para el no micorrizado, esto posiblemente por que le cuesta a la planta mantener la simbiosis micorrícica y como estrategia le da mayor preferencia a tener estructuras como pinnas o tallos para poder fotosintetizar, que tener mayor altura, pues coincide con la escasez de lluvia y las altas temperaturas presentes, incluso en este mes tiene alta mortalidad por estas características, y esto último limitó la recarga de las ollas de barro del sistema de riego.

A partir del mes 5 (may.) las plantas no micorrizadas crecieron notoriamente más respecto a las micorrizadas, pero un factor que se aprecia en el diagrama de la figura 24 es que, para el mes 5 (may.), el porcentaje de supervivencia es menor para el tratamiento

M- (40%), y las plantas M+ (47%) tienen un rango amplio en relación a las alturas registradas para ese mes, por ello aun cuando las condiciones fueron extremas este tratamiento resistió mejor aunque sin tener mayor altura.

La siguiente figura muestra la variación que se presentó en cuanto a la altura durante el mes de marzo, indica el efecto de la herbivoría y vandalismo (figura 24).



Figura 24. Altura registrada en plántulas de mezquite en el mes de marzo de 2005.

10.1.2. Pinnas

En cuanto al número de pinnas, también se encontraron diferencias en los dos tratamientos, pues el desarrollo de las plantas (figura 25), muestra que el número de pinnas de los dos tratamientos fluctuó en relación a la herbivoría que se presentó durante el experimento, sin embargo, el número de pinnas en el tratamiento M+ desde el mes 0 (ene.) hasta el mes 3 (abr.) fue mayor, después decreció, pero en el mes 7 (ago.) volvió a

ser mayor que el tratamiento M- (figura 26). El número de pinnas que generaron los individuos de los diferentes tratamientos presenta un comportamiento similar, aunque en cantidad de pinnas el tratamiento micorrizado es menor posiblemente por la poca altura de las plantas, ya que los tallos en algunos registros fueron de 1 cm por lo cual le era difícil rebrotar y tener mas pinnas, o quizá porque estas plantas eran mas vigorosas y las preferían los herbívoros, como se muestra en la gráfica anterior. Aunque la herbivoría también ocasionó que los tallos se ramificaran y crecieran pinnas de manera abundante, en algunos casos, como se observa en la figura 27. Esto se le atribuye probablemente a la dominancia apical, donde las auxinas están involucradas en la inhibición del crecimiento de yemas laterales por las terminales. Pues si una yema lateral se corta, la dominancia apical se pierde y las yemas laterales se desarrollan en ramas, pero si en la planta del tallo se coloca una pasta conteniendo auxina, el crecimiento de las yemas laterales es inhibido como si lo fuera por la yema terminal (Greulach y Edison, 1990).

Se encontraron en el análisis estadístico diferencias significativas ($p < 0.05$) en los dos tratamientos (cuadro 3, anexo I).

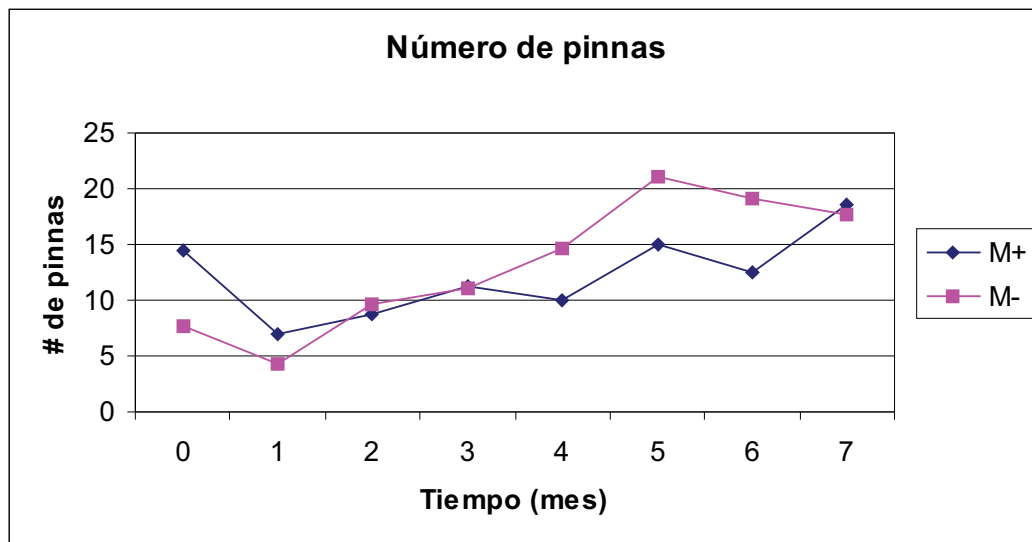


Figura 25. Número promedio de pinnas presentes durante el experimento en cada tratamiento. M+ es tratamiento micorrizado y M- tratamiento no micorrizado.

En el mes 6 (jul.), a pesar de que la época de lluvias ya estaba presente y que había mayor número de plantas de diferentes especies para alimentar a los herbívoros, en este mes el tratamiento micorrizado tuvo menor número de pinnas, pues probablemente las características de su estructura sean mas atractivas y al estar mas vigorosas las prefieran e incluso tengan mejor sabor para los herbívoros, tomando en cuenta que en ese mismo mes presentan porcentaje de supervivencia similar y sin embargo las plantas fueron impactadas de forma distinta.

En lo que respecta al transcurso de los meses el número de pinnas aumentó a partir del mes 2 (mar.) hasta el 5 (jun.), lo que puede estar asociado a la dominancia apical.

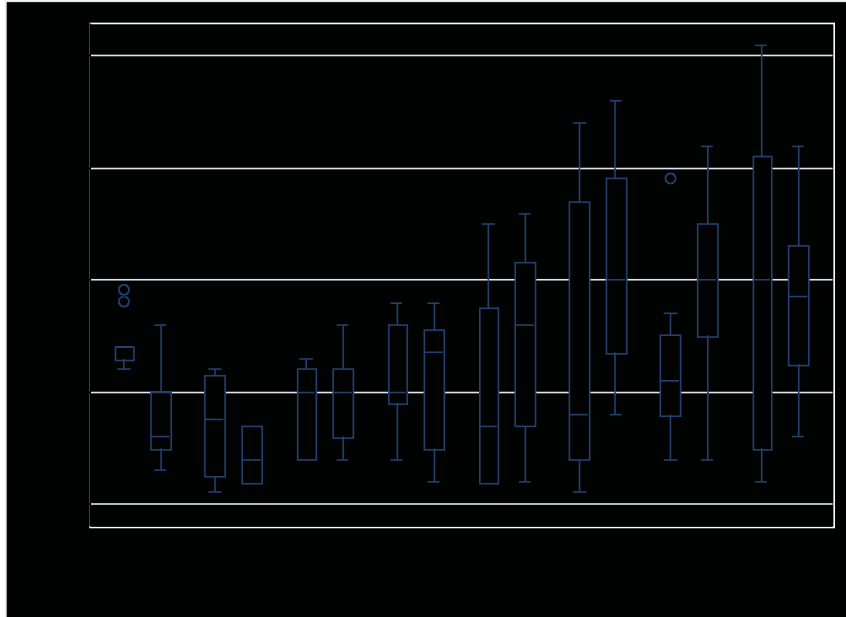


Figura 26. Número de pinnas de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y el tratamiento M- es no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.



Figura 27. Número de pinnas registradas en el mes de mayo de 2005 en plántulas de mezquite.

10.1.3. Cobertura foliar

El área foliar es un buen indicador del crecimiento, ya que está influenciada por factores atmosféricos como la radiación y la temperatura, así como por la humedad del suelo; ésta área es importante para la producción de materia seca (Cumpa *et al.*, 1988). Sin embargo, para este experimento el comportamiento de las plantas (figura 28 y 29) nos muestra que la cobertura foliar así como el número de pinnas y la altura máxima de los dos tratamientos fluctuó en relación a la herbivoría, sequía y vandalismo (figura 30), factores que se presentaron a lo largo del experimento; de esta manera, la cobertura foliar en el tratamiento M+ en el mes 1 y 2 (feb. y mar.) fue mayor que en el tratamiento M-, el cual tuvo mayor cobertura durante unos cinco meses en el experimento. El análisis estadístico nos muestra que sí hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) (cuadro 4, anexo I), como promedio de todos los meses evaluados.

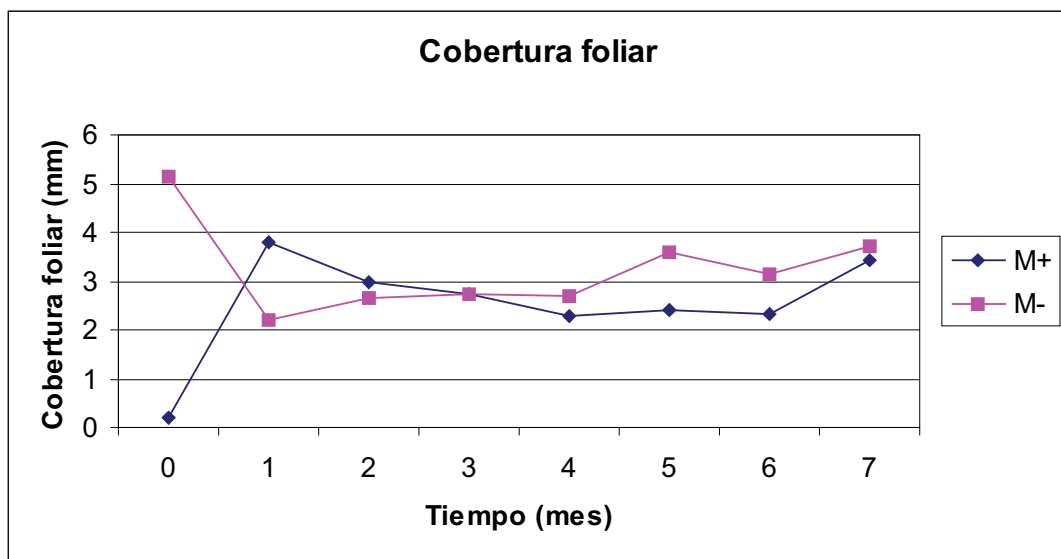


Figura 28. Cobertura promedio durante los meses de experimentación. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

El diagrama de cajas (figura 29) muestra fluctuaciones entre cada mes registrado respecto a la cobertura. En el caso del mes 6 (jul.), como en el número de pinnas, el tratamiento micorrizado tuvo menor cobertura foliar respecto al tratamiento no micorrizado. Como se menciona en el caso del número de pinnas, fueron mas palatables las micorrizadas para ese mes, pero el crecimiento de la cobertura foliar en el transcurso de los meses también tiene que ver con el desarrollo de tallos y número de pinnas atribuido a la dominancia apical que a su vez, esta estimulado por efecto de la herbivoría. Además de que el sistema de riego contribuyó a que la sequía no se manifestara en el desarrollo de la cobertura foliar pues contribuyó para evitar mayor mortalidad y mejor desarrollo de la planta.

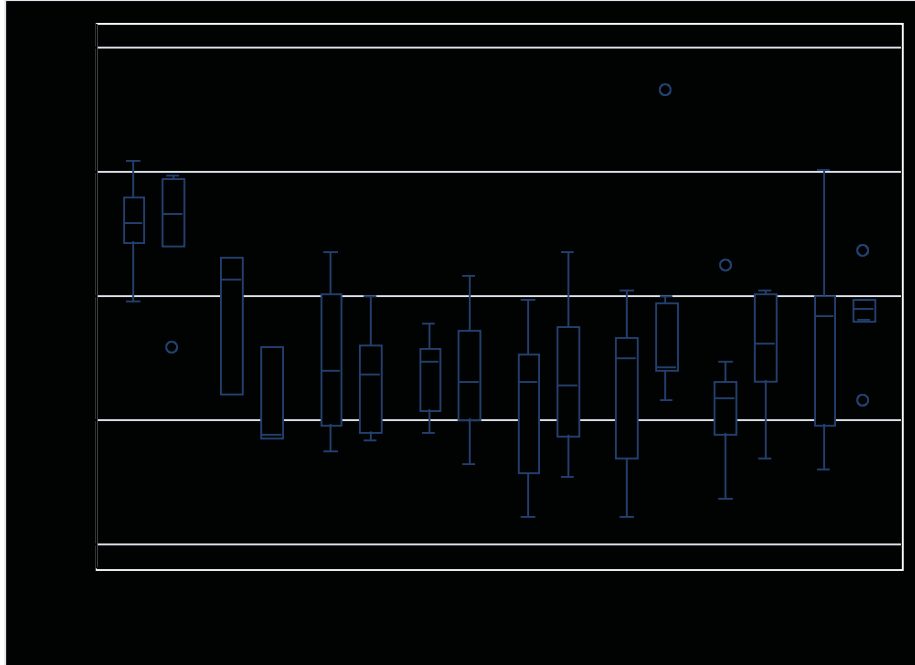


Figura 29. Cobertura foliar de las plantas. Tratamiento M+ es 1 y tratamiento M- es 2. Los dígitos 0-7 indican los meses.





Figura 30. Diferencias en cobertura foliar en plántulas de mezquite registradas durante el mes de marzo de 2005.

10.1.4. Diámetro del tallo

El comportamiento de las plantas (figura 31 y 32), nos muestra que el diámetro del tallo tuvo características diferentes, porque el diámetro del tratamiento M+ se mantuvo en general en el mismo tamaño aunque decayendo a partir del mes 5 (jun.), en cambio el tratamiento M- fue engrosando el diámetro del tallo a partir del mes 5, según la figura 31, probablemente la tendencia del tratamiento M+ en algún momento sería engrosar más pues en el mes 7 (ago.) se observa mayor crecimiento. El análisis estadístico nos muestra que si hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) (cuadro 5, anexo I), como promedio de todos los meses evaluados.

Al momento de medir el tallo mensualmente, los datos fluctuaron hasta el mes 3 (abr.), pero a partir del mes 4 (may.) engrosó más el no micorrizado, dato que contradice lo que se muestra en el parámetro denominado tasa relativa de crecimiento (RGR) del tallo, ya que la lignificación fue notoria, (como observación personal) en el tratamiento no micorrizado y en el micorrizado se presentó hasta el mes 6 y 7 (jul.-ago.). Aunque el tallo micorrizado sea menor (cuadro 6, anexo I), sobrevivió más ante las condiciones adversas del sitio.

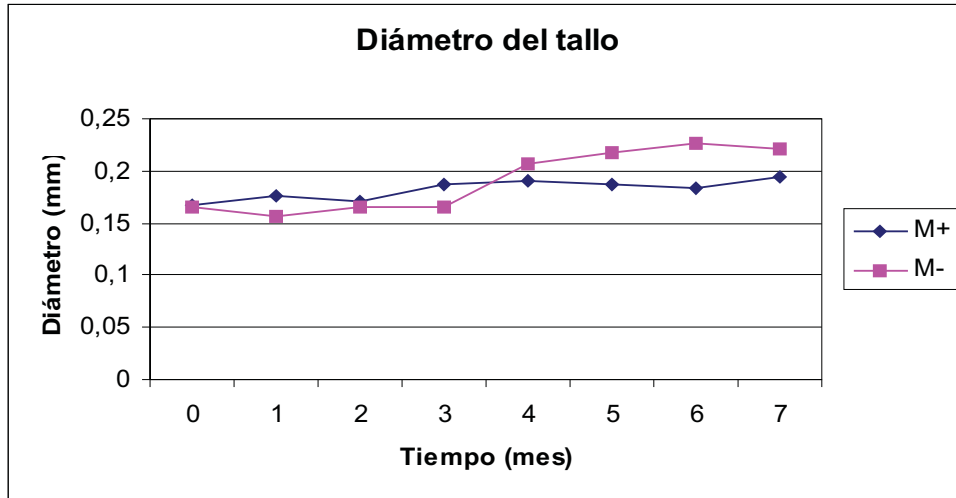


Figura 31. Crecimiento promedio del tallo durante los meses de experimentación. M+ tratamiento micorrizado y M- tratamiento no micorrizado.

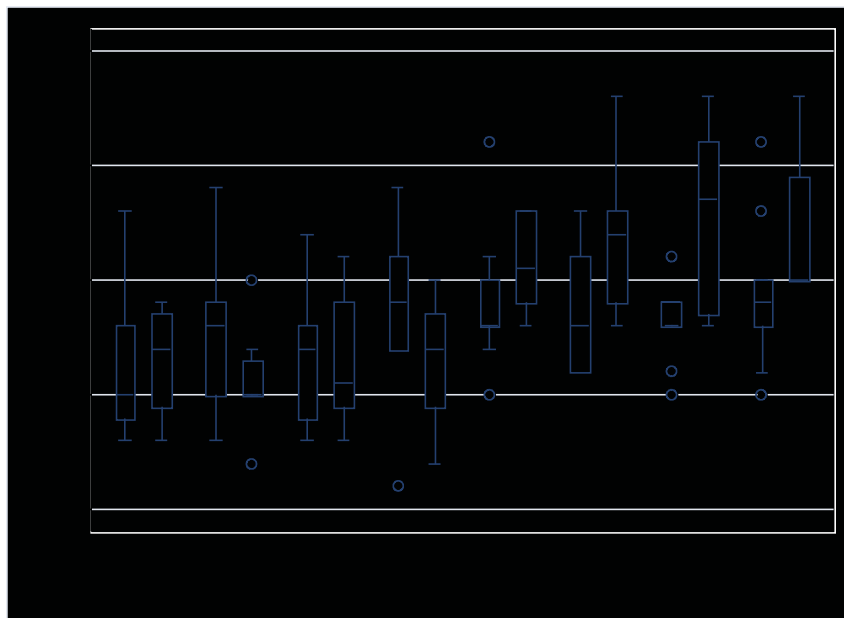


Figura 32. Diámetro del tallo de las plantas. El tratamiento M+ es micorrizado (1) y M- es el tratamiento no micorrizado (2). Los dígitos 0-7 indican los meses.

10.1.5. Tasa relativa de crecimiento (RGR)

Las cuatro variables antes descritas presentaron valores de crecimiento fluctuante en cada tratamiento por lo que se encuentran diferencias significativas entre ellas. Asimismo, al evaluar la tasa relativa de crecimiento (RGR) del diámetro del tallo, de las plántulas de *Prosopis laevigata*, en una comparación de medias (cuadro 6, anexo I), muestra que no hubo diferencias significativas entre los dos tratamientos en relación al

crecimiento del tallo aunque las características observadas en campo respecto al tallo muestra que en el tratamiento micorrizado durante el mes 6 y 7 (jul.-ago.) comienza a mostrar lignificación. En cambio para el tratamiento no micorrizado esta aparece desde el mes 3 (abr.). Esta situación probablemente se explique que se deba al mantenimiento de la simbiosis micorrízica y el tratamiento no micorrizado requirió endurecer tempranamente su tallo a fin de volverlo más resistente a las condiciones adversas y de estrés que las hacía vulnerables, principalmente ante la herbivoría. Es así, como cada tratamiento mostró su estrategia de supervivencia, pues finalmente el porcentaje entre ellas es similar.

10.2. Supervivencia

Existen varios factores, tanto ambientales como inherentes a la planta, que interfieren en la supervivencia en condiciones de campo; en este caso se encontró 30% de supervivencia para el tratamiento micorrizado y 26.6% para el no micorrizado (figura 33), observando como causas de mortalidad: herbivoría, sequía, vandalismo y la relación entre ellas variando en cada mes (figura 34 y 35). Se observó que entre los meses 4 a 6 (abr. a jun.) fue el periodo más crítico para el establecimiento de *Prosopis laevigata* por las causas de mortalidad antes mencionadas.

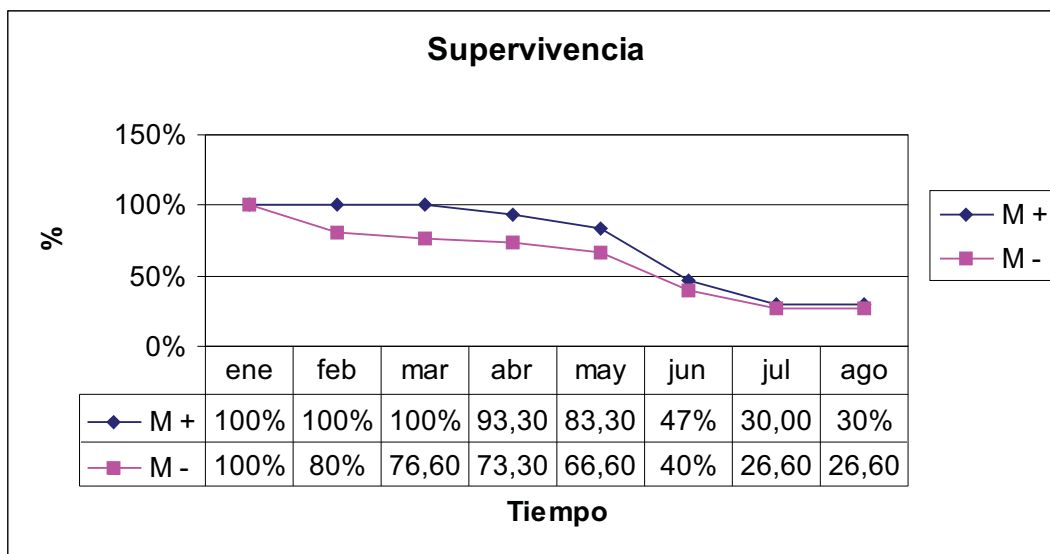


Figura 33. Supervivencia en campo de los dos tratamientos. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Las variables antes analizadas mostraron que el tratamiento micorrizado tuvo menor altura, número de pinnas, cobertura foliar y diámetro de tallo respecto al no micorrizado, debido a los diferentes factores ambientales antes mencionados; sin embargo, la supervivencia fue mayor para el tratamiento M+.

Dadas que las condiciones en las que las plantas se encontraron fueron de tal presión que a pesar de abatir la sequía mediante el sistema de riego y buscar condiciones favorables para el establecimiento de las plantas mediante el uso de micrositos, la herbivoría fue incesante y mayor para el tratamiento micorrizado, además de que la

estrategia de las plantas micorrizadas respecto a la simbiosis fue mantenerla a costa de no mostrar mayor altura y diámetro de tallo, pero si mantener cobertura foliar y número de pinnas para poder tener estructuras fotosintéticas y contribuir con el desarrollo de los HMA. Lo que no significa que el tratamiento no micorrizado fracasara pues tuvo menor supervivencia, sin embargo mayor altura y lignificación en sus tallos antes que el micorrizado. Además no se sabe si las plantas no micorrizadas se infestaron de algún componente de la microbiota edáfica y posibles HMA presentes en el suelo, los cuales también contribuyeron con su supervivencia, pues finalmente esas plantas tenían raíces limpias por haber crecido en suelo estéril y condiciones controladas de invernadero, salvo que se hubieran contaminado por efecto de las plantas vecinas.

Es muy importante destacar los porcentajes de supervivencia en cada uno de los registros (figura 33), pues varían según las causas de impacto que se presentaron, donde vemos al tratamiento micorrizado haciendo esfuerzos increíbles por vivir ante las condiciones antes descritas.

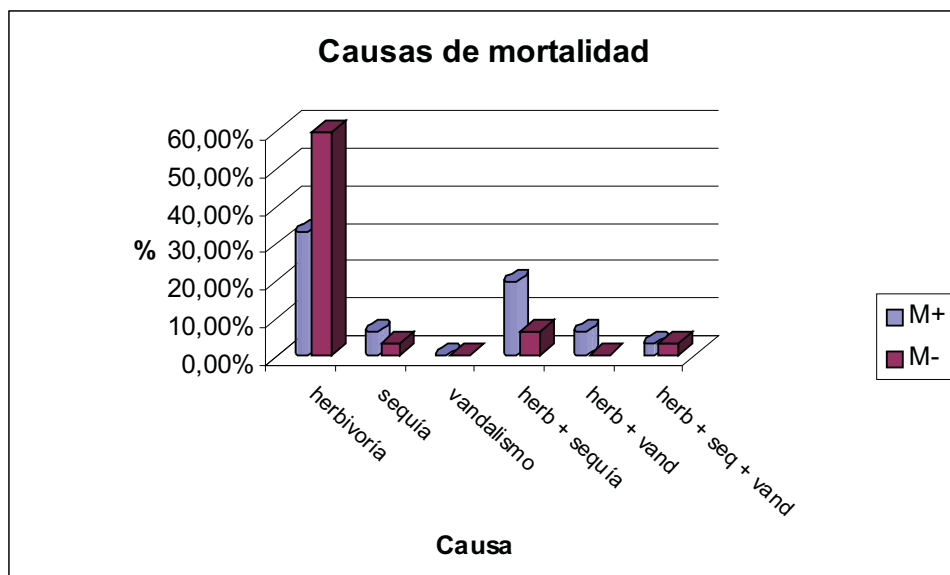


Figura 34. Porcentaje de las causas de mortalidad que se presentaron durante la experimentación (herbivoria, sequía, vandalismo, herbivoria + sequía, herbivoria + vandalismo y herbivoria + sequía + vandalismo). M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado.

Sin duda la herbivoria fue la causa principal de mortalidad de las plantas de *Prosopis laevigata* pues fueron depredadas en su follaje por la fauna local (posiblemente cabras, borregos y conejos). Sin embargo, la mayoría de las plantas fueron reducidas a tallos casi inapreciables que posteriormente se ramificaron y produjeron pinnas (figura 35).

En el trabajo de Keya (1997), respecto al efecto de la herbivoria en pastos, muestra que morfológicamente el pastoreo reduce sustancialmente la biomasa del follaje impactando directamente en el tamaño de la planta, tal como sucede en las plantas de *Prosopis laevigata*, además se sabe, que severas y frecuentes defoliaciones reducen el área foliar disminuyendo las reservas de carbohidratos y finalmente el rebrote (Keya,

1997; Villalobos, 2004). Strauss y Agrawal, (1999), mencionan que el grado de tolerancia a la herbivoría no necesariamente esta directamente relacionada con la salud de la planta. Esto se relaciona con el tratamiento micorrizado que al disminuir su área foliar implicaba una situación estresante para mantener la micorrización, por la pérdida de carbohidratos, sin embargo, aún así procuraron el rebrote, al igual que el tratamiento no micorrizado.

No todas las plantas toleraron la herbivoría, pues fue bastante estresante aún cuando estaban muy sanas al llegar al sitio, pues en general, altera el suelo y la cubierta de microorganismos en el ecosistema, además de las plantas (Lassen, *et al.*, en prensa). El rebrote es una característica importante para la persistencia influenciada por la ecología de los individuos, poblaciones y comunidades (Bond y Midgley, 2001). Sin duda este estudio es otra confirmación del impacto que la herbivoría puede ejercer en especies de plantas establecidas en campo.

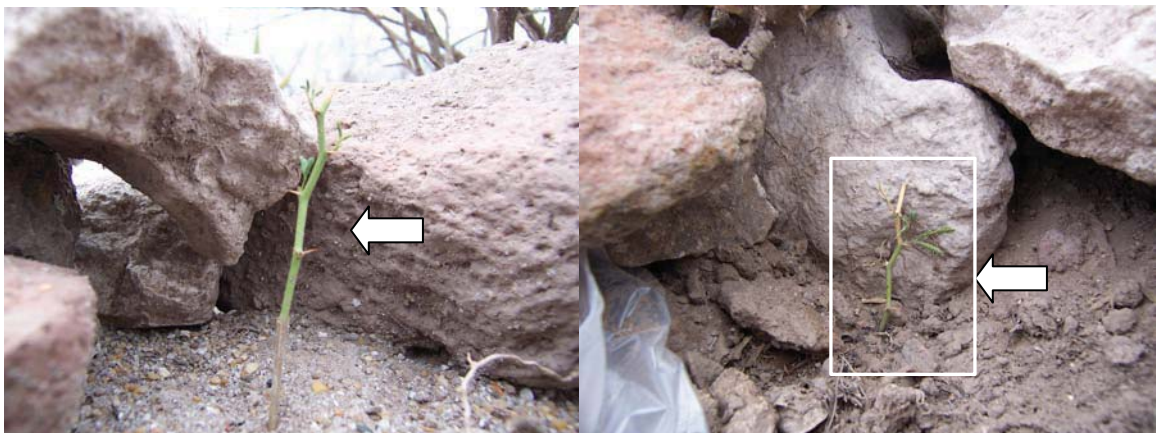




Figura 35. Plátulas de mezquite impactadas por la herbivoría.

La figura 36, muestra las causas de mortalidad que se presentaron en cada mes de experimentación, la cual corrobora el factor herbivoría que es el que prevalece en los dos tratamientos, siendo el mes 1 (feb.) en el que las plantas del tratamiento no micorrizado tuvo mayor mortalidad por efecto de la depredación, principalmente por conejos y cabras, quedando sin hojas. Del mes 3 al 6 (abr.-jul.) se muestra un impacto drástico en la supervivencia debido a la combinación de los factores estresantes en las condiciones del sitio, pues además de la herbivoría, la sequía y su combinación, el vandalismo realizado por los habitantes aledaños a la zona fue también significativa para las plantas de ambos tratamientos ya que se sacaron en distintas ocasiones las ollas para llevárselas o simplemente romperlas en el lugar (figura 37). Es así como, las condiciones de estrés trajeron un rango alto de mortalidad durante la primavera y el verano, principalmente.

El mes 5 (jun.) uno de los momentos mas drásticos para las plantas pues las diferentes causas de mortalidad se manifestaron y aquellas plantas que sobrevivieron y llegaron al mes 6 (jul.) que fueron pocas se mantuvieron hasta el mes 7 (ago.). Quizá fueron los micrositios mas favorables o estaban alejados del paso de la gente y mamíferos, pero resistieron a la mezcla de causas que ocasionaron la mortalidad.

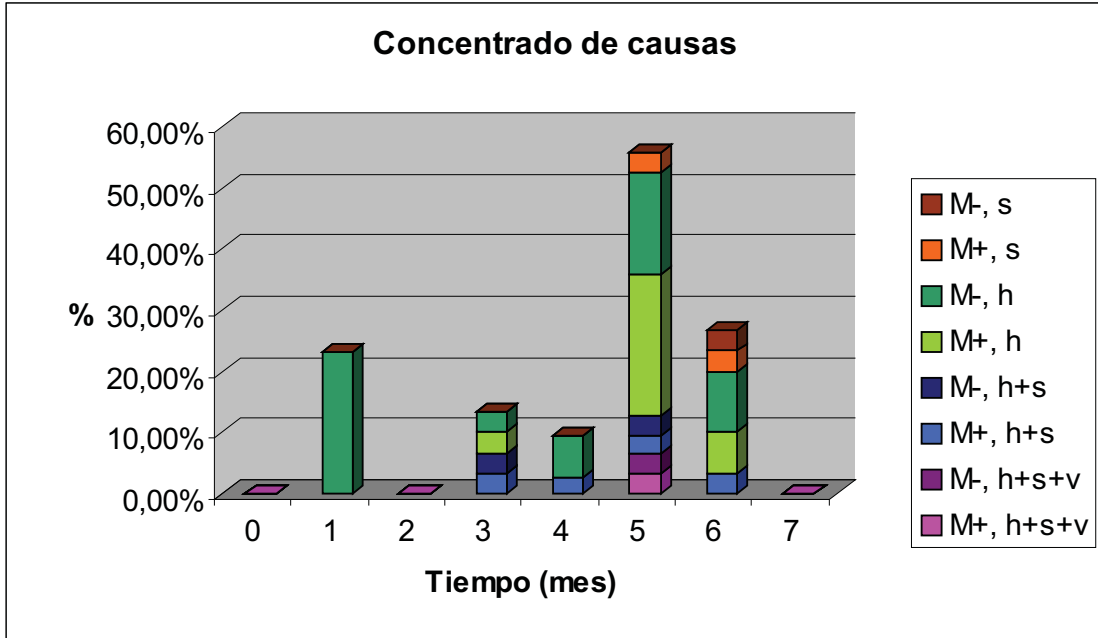


Figura 36. Efecto de las causas de mortalidad por mes de experimentación. M+ es el tratamiento micorrizado y M- es el tratamiento no micorrizado. s=sequía, h=herbivoría, v=vandalismo.

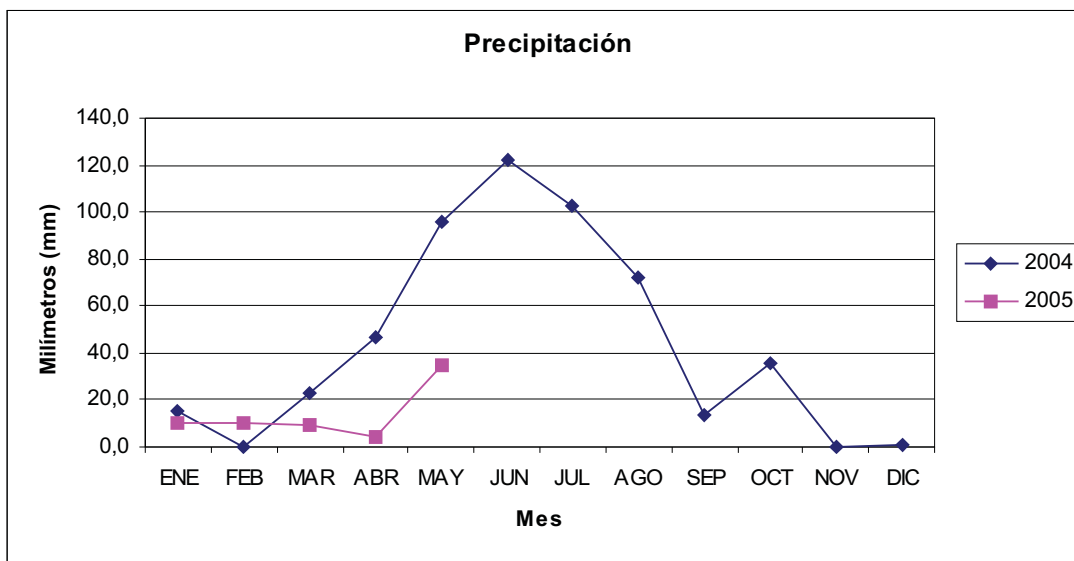


Figura 37. Efecto del vandalismo, por habitantes de la zona que extrajeron la olla dejando las raíces de la plántula de mezquite expuestas.

El establecimiento es un punto crucial en el ciclo de vida de las plantas. Las poblaciones de larga vida regeneran por semilla en un largo tiempo, y por lo tanto necesitan sitios seguros (“safe sites”) para su establecimiento, (Sheidel y Bruelheide, 2005). El tiempo que una planta necesita para salir del estado mas vulnerable, como lo es el establecimiento, depende también de las especies de plantas y herbívoros involucrados en el proceso (Scheidel y Bruelheide, 2005). El trabajo de Jurado *et al*, (2006), menciona que la oportunidad para el establecimiento en el Norte de México ocurre principalmente de verano a otoño, porque el invierno tiene el riesgo de tempestades a severas heladas y la

primavera es cálida con temporadas secas con temperatura mayor a 40° C, pues en su estudio todas las plantas perecieron y solo ocho por especie mostraron evidencia de herbivoría y quizá otras plantas murieron por baja humedad o competencia. En el presente trabajo, a pesar de que se sabía que no era la mejor época para transplante, pues coincide con el trabajo de Jurado *et al.* (2006), se implementó el sistema de riego y el uso de micrositos para proveerla de condiciones que no pusieran en riesgo su supervivencia, aún así presenta procesos iguales en cuanto a la presencia de la mortalidad por herbivoría y quizá otras se encontraron altamente estresadas por la falta de la etapa de endurecimiento y época del transplante.

También la baja precipitación registrada durante el 2005 (figura 38), puede explicar parte de la elevada mortalidad encontrada en este experimento, pues la supervivencia en un medio ambiente semiárido está fuertemente limitado por la humedad del suelo disponible. Sólo se acumularon 68 mm de lluvia de enero a mayo de 2005, en comparación de los 181 mm acumulados en el año 2004 en los mismos meses. Quizá si no hubiera estado el sistema de riego con ollas de barro las plantas difícilmente habrían sobrevivido pues como la figura 38 indica, la baja precipitación y las altas temperaturas presentes ese año no hubieran logrado la supervivencia como lo mencionó el pronóstico climático que indicaba que se presentarían condiciones ligeramente más húmedas sobre amplias zonas del país en los primeros meses de la temporada de lluvias y no obstante, el inicio de la temporada de lluvias se retrasó, dando lugar a condiciones de sequía en varias partes del país, sobre todo en la región central, durante los meses de abril, mayo y junio, y en este último mes se esperaba que se normalizara el régimen de lluvias. Además se mencionó en el Foro Mundial del Agua que el año 2005 fue el año más cálido en 1000 años, e inclusive el Monte Kilimanjaro perdió su capa de nieve por primera vez en 10 000 años (Mario Molina, 2006).



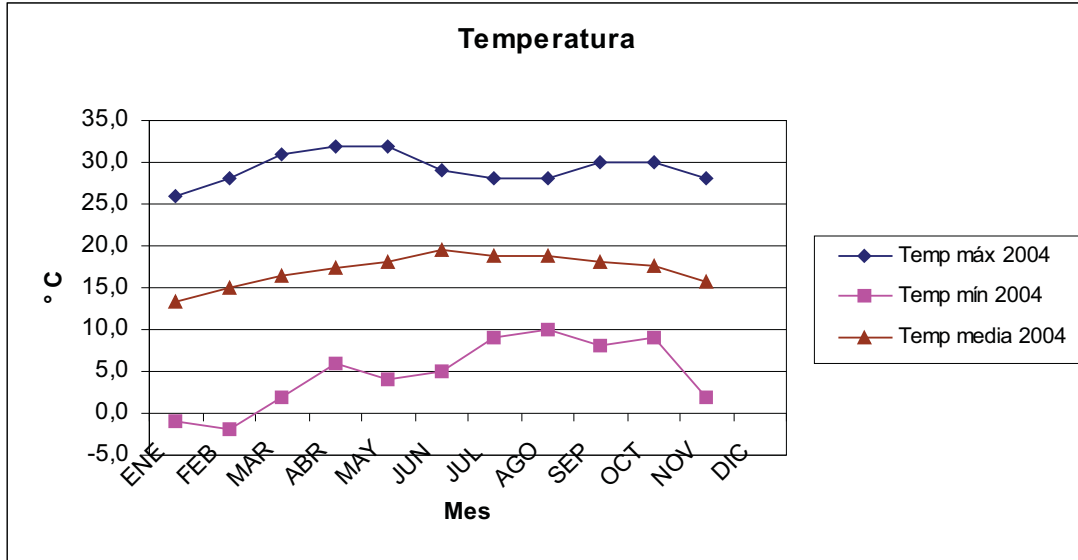


Figura 38. Precipitación del año 2004 e inicio del 2005 y temperatura máxima, mínima y media del año 2004, presentes en el Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo (www.smn.cna.gob.mx fecha de consulta: 04 10 05).

Los datos del Sistema Meteorológico Nacional se muestran en la figura 38 donde las condiciones climáticas del año 2005 fueron un poco más altas para los primeros dos meses pero en general fue muy escasa durante el periodo mas importante para el establecimiento de las plántulas de *Prosopis laevigata* (figura 39). La temperatura del año 2004 mantuvo cierta estabilidad respecto a la temperatura máxima, media y mínima, sin embargo para el año 2005 varió. Por ello se reitera que sin el sistema de riego de ollas de barro probablemente se hubiera tenido menor supervivencia e incluso sin los micrositos, pues como menciona Maestre *et al.*, (2002), que el efecto del microsito de vegetación puede no ser lo suficientemente benéfico para aumentar el establecimiento cuando las condiciones climáticas después del trasplante son extremadamente secas (como un verano de sequía elevada), o que exista un promedio bajo de lluvia, aunque en este caso el problema inicia con el periodo de trasplante lo cual fue estresante para las plantas pues además de haber sido en invierno no tuvieron periodo de endurecimiento. Pero si las condiciones de precipitación hubieran sido mejores habría mayor número de plantas palatables para los herbívoros y no sólo las de este trabajo.



Figura 39. Efecto de la sequía y herbivoría durante el establecimiento de plántulas de mezquite.

11.3. Micorrización

La influencia de la micorrización no se observó claramente en la altura, cobertura, número de pinnas y diámetro del tallo, ya que existieron factores que inhibieron este desarrollo, como las causas de mortalidad antes descritas.

Estudios de la influencia de la herbivoría en la colonización de raíces por HMA han dado resultados altamente variables, respuestas negativas, neutrales y positivas (citado en Klironomos, 2004). En general, la inoculación micorrícica produce un crecimiento significativo en la planta, en términos de altura, diámetro y biomasa de la planta (Bagyaraj *et al*, 2000). Por eso, se espera que el inóculo micorrícico incremente la supervivencia de la planta y resistencia a la sequía (Jasper, 1994), además de que se sabe que influye sobre el desarrollo y estabilidad del sistema planta-suelo como colonizador de ambos. También los HMA pueden mejorar significativamente la nutrición de los cultivos ampliando efectivamente la rizósfera de las plantas que ella coloniza, incluso la colonización micorrícica puede también, conferir en las plantas, gran tolerancia a los metales pesados y otras condiciones adversas en el suelo situaciones que podrían evaluarse en campo (Ortega *et al*, 2001), si el trabajo experimental durara mas de 1 año. En los ecosistemas áridos caracterizados por una distribución irregular de plantas individuales o de microhábitats como plantas nodriza sería de utilidad la integración temprana de plantas micotróficas a una comunidad a través del preestablecimiento de micelio de hma común, que pueda incrementar el rango de supervivencia de las plantas y que las no micotróficas puedan beneficiarse del mejoramiento de las condiciones de crecimiento brindadas por las islas de recursos formadas por las plantas nodrizas (Carrillo *et al*, 1999). Sin embargo, estos efectos no fueron evidentes para nuestros resultados.

Como ya se mencionó el tiempo que duró la evaluación del experimento posiblemente fue corto, pues siete meses de registros mensuales para conocer sobre el establecimiento de las plantas de *Prosopis laevigata* quizá son insuficientes si observamos en los datos que del mes 0 al 5 (ene-may) las condiciones estresantes en las

que se mantuvieron pocas de ellas aún viven y es hasta el mes 6 y 7 (jul-ago), donde muestran posibilidades de sobrevivir suponiendo que el factor vandalismo no opere en los meses siguientes. Por ello, la evaluación debe durar mas tiempo, de esta manera los efectos de la micorrización se podrían observar con mayor claridad una vez que se encuentren las plantas mas desarrolladas. Incluso las plantas que se inoculan en invernadero y después se llevan a campo deben tener no menos de 1 año de edad y se debe evaluar el porcentaje de colonización micorrícica que presentan y después de un año de establecidas realizar nuevamente la evaluación del porcentaje de colonización y conocer si persiste o se modifica.

Existen reportes que indican las ventajas de la micorrización (Tarafdar y Praven-Kumar, 1996), cuyos resultados obtenidos aluden al porcentaje de colonización de raíces, absorción de nutrimentos y producción de materia seca de diferentes especies de árbol, cultivo y pasto. Estos autores indican que los factores antes señalados siguieron aumentando con la inoculación micorrícica y a su vez, el incremento de adquisición de nutrimentos por dicha inoculación puede ser atribuida a la relación directa de la hifa y/o efecto indirecto que trae por los cambios morfológicos y fisiológicos en las raíces.

En el trabajo de Requena *et al.*, (2001), se observó que el efecto de la inoculación después del trasplante de plantas leguminosas, fue mas evidente en las propiedades fisicoquímicas del suelo, pues los microsimbiontes nativos, fueron los efectivos para aumentar la función y supervivencia de las plantas. Los resultados del experimento mostraron que la productividad de la planta incrementó con una mezcla de inóculo nativo de HMA. Quizá esto está sucediendo en las plantas del agostadero, sin embargo, no fueron consideradas para su evaluación por el corto tiempo de desarrollo del trabajo y es así como los resultados que se obtienen en estos estudios difieren de los que se reportan aquí, pues debe controlarse más para que sea notorio el beneficio de la inoculación micorrícica, puesto que las condiciones de campo son adversas en cualquier sitio y en el caso de una zona semiárida al existir plantas sanas y vigorosas resulta ser atractivas para todos los depredadores. Se reitera, aún cuando se sabe que los HMA tienen diferentes estrategias de crecimiento y distintos efectos en el crecimiento de la planta. Se ha sugerido que las plantas micorrizadas pueden diferir en la demanda del carbono, habilidad para competir con otras especies de HMA o sensibilidad al estrés fotosintético. El camino en el cual la herbivoría afecta ciertamente las características de la micorriza depende de las especies de hongos involucradas. Esto puede explicar la falta de concordancia entre estudios pasados en los cuáles la composición de especies de HMA fue frecuentemente desconocida (Klironomos *et al.*, 2004).

Un factor importante que las plantas de *Prosopis laevigata* sufrieron, es el que mencionan Klironomos *et al.* (2004), los cuales encontraron que el ramoneo influencia la estructura de la asociación micorrícica y esta respuesta es afectada por las especies de HMA. Desde entonces las plantas dentro de una comunidad puede ser asociada con diferentes HMA pero la herbivoría puede producir una extensa variación en los efectos en fenología y función micorrícica. La biomasa del vástago y la longitud de las raíces fueron significativamente influenciadas por la composición de especies de hongos y la frecuencia del ramoneo. Por ello, la composición de especies de HMA tiene un efecto significativo en cada variable medida.

Este estudio esta correlacionado con trabajos que muestran que los HMA nativos son importantes en la biodiversidad de especies y productividad del ecosistema. El inóculo establece relaciones sustentables con el trasplante, y puede mantener su

potencial en el ecosistema (Requena *et al.*, 2001). La esporulación de HMA en el ecosistema de estudio parece limitada, y se sugiere que el micelio sirva como principal origen de propágulos micorrícicos, ya que se sabe que en ambientes semiárido deteriorados la concentración de propágulos es bajo por la perturbación.

La diversidad funcional tiene potencial para explotación de la diversidad natural de HMA como origen para la formulación de inoculantes de HMA que puedan ser usados en programas de revegetación en la región (Ferrol *et al.* 2004), ya que mejoraría las condiciones medioambientales durante la fase de revegetación especialmente con el mínimo de agua y limitación por nutrimentos, aumentando el establecimiento de plantas y acelerando los procesos de revegetación (Clemente *et al.*, 2004).

La densidad del inóculo es importante cuando se trata de colonización micorrícica. Cuando la densidad del inóculo es moderado en el suelo, la planta regula esa colonización, si es posible. La colonización que responde a suelos perturbados, depende de la interacción entre las condiciones medioambientales y de los simbiontes involucrados (McGonigle y Miller, 2000). El tratamiento no micorrizado pudo haber sido colonizado por las interacciones presentes en el sitio, puesto que la supervivencia muestra que fue similar aunque con estrategias diferentes o también, se debería esperar mas tiempo antes de evaluar, pues quizá las plantas están regulando la colonización, pues su medio ambiente presenta condiciones adversas.

Las condiciones en las cuales se mantuvieron las plantas micorrizadas y no micorrizadas se comparan con los resultados de Plenchette, (1983), quien sugiere que la infección micorrícica puede beneficiar si el suelo es protegido en contra del pastoreo y de la presión antropogénica en la vegetación a fin de no reducir el desarrollo de HMA y además mejorar el éxito en la restauración de la fertilidad en el suelo. Asimismo, se recomienda poner atención en las leguminosas como es el caso de *Prosopis laevigata* por tener una alta dependencia micorrícica, la cual podría aumentar enormemente las comunidades de HMA e infección micorrícica del suelo (Duponnois *et al.*, 2001).

10.4. Influencia del sistema de riego

El sistema prehispánico de riego con ollas de barro según observaciones personales en campo resulto eficiente en el suministro de agua, situación que se apreció notoriamente alrededor de la olla para las plantas de *Prosopis laevigata* (mezquite), pues permitió la germinación y el establecimiento de otras plantas alrededor de la olla (figura 40). Además se observó en el mes de 1, 6 y 7 (feb., jul. y ago.) que algunas ollas recolectaron agua propia de las escasas lluvias presentes en la zona, pues en los días en que se realizó la evaluación de las plantas se notó que el agua removi6 la bolsa de plástico que cubrían las ollas y fue así como las llenó de agua de la escasa precipitación, lo cual significa que aún después del riego que se realizó las ollas fueron funcionales para recolectar agua de la temporada de lluvia.

El sistema conserva el agua aumentando su eficiencia en su uso para el establecimiento y desarrollo vegetal pues incrementa la efectividad del uso del agua para conservarla (Charalambous, 2001). Además de que la disponibilidad del agua y temperaturas extremas pueden ser los factores mas importantes que afectan la actividad

microbiana y estructura de la comunidad en ecosistemas semiáridos (Lassen *et al.*, en prensa).

a)



b)



c)



d)



Figura 40. Germinación de semillas de la zona de estudio alrededor del sistema de riego con olla de barro enterrada (fotos de a → d).

11.4.1. Interacción con otras especies

El sistema de riego suministró agua a las especies aledañas a la olla, por lo que se cataloga como benéfica, sin embargo, tras la germinación y emergencia de las plántulas estas podrían competir por el recurso hídrico y en la medida en que avanza en el desarrollo decrece la intensidad de competencia (figura 41). Se ha observado la limitación de nutrientes por la competencia entre crecimiento de plantas herbáceas que compiten con plantas leñosas y como el agua es probablemente el principal factor limitante, las diferencias en biomasa debido a el diferente suministro de nutrientes sólo se observa

cuando el agua no estuvo escasa (Espigares, *et al.*, 2004), es por esto que si se suspende el riego, la competencia sería evidente, si es que existiera. Pero la competencia no es la única causa de mortalidad, no debemos olvidar que el invierno como época de transplante es uno de los principales, o la relación entre los diferentes factores de mortalidad y es así que todo el peso no solo recae sobre el sistema de riego.

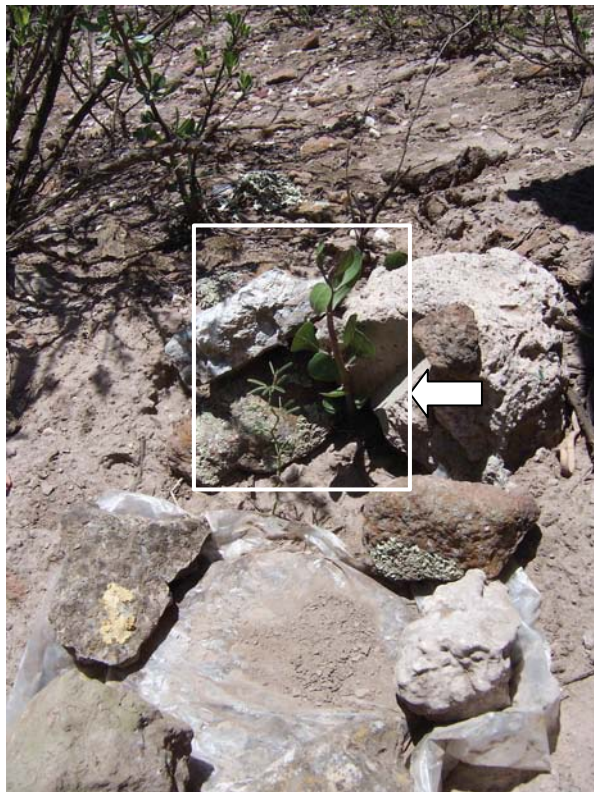


Figura 41. Establecimiento de otras plantas alrededor de la olla (flecha) y de la plántula de mezquite, aunque es una posibilidad de competencia.

10.4.2. Captación de agua por el mezquite

La disponibilidad de agua para individuos de *Prosopis* depende de la cantidad que esté presente en el suelo (agua capilar), la cual es absorbida por las raíces aunque parte de ésta puede perderse por evaporación directa a la atmósfera. Si no hay nuevos aportes de agua, el suelo se irá secando con el transcurso de los días, originando un estrés hídrico en la planta (Torres, 2005).

Debido a que los árboles del género *Prosopis*, cuya importancia en la economía rural de muchas zonas áridas y semiáridas del mundo ya se ha mencionado, tiene como particular valor su resistencia a calor extremo, sequía y alcalinidad, pastoreo y repetido corte (ramoneo) (Fagg y Stewart, 1994). Sin embargo la fragilidad durante el establecimiento de las plantas de *Prosopis laevigata* promueve la necesidad de un suministro hídrico pues el estrés que sufren al salir de condiciones de invernadero provoca alta mortalidad, por ello se trata de brindarle el factor considerado como limitante de zonas áridas y semiáridas.

10.4.3. Balance económico

El sistema de riego es de bajo costo, pero el tiempo y esfuerzo para prepararlo es grande, aunque es importante destacar que por ser completamente de materiales naturales no perjudica a las plantas o al suelo del lugar donde se coloque.

Además es una técnica que sugiere el uso de micrositos en islas de recursos, como los que promueve Maestre *et al*, (2002), con *Stipa tenacissima* en lugares disponibles para la introducción de planta para crecer rápidamente protegida.

Existen otras técnicas que deberían ser remplazadas por algunas no agresivas como la que se propone en este trabajo, por ejemplo uso de micrositos y este sistema de riego.

10.4.4. Ventajas y desventajas del sistema de riego

El riego tiene un efecto positivo en el crecimiento, en la capacidad de producción y reproducción total. De cualquier modo, si la intensidad del recorte es de 0-2 cm, el riego tiene un insignificante efecto en la reproducción (Keya, 1997), por este efecto de herbivoría no se pudo observar a detalle el efecto del sistema de riego en todas las plantas de este estudio.

El uso de este sistema de riego es ventajoso pues en las regiones con clima seco, la profundidad de siembra es sumamente importante, debido a que si ésta es muy superficial, se corre el riesgo de que se seque el terreno antes de establecerse el cultivo, pero las características y profundidad del suelo puede ser un factor importante, por ello este sistema de ollas de barro enterradas aporta agua directamente en las raíces.

Aunque una limitante para este sistema sería el no tener una toma de agua cercana al sitio, pues quizá transportarla al sitio sería costoso. En este caso se tuvo disponible una toma de agua desde la cual se acarrió agua a cada una de las ollas de barro enterradas, labor que requiere mucho tiempo y esfuerzo, por lo que es de suma importancia considerar antes de usar o implementar el sistema.

Es importante el riego pues experimentos que duran varios años, entre diferentes tiempos de riego, indican que el riego temprano (aplicado inmediatamente después de la plantación) usualmente es el más eficiente (Fuchs, 1973) y este sistema incide inmediatamente ya que se realiza el transplante e inicia el riego al momento y así se evita, el estrés del transplante. Asimismo este sistema de riego promovió el desarrollo radical de las plantas de mezquite pues se observó en los dos tratamientos, donde las raíces de las plantas se pegan a la olla buscando el aporte de agua (figura 42).

a)



b)



c)



d)



e)



f)



Figura 42. Efecto del desarrollo radical de las plántulas de mezquite en la superficie de las ollas y área donde se colocó el sistema de riego (fotos de a → f).

El mismo sistema de riego fue aplicado en invernadero, con una planta de mezquite del tratamiento micorrizado (M+) colocado en una bandeja con suelo del sitio, el cual tuvo un crecimiento notable a simple vista, pues le dobló el tamaño a cualquiera de las plantas de las que se encuentran en campo además de presentar tallos largos, como se observa en la figura 43, ya que esta planta está aislada y por lo tanto exenta de los de la herbivoría, sequía y vandalismo y estrés del transplante.



Figura 43. Experimento del sistema de riego con olla de barro enterrada en un contenedor de plástico con una plántula de mezquite con tratamiento micorrizado, puesto simultáneamente con el experimento realizado en el agostadero semiárido.

10.5 Nodrizaje

Para realizar actividades de restauración es necesario contemplar el nodrizaje como una técnica que no es agresiva y además sugiere el uso de microsítios para la introducción del sistema y la planta. En este caso *Flourensia* sp. fungió como planta nodriza la cual es una especie dominante en la zona de estudio por lo que presenta altas posibilidades de incrementar la cobertura vegetal de las plantas que se transplantan bajo su copa, pues las nodrizas abaten significativamente las temperaturas, en relación al suelo desnudo donde fueron más altas, además de que permitiría revertir el efecto de la erosión y la degradación de los agostaderos semiáridos según datos obtenidos por Avilés y Cortés (1997). Estos resultados muestran que en adición al agua, hay otros factores influenciando el establecimiento de plantas en ambientes áridos, como las altas temperaturas, predación por herbívoros y alta radiación solar (Jurado, *et al.*, 2006). Jiménez-Lobato y Valverde, (2006) encontraron que los matorrales son elementos importantes en la revegetación semiárida. Ellos proveen microhábitats para el establecimiento de muchas especies bajo su dosel, así, mantienen la estructura de la comunidad y aunque *Flourensia* sp. no se encuentra en forma de matorral, es una especie dominante en el agostadero y útil para lograr el establecimiento.

Por ejemplo el microsítio provisto por *Stipa tenacissima* (pasto de España) fue capaz de facilitar el establecimiento de matorrales durante los primeros meses después de su plantación, a pesar del tratamiento de inoculación. Esta facilitación parece que

media los cambios en las propiedades del suelo y microclima inducido por *S. tenacísima*, mas que la principal potencialidad de incrementar la disponibilidad de agua en el micrositio (Maestre *et al.*, 2002).

Aunque se podrían utilizar matorrales densos como en el trabajo de Jurado *et al.* (2006), donde todas las plantas nativas evaluadas mostraron mejor establecimiento bajo matorral denso lo cual puede ser un resultado de condiciones mas estables con un dosel de vegetación denso que podría amortiguar las condiciones locales, no significa que la cobertura de *Flourensia* sp. no contribuya con el establecimiento pero se puede mejorar esta condición.

Además los beneficios del nodrizaje se exponen en trabajos donde fue notoria la diferencia, como el de Jiménez-Lobato y Valverde (2006), que obtuvieron resultados sobre el establecimiento después de 7 meses significativamente mayor en condiciones bajo sombra que expuesto a la luz puesto que observaron que la protección de una planta nodriza, durante la primera etapa del ciclo de vida para la supervivencia de la planta, llega a ser mas importante que las condiciones medioambientales que la rodean durante la estación seca. De cualquier modo, los beneficios suministrados por los micrositios vegetales pueden no ser suficientes para asegurar el establecimiento cuando las condiciones climáticas después de la plantación son extremadamente secas (Maestre *et al.* 2002).

Es así como, para Maestre y Cortina (2004), los matorrales son muy importantes en funcionamiento y dinámica de vegetación semiárida por su influencia como reservorio de la diversidad de especies perennes. La conservación de restos de matorrales y el incremento del número y área cubierta por ellos, podría ser una prioridad dentro de la dirección de estos sitios, y podría ayudar sustancialmente a acelerar los procesos sucesionales en estas áreas.

Pues la protección de una planta nodriza resulta en una probabilidad significativa de alta supervivencia de la planta a diferencia de espacios abiertos, igual que en sitios erosionados e incluso preservados (Jiménez-Lobato y Valverde, 2006).

De hecho la mayoría de los cultivos comercialmente importantes están ubicados en relieve bajo condiciones de nodrizaje antes de ser transplantadas a campo, la inoculación del suelo donde esta la nodriza podría no solo resultar para recuperar los costos de producción del inóculo, sino que también ayuda en el establecimiento tras el trasplante de las plantas cultivadas (Bagyaraj *et al.*, 2000). Y respecto al inóculo, el nodrizaje también tiene otro beneficio pues los micrositios bajo el dosel tienen concentración alta de glomalina (mucigel que las hifas producen y excretan en las raíces e hifas externas y de esta manera participan en la agregación del suelo), comparada con micrositios abiertos (Rillig *et al.*, 2003). Por ello con mas tiempo de registro de datos se podría observar la eficiencia del nodrizaje vegetal.

Según el trabajo de Avilés y Cortés, (1997) las especies de *Flourensia resinosa* y *Mimosa biuncifera* proporcionan desde el punto de vista edáfico las condiciones más recomendables para el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales en el agostadero semiárido en términos de pH, densidad aparente, contenido de materia orgánica y concentración de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, las características por las cuales se utilizó como nodriza a *Flourensia* sp. es una cadena de sucesos los cuales ocurren en una planta nodriza cuyos atributos empiezan brindando hojarasca al suelo la

cual sirve como protección solar, dando sombra y de esta manera disminuyen la temperatura conservando la humedad del sitio. La hojarasca influye en la densidad aparente del suelo y aporta materia orgánica al suelo, a esto aunada la función de los micrositos que generan las rocas ubicadas bajo el dosel de la planta nodriza.

En el trabajo de Avilés y Cortés (1997), obtuvieron que *Flourensia resinosa* es funcional como nodriza y encontraron mayor porcentaje de establecimiento y desarrollo vegetal en el establecimiento de *Bouteloua gracilis*. Es importante considerar que esta especie (*Bouteloua gracilis*) revierte la erosión y degradación del ecosistema, por lo que se convierte en una alternativa de los agostaderos áridos y semiáridos.

Es así como el microsito creado por *Flourensia* sp. facilitó el establecimiento de *Prosopis laevigata* durante los meses 1 a 4 (feb.-may.) en mas de un 60%; sin embargo, las diferentes causas de mortalidad desempeñaron un papel importante y evitaron el efecto de nodrizaje generado por *Flourensia* sp. el cual es efectivo para lograr el establecimiento pues las plantas que aún sobreviven bajo su cobertura se les debería dar seguimiento y conocer los efectos cuando la planta de *Prosopis laevigata* tenga una talla similar a su nodriza y también para observar el efecto de la micorrización. Algo importante es que se observó el establecimiento de una plántula de *Opuntia imbricata* a un costado de la planta de mezquite (figura 44). Esta facilitación inducida por *Flourensia* sp. permite la disponibilidad de agua por la olla presente y el microsito generado por las rocas del sitio y aledañas.

a)



b)



Figura 44. Establecimiento de *Opuntia imbricata* a un costado de la plántula de mezquite, la cual, la esta protegiendo (a y b).

Cuadro 7. Cuadro sintético de los resultados

Parámetros/Tratamientos	M+	M-	Observaciones
Establecimiento (supervivencia)	30 %	26.6%	Fue mayor el del tratamiento M+
Mortalidad por herbivoría	33.3%	60%	El tratamiento M- mostró mayor mortalidad a este factor
Mortalidad por sequía	6.66%	3.33%	Impactó más al tratamiento M+
Mortalidad por sequía y herbivoría	20%	6.66%	Mayor mortalidad al tratamiento M-, tolerando mejor el M+
Mortalidad por herbivoría + vandalismo	6.66%	0.0%	Fue mas afectado el tratamiento M+
Mortalidad por herbivoría + sequía + vandalismo	3.33%	3.33%	Igual para los dos tratamientos
Altura máxima, cobertura foliar, número de pinnas, diámetro de tallo	–	–	No hay diferencias significativas
RGR	–	–	No hay diferencias significativas
Sistema de riego	✓	✓	Efectivo para ambos tratamientos
Nodrizaje por <i>Flourensia</i> sp.	✓	✓	Efectivo para ambos tratamientos

11. CONCLUSIONES

No hubo efecto significativo de la micorrización. El crecimiento fue obstaculizado por procesos de herbivoría, sequía y vandalismo.

El porcentaje de supervivencia después de 7 meses para el tratamiento M+ fue de 30% y 26.6% para el M-.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables de crecimiento: altura máxima, número de pinnas, cobertura foliar y diámetro del tallo.

No se encontraron diferencias significativas para la RGR del tallo.

El sistema de riego por goteo, consistente en ollas de barro enterradas, de 7 litros de volumen, es un sistema de irrigación eficiente, en programas de repoblamiento vegetal en agostaderos semiáridos deteriorados.

A pesar de la intensa presión selectiva por herbivoría en el sitio, debido a que la presencia de otras plantas verdes palatables era nula, los mezquites rebrotan en la base del tallo, lo que les permiten sobrevivir.

La herbivoría fue el factor que impactó con mayor severidad a las plantas de *Prosopis laevigata*.

El nodrizaje vegetal provisto por *Flourensia* sp. fue eficiente durante los 7 meses de experimentación.

12. RECOMENDACIONES

El uso de plantas nodrizas para prácticas de revegetación, además del uso artificial de sombra, agua y geles que mantienen la humedad podría ser considerada en practicas de restauración ecológica.

Se sugiere que se transplante durante el mes de julio a agosto, meses en los cuales existe precipitación.

Se recomienda para futuros experimentos proteger las plantas, para así disminuir el impacto de la herbivoría especialmente por mamíferos.

Es necesario realizar pruebas con otro tipo de cementante, además de las pectinas y la cal para la pintura orgánica vegetal con la que se cubrieron las ollas para controlar aún más la filtración.

Buscar otro tipo de tapadera para las ollas que también sea orgánica, para sustituir las bolsas de plástico y ligas.

Se recomienda que las plantas sean de por lo menos 1 año de edad, ya que las utilizadas en este experimento fueron de 6 meses, momento en el cual aun no lignificaron y quizá eso hubiera ayudado mas para la resistencia ante la herbivoría.

Se recomienda que las plantas se preadaptan (endurecimiento) antes del transplante a campo

Se debe conocer el porcentaje de colonización de las plantas antes de transplantarlas a campo, y también después de un tiempo en campo, y conocer como es que varió, y también se debe considerar un stock de plantas para este proceso.

Se recomienda darle seguimiento a un experimento de este tipo y así conocer el efecto de la micorriza, el sistema de riego y el papel de la herbivoría sobre las plantas de mezquite.

13. REFERENCIAS

- Allen, B. E., Allen, F. M., Egerton-Warburton, L., Corkidi, L. y Gómez-Pompa, A. 2003. Impacts of early- and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, México. *Ecological Applications*, 13 (6). pp 1701-1717.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C. y Pontanier, R. 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology* Vol. 1 (1):8-17.
- Avilés, M. S. M. y Cortés, C. J. C. 1997. Establecimiento del zacate navajita (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. ex Steud) a través del nodrizaje vegetal, en un agostadero semiárido del Valle de Actopan, Estado de Hidalgo. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.
- Azcón, A. C., Palenzuela, J., Roldán, A., Bautista, S., Vallejo, R. y Barea, J. M. 2003. Análisis of the mycorrhizal potencial in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*. 22, 29-37.
- Bagyaraj, D. J., Reddy, B. J. D. y Rajan, S. K. 2000. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. *Forest Ecology and Management* 126: 91-95.
- Bainbridge, A. D. 1990. The restoration of agricultural lads and dry lands. En: Berger, J. J. (editor). *Environmental restoration: science and strategies for restoration of the earth*. Island Press, Washington D.C. E.U.
- Bainbridge, A. D. 2001. "Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation". *Agricultural Water Management* 48 (2001) 79-88.
- Bolen, E. G. 1998. *Ecology of North America*. John Wiley and Sons, Inc. Estados Unidos.
- Bond, J. W. and Midgley, J. J. 2001. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *TRENDS in Ecology & Evolution*. Vol. 16. No. 1.
- Bradshaw, A. D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17.
- Brundett, M. 2004. Diversity and clasification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev.* 79, pp. 473-495.
- Burley, J. 1982. Obstacles to tree planning in arid and semi-arid lands: comparative case studies from India and Kenya. The United Nations University. Japan.
- Camargo, R. S. L. y Dhillion Shivcharn S. 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13:129-136.

Camargo, R. S. L., Dhillon Shivcharn S. y Jiménez González C. 2003. Mycorrhizal perennials of the "matorral xerófilo" and the "selva baja caducifolia" communities in the semiarid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13: 77-83.

Caravaca, F., Barea, J. M., Palenzuela, J., Figueroa, D., Alguacil, M. M. y Roldán, A. 2003. Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology* 22, 103-111.

Carrillo, G. A., León de la Luz, J. L., Bashan, Y. y Bethlenfalvay, G. J. 1999. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology*. Vol.7 No.4, pp 321-335.

Charalambous, C. N. 2001. Water management under drought conditions. *Desalination* 138. 3-6.

Clarke, G. L. 1975. Elementos de ecología. Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro. 2ª edición. La Habana, Cuba.

Clemente, A. S., Werner, C., Máguas, C., Cabral, M. S., Martins-Loução, and Corrcia, O. 2004. Restoration of a Limestone Quarry: Effect of Soil Amendmentson

Cloudsley, T., J. L. 1979. El hombre y la biología de zonas áridas. Editorial Blume. España.

Collier, C. S., Yes, T. C. y R. Herman, P. 2003. Mycorrhizal dependency of Chihuahuan Desert plants is influenced by life history strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments* 55 (2003) 223-229.

Cumpa, R. J. S., Palacios, V. E. y Exebio, G. A. 1988. Efecto del déficit de humedad y características físicas del suelo en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* No. 73. México.

De la peña de la Torre, I. y Llerena Villalpando, F. A. 2001. Manual del uso y manejo del agua de riego. 3ª edición. Edit. Patronato para la producción y extensión agrícola y ganadera. Sonora, México.

Deming, H. G. 1979. El Agua un recurso insustituible. Editorial Nuevomar, S. A. de C. V. México.

Duponnois, R., Plenchette, C., Thioulouse, J. and Cadet, P. 2001. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology* 17, 239-251.

Escalante, G. L. 1995. Caracterización y evaluación de las condiciones microambientales asociadas a microsítios que favorecen la germinación y establecimiento de *Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. en un agostadero de Santiago de Anaya, del Valle de Actopan, estado de Hidalgo. Tesis profesional. ENEP Zaragoza, UNAM.

Espigares, T., López-Pintor, A., y Rey, B. JM. 2004. Is the interaction between *Retama sphaerocarpa* and its understorey herbaceous vegetation always reciprocally positive? Competition-facilitation shift during *Retama* establishment. *Acta Oecologica* 26, 121-128.

Fagg, C. W. & Stewart, J. L. 1994. The value of *Acacia* and *Prosopis* in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments* 27:3-25.

Ferrera, C. R., González, Ch. M.C. y Rodríguez, M.M.N. 1993. Manual de Agromicrobiología. Editorial Trillas. México.

Ferrol, N., Caliente, R., Cano, C., Barea, JM., y Azcón-Aguilar, C. 2004. Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology*. 25. 123-133.

Fuchs, M. 1973. Climate and Irrigation. En: edited by Varon, B., Danfong, E. and Vaadia, Y. *Ecological studies. Análisis and Síntesis. Volume 5.* Spring Verlag. Berlin, Germany.

Gil, C. 2005. No sólo pa' carbón sirve el Mezquite. PRONATURA. Septiembre. México.

González, Ch. M.C. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular. En: Ferrera, C. R., González, C. Ma. Del C. y Rodríguez, M. Ma de las N. (editores). Manual de agromicrobiología. Editorial Trillas. México.

González, Ch. M.C., Gutiérrez-Castorena, M.C. y Wright, S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation and its stability. Terra Latinoamericana* 22: 507-514.

Greulach, V. A. y Edison, J. A. 1990. Las plantas. Introducción a la Botánica Moderna. Editorial LIMUSA. México.

Harley, J. L. y Smith, S. E. 1983. *Mycorrhizal simbiosis.* Academia Press. London.

Harker, D., Evans, S., Evans, M. y Harker, K. 1993. *Landscape Restoration Handbook.* New York Audubon Society. USA.

Hernández, C. L., Castillo A. S., Guadarrama, Ch. P., Martínez, O. Y., Romero, R. M.A. y Sánchez, G. I. 2003. Hongos Micorrizógenos Arbusculares del Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Jasper, D. A. 1994. Management of micorriza in agricultura, horticultura and forestry, in A. D. Robson, L. K. Abbott, and N. Malajezuk, editors. *Proceedings of the International Symposium on Management of Mycorrhiza in Agriculture, Horticulture and Forestry, Perth, Western Australia, September 28 October 2, 1992.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, London.

Jasper, D. A., Abbott, L. K. and Robson, A. D. 1992. Soil disturbance in native ecosystems –The decline and recovery of infectivity of VA Mycorrhizal Fungi. En: *Mycorrhizas in ecosystems.* Edited by D. J. read, D. H. Lewis, A. H. Fitter, I. J. Alexander. Cab International. UK.

Jiménez-Lobato, y Valverde, T. 2006. Population dynamics of shrub *Acacia bilimekii* in a semi-desert region in central Mexico. *Journal of Arid Environments*. 65, 29-45.

Jurado, E., García, F. J., Flores, J. y Estrada, E. 2006. Leguminous seedling establishment in Tamaulipas thornscrub of northeastern México. *Forest Ecology and Management*. 221, 133-139.

Keya, A. G. 1997. Effects of herbivory on the production ecology of the perennial grass *Leptothrium senegalense* (Kunth.) in the arid lands of Northern Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 66: 101-111.

Klironomos, N. J., McCune, J. y Moutoglis, M. 2004. Species of arbuscular mycorrhizal fungi effect mycorrhizal responses to simulated herbivory. *Applied Soil Ecology*. 26. 133-141.

Krebs, J. Charles. 1985. *ECOLOGÍA, Estudio de la distribución y abundancia*. 2ª edición. Editorial Harla. México.

Lassen, T. A., Demarco, J., Hart, S. C., Whitham, G. T., Cobb, S. N. And Koch, W. G. En prensa. Impacts of herbivorous insects on decomposer communities during the early stages of primary succession in a semi-arid woodland. *Soil Biology & Biochemistry*. 1-11.

Maestre, T. F., Bautista, S., Cortina, J., Díaz, G., Honrubia, M. y Vallejo, R. 2002. Microsite and mycorrhizal inoculum effects on the establishment of *Quercus coccifera* in a semi-arid degraded steppe. *Ecological Engineering* 19: 289-295.

Maestre, T. F., y Cortina, J. 2004. Remnant shrubs in Mediterranean semi-arid steppes: effects of shrub size, abiotic factors and species identity on understory richness and occurrence. *Acta Oecologica*.

Maldonado, J. L. 1991. Caracterización y usos de los recursos naturales de las zonas áridas. En: *Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México*. José D. Molina Galán (editor). Colegio de Postgraduados. México.

McGonigle, P. T. and Miller, H. M. 2000. The inconsistent effect of soil disturbance on colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi: a test of the inoculum density hypothesis. *Applied Soil Ecology* 14. 147-155.

Medina, S.J., J. A. 2000. *Riego por goteo*. Ediciones Mundi Prensa. 4ª edición. España.

Molina, M. 2006. Comunicación personal.

Monroy, A. A., García S. R., Escalante G. L. y Orozco A. M. S. 2000. Establecimiento del zacate navajita (*Bouteloua gracilis*) en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo. *II Simposium internacional sobre la utilización y aprovechamiento de la flora silvestre de Zonas Áridas*. México.

Monroy, A. A. 2002. *En busca del paraíso perdido: restauración ecológica*. Conversus. Febrero. México.

Monroy, A. A. 2003. *Manual de prácticas de Educación Ambiental*. México. En prensa.

Montaño, A. N. M. 2000. Potencialidad de los hongos micorrizógenos arbusculares de las islas de fertilidad de mezquite (*Prosopis laevigata*) de dos agostaderos semiáridos del

Valle de Actopan, México Central. Un enfoque ecológico para recuperar la vegetación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.

Montaño, A. N. y Monroy, A. A. 2000. Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. Ciencia y Desarrollo 154.

Morton, J. B. 2001. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. Mycologia. 93 (1) 181- 195.

Mosiño, A. P. A. 1991. Climatología de las zonas áridas y semiáridas de México. En: Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. José D. Molina Galán editor. Colegio de Postgraduados. México.

Nagel, C. 1995. Una opción productiva: el mezquite. Ocelotl, Revista mexicana de la conservación, Pronatura. México.

Orozco, A. M. S. 1993. Efecto de la profundidad de siembra y la fertilización en el establecimiento de tres zacates forrajeros. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias, Especialidad Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Ortega, L. M. P., Siebe C., Bécard G., Méndez I. y Webster R. 2001. Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. Applied Soil ecology 16: 149-157.

Patr, H. C. 1983. Soil water- plant relations irrigation formely. Irrigation formely sprinler irrigation. The irrigation association. Maryland, USA.

Peña, B. J. C. 2002. Influencia de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el establecimiento de *Mimosa biuncifera* Benth. bajo condiciones de sequía en un invernadero. Tesis profesional de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.

Perry, A. D. y Amaranthus P. M. 1990. The plant-soil bootstrap: Microorganisms and reclamation of degraded ecosystems. En: Berger, J. J. (editor). Environmental restoration: science and strategies for restoration of the earth. Island Press, Washington D.C. E.U.

Plenchette, C., Fortin, J. A. and Furlan, V. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility I. Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant Soil 70 (2), 199-209.

Purrington, B. Colin. 2000. Costs of resistance. Biotic Interactions.

Raman, N. and Mahadevan A. Mycorrhizal research – a priority in agriculture. En: Handbook of vegetation Science H. Lieth, editor in chief. Concepts in Mycorrhizal Research. Edited by K.G. Mukerji. Volume 19/2. 1996. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Ramírez, G. A. y Villanueva, D. J. 1991. Reforestación con mezquite en la zona media y altiplano potosino. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias de San Luis Potosí. Folleto para productores No. 9. S.L.P. México.

Ramírez, G. A. y Villanueva, D. J. 1998. Selección y manejo de material reproductivo de mezquite (*Prosopis spp*). Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Centro de investigación regional noreste campo experimental palma de la cruz, S.L.P. Folleto técnico No. 9. S.L.P. México.

Rao, A. V. & Tak Richa. 2002. Growth of different tree species and their nutrient uptake in limestone mine spoil as influenced by arbuscular mycorrhizal (AM)- fungi in Indian arid zone. *Journal of Arids Environments* 51: 113-119.

Requena, N., Pérez-Solis, E., Azcón-Aguilar, C., Jeffries, P., Barea, J.M. 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microb.* 67, 495-498).

Rillig, C. M., Maestre, T. F. y Lamit, J. L.. 2003. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biology y Biochemistry.* 35, 1257-1260.

Robinson, D. M. 2003. The importance of native trees in sustaining biodiversity in arid lands. En: Lemons J., Victor R. y Shaffer D. (editores). *Conserving Biodiversity in Arid Regions. Best practices in developing nations.* Edit. Kluwer Academia Publishers. USA.

Ross, A. V. 1990. Desert Restoration: the role of woody legumes. En: Berger, J. J. (editor). *Environmental restoration: science and strategies for restoration of the earth.* Island Press, Washington D.C. E.U.

Rzedowski, J. 1979. *Flora fanerógama del Valle de México.* Editorial Continental. México.

Rzedowski, J. 1991. La cubierta vegetal de las zonas áridas y su aprovechamiento. En: *Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México.* José D. Molina Galán (editor). Colegio de Postgraduados. México.

Rzedowski, J. 1994. *Vegetación de México.* Editorial Limusa. México.

Scheidel, U., and Bruelheide, H. 2005. Effects of slug herbivory on the seedling establishment of two montane Asteraceae species. *Flora* 200. 309-320.

Schüßler, A., Schwarzott, O. y Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota phylogeny and evolution. *Mycology Research.* 105:1413-1421.

Selosse, M. A. y Le Tacon, F. 1998. The land flora: A phototroph-fungus partnership? *Trends Ecol. Evol.* 13:15-20.

St. John, V. T. 1990. Mycorrhizal inoculation of container stock for restoration of self-sufficient vegetation. En: Berger, J. J. (editor). *Environmental restoration: science and strategies for restoration of the earth.* Island Press, Washington D.C. E.U.

Strauss, Y. S. y Agrawal A. A. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Tree* Vol. 14, No. 5.

Tarafdar, J. C. y Praveen-Kumar. 1996. The role of vesicular mycorrhizal fungi on crop, tree and grasses grown in an arid environment. *Journal of Arid Environment*. 197-203.

Torres, A. A. E. 2005. Establecimiento de plántulas de mezquite (*Prosopis laevigata*) inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), bajo condiciones de sequía en invernadero. Tesis de Licenciatura de Biología. Facultad de estudios Superiores Zaragoza. UNAM, México.

Tranfo L., 1989. La vida y magia en un pueblo otomí del Mezquital, Editorial. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México.

Urbanska, K. M. 1997. Safe sites-interfae of plant population ecology and restoration ecology. En: Urbanska, K. M., Webb, N. R. y Edwards, P. J. (editores). *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge University press, Reino Unido. Pp. 81-110.

Varma. A. 1999. "Functions and application of Arbuscular mycorrhizal Fungi in Arid and Semi-Arid Soils". En: *Mycorrhiza. Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. 2ª ed. A. Varma y B. Hock. Editors. Edit. Springer. Germany.

Velasco-Molina, H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. Editorial Limusa. México.

Villalobos de, A. E., Peláez D. V. y Elia O. R. 2004. Factors related to establishment of *Prosopis caldenia* Burk. Seedlings in central rangelands of Argentina. *Acta Oecologica*. En prensa.

Villanueva, D. J. 1993. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. *Johnst*), en el estado de San Luis Potosí. Boletín divulgativo No. 74. Instituto de investigaciones forestales y agropecuarias. División forestal. 2ª edición. Coyoacán. México.

Villanueva, D. J., Jasso, I. R., Potisek, T. C. 2001. Estudio comparativo de dos mezquiteras en la comarca lagunera con base a su dinámica, volumen maderable y crecimiento anual. Reunión estatal de ciencia y tecnología Durango, Dgo.

Warren, A., Sud, Y.C. y the late Rozanov, B. 1996. The future of deserts. *Journal of Arid Environments*. 32: 75-89.

www.smn.cna.gob.mx

Fecha de consulta: 04 10 05

NOTA INFORMATIVA SOBRE LAS PREDICCIONES CLIMÁTICAS PARA EL VERANO 2005. Referencia VIII foro de predicción climática realizada en Tuxtla Gutierrez Chiapas, el 8 de abril de 2005. Responsables de la nota, Miguel Cortez, Jorge Luis Vázquez, Mario Tiscareño.

<http://www.fao.org/noticias/1997/970409-s.htm>

fecha de consulta: 25 05 06

<http://spectre.nmsu.edu/media>

fecha de consulta: 25 05 06

<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/p-cap10.html>

fecha de consulta: 25 05 06

14. ANEXO I

CUADROS

CUADRO 2. Comparación de medias para la variable altura máxima en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	405.922518	15	27.0615012	2.94	0.0005
mes	279.121265	7	39.8744664	4.33	0.0003
trat	25.0330889	1	25.0330889	2.72	0.1018
mes*trat	95.3183266	7	13.6169038	1.48	0.1810
Residual	1104.66152	120	9.20551271		
Total	1510.58404	135	11.1895114		

CUADRO 3. Comparación de medias para la variable número de pinnas en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	2209.25259	15	147.283506	2.27	0.0084
mes	1660.88941	7	237.269916	3.65	0.0015
trat	28.2557749	1	28.2557749	0.43	0.5111
mes*trat	585.431425	7	83.6330607	1.29	0.2642
Residual	6628.06944	102	64.981073		
Total	8837.32203	117	75.532667		

CUADRO 4. Comparación de medias para la variable cobertura foliar en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	99.3836234	15	6.62557489	5.54	0.0000
mes	84.3542685	7	12.0506098	10.07	0.0000
trat	.233013724	1	.233013724	0.19	0.6599
mes*trat	11.6216581	7	1.66023688	1.39	0.2188
Residual	118.418944	99	1.19615095		
Total	217.802567	114	1.91054884		

CUADRO 5. Comparación de medias para la variable diámetro del tallo en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	.060084721	15	.004005648	4.15	0.0000
mes	.042477449	7	.006068207	6.28	0.0000
trat	.002313889	1	.002313889	2.40	0.1243
mes*trat	.017971569	7	.002567367	2.66	0.0136
Residual	.11590277	120	.000965856		
Total	.17598749	135	.001303611		

CUADRO 6. Comparación de medias para la variable tasa relativa de crecimiento (RGR) del tallo en plantas de *Prosopis laevigata*, para los siete meses de evaluación.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.07074E-06	1	1.07074E-06	2.19808381	0.158886129	4.543068144
Dentro de los grupos	7.30689E-06	15	4.87126E-07			

ANEXO II

PINTURA ECOLÓGICA

Rinde aproximadamente 7 litros

Tiempo de elaboración: un día

Material

a) Ingredientes

- 6 litros de agua
- 7 nopales grandes cortados en trozos muy pequeños
- 2 ½ kg de cal
- 2 tazas de sal de grano (NaCl)
- colorantes para cemento del color deseado (la cantidad de colorante a utilizar depende de la intensidad de color deseada)

b) Utensilios

- olla con capacidad mínima de 4 litros
- colador grande
- cubeta o recipiente con capacidad de 8 litros
- palo de 50 cm limpio
- embudo
- recipientes de plástico con tapa, bien limpios y secos, suficientes para envasar 7 litros de pintura (recicle garrafones y botellas)
- etiquetas adheribles (una por envase)

Procedimiento

Ponga los nopales en la olla y agregue 2 litros de agua; hiérvalos durante 20 minutos y déjelos reposar durante toda la noche para que suelten perfectamente la baba o mucílago (pectinas).

Al día siguiente, mezcle en la cubeta la cal, la sal, y el agua restante, moviendo constantemente con el palo de madera. Utilice el colador para agregar la baba de nopal e incorpore bien.

Agregue poco a poco el colorante hasta obtener el tono deseado. Si quiere preparar pintura blanca no es necesario el colorante.

Agite la pintura y ensaye la consistencia de la pintura sobre madera o sobre una pared limpia y seca aplicando dos capas con brocha o rodillo.

Envasado y conservación

Con la ayuda del embudo vacíe la pintura en los recipientes y manténgalos bien cerrados hasta ocupar la pintura.

Coloque a cada uno una etiqueta con el nombre del producto, la fecha de elaboración y la de caducidad.

La pintura se mantiene en buenas condiciones hasta por un mes si la conserva en un lugar seco y oscuro.

Recomendaciones

Use guantes y cubre boca durante la elaboración del producto

Etiquete los ingredientes sobrantes en sus respectivos envases y consérvelos en un lugar seco fuera del alcance de los niños

Puede agregar "blanco de España" (se consigue en las tlapalerías o distribuidoras de cemento) para darle más consistencia a la pintura