



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**Establecimiento de *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha* bajo
plantas nodrizas micorrizadas, en la zona arqueológica de
Teotihuacán, Estado de México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGA

P R E S E N T A:
MENDOZA MENDOZA ITZEN

Director de tesis: Dr. Arcadio Monroy Ata
Unidad de Investigación en Ecología Vegetal



Ciudad de México, septiembre 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Marco teórico.....	3
3.1 Zona de estudio.....	3
3.2 Hongos micorrizógenos arbusculares.....	5
3.3 Nodrizaje en plantas.....	6
3.4 Mosaicos vegetales.....	7
3.5 <i>Prosopis laevigata</i> (Hum. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.	7
3.6 <i>Agave salmiana</i> (Otto Ex Salm-Dick.).....	8
3.7 <i>Opuntia streptacantha</i> (Tourn.) Mill.	9
4. Justificación.....	9
5. Planteamiento del problema.....	10
6. Hipótesis.....	11
7. Objetivos.....	11
7.1 Objetivo general.....	11
7.2 Objetivos particulares.....	11
8. Método.....	11
8.1 Trabajo de invernadero.....	11
8.1.1 Preparación y esterilización del suelo.....	12
8.1.2 Germinación de semillas.....	12
8.1.3 Preparación de los tubos.....	12
8.1.4 Procedencia y manejo de plantas.....	13
8.2 Trabajo de campo.....	14
8.2.1 Diseño experimental.....	14
8.2.2 Análisis estadístico.....	16
8.2.3 Mediciones.....	17
8.2.4 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	17
8.2.5 Cobertura.....	17
8.2.6 Número de pinnas y pencas.....	17
8.2.7 Porcentaje de supervivencia.....	18

8.2.8 Análisis de suelo.....	18
8.3 Trabajo de laboratorio.....	19
8.3.1 Preparación del suelo.....	19
8.3.2 pH.....	19
8.3.3 Densidad aparente.....	20
8.3.4 Densidad real.....	20
8.3.5 Porosidad.....	21
8.3.6 Conteo de esporas.....	21
8.4 Diagrama de flujo de la metodología.....	23
9. Resultados y discusión.....	24
9.1 Análisis del suelo.....	24
9.2 Altura.....	25
9.3 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	28
9.4 Cobertura.....	30
9.5 Número de pinnas/pencas.....	32
9.6 Porcentaje de supervivencia.....	35
10. Conclusiones.....	42
11. Referencias.....	43
11.1 Páginas web.....	46
12. Anexos.....	47

CONTENIDO DE CUADROS

# CUADRO		PÁGINA
1	Distribución de las plantas en los mosaicos vegetales, los tratamientos micorrizados se representan con M+ y los tratamientos sin inóculo micorrízico con M-. El mosaico 3 y 4 representan a los testigos sin nodriza.	14
2	Resultados del análisis de suelo	24
3	Síntesis de resultados de <i>Prosopis laevigata</i>	41
4	Síntesis de resultados de <i>Agave salmiana</i>	41
5	Síntesis de resultados de <i>Opuntia streptacantha</i>	41

CONTENIDO DE FIGURAS

# FIGURA		PÁGINA
1	Valle de Teotihuacán, en el Edo. de México	4
2	Zona de estudio al poniente del templo de Quetzalcóatl, Teotihuacán, Edo. de México	4
3	Plantas de <i>Prosopis laevigata</i> sin micorriza en condiciones de invernadero	13
4	<i>Agave salmiana</i> , cultivado en invernadero	13
5	<i>Prosopis laevigata</i> , trasplantada en la zona de estudio	14
6	<i>Mimosa biuncifera</i> , situada en el centro de los cuadrantes	15
7	Acomodo de plantas en los mosaicos	16
8	Pinna de <i>Prosopis</i> (Palacios, 2006)	18
9	Conteo de esporas con ayuda de un microscopio estereoscópico	22
10	Diagrama de flujo del método empleado	23
11	Altura promedio de los tratamientos de <i>Prosopis laevigata</i> con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) durante cada uno de los meses del experimento.	26
12	Altura promedio de los tratamientos de <i>Prosopis laevigata</i> , al finalizar el experimento, donde MZM+ corresponde a tratamientos con micorriza y MZM- a los que no tienen micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.	26
13	Altura promedio de los tratamientos de <i>Agave salmiana</i> con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-) durante los seis meses del experimento.	27
14	Altura promedio de los tratamientos de <i>Agave salmiana</i> al finalizar el experimento, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.	27
15	Altura promedio de los tratamientos de <i>Opuntia streptacantha</i> con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OgM+) y testigo sin micorriza (OgM-), durante los seis meses del experimento.	28
16	TCR de <i>Prosopis laevigata</i> con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) al transcurrir seis meses de ser trasplantadas. La línea vertical sobre la barra marca el error estándar	29
17	TCR de <i>Agave salmiana</i> con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con	29

	micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-) después de seis meses del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).	
18	TCR de <i>Opuntia streptacantha</i> con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OpM+) y testigo sin micorriza (OpM-) después de seis meses del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).	30
19	Cobertura promedio de <i>Prosopis laevigata</i> con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) durante los seis meses del experimento.	31
20	Cobertura promedio de <i>Agave salmiana</i> con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.	32
21	Promedio del número de pinnas de <i>Prosopis laevigata</i> con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-), durante los seis meses del experimento.	33
22	<i>Prosopis laevigata</i> sin pinnas.	33
23	Promedio del número de pencas de <i>Agave salmiana</i> con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.	34
24	Número de pencas promedio de <i>Agave salmiana</i> después de seis meses del trasplante, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.	34
25	Porcentaje de supervivencia de plantas de <i>Prosopis laevigata</i> , donde MZM+ corresponde a plantas micorrizadas y MZM- a plantas sin micorrizas, durante los seis meses del experimento.	35
26	Porcentaje de supervivencia de <i>Prosopis laevigata</i> con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) después de seis meses de haber sido trasplantadas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); la línea vertical sobre la barra marca el error estándar.	36
27	Porcentaje de supervivencia de <i>Agave salmiana</i> con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.	37
28	Porcentaje de supervivencia de <i>Agave salmiana</i> después de seis meses de ser trasplantadas, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin	37

	micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); la línea vertical sobre la barra marca el error estándar.	
29	<i>Agave salmiana</i> , después de helada y sequía.	38
30	Porcentaje de supervivencia de <i>Opuntia streptacantha</i> con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OpM+) y testigo sin micorriza (OpM-), durante el transcurso de seis meses del experimento.	39
31	Helada negra en cladolio de <i>Opuntia streptacantha</i> .	39
32	Planta de <i>Agave salmiana</i> , <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Opuntia streptacantha</i> muertas en un mosaico, después de 180 días de su trasplante.	40

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme las puertas de sus instituciones, Colegio de Ciencias y Humanidades Sur y Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

A todos los profesores que ayudaron en mi formación académica.

A mis sinodales:

Dr. Arcadio Monroy Ata, por aceptarme en el laboratorio de Ecología vegetal y apoyarme en la realización de la tesis, a través de sus conocimientos y sugerencias, así como por brindarme su apoyo y amistad durante mi instancia.

Biól. Leticia López Vicente, por todo lo que me ha enseñado, por su apoyo y comprensión, así como por las correcciones que realizó al escrito.

Dra. Esther Matiana García Amador, por los conocimientos que me ha transmitido y su disposición para la revisión de tesis.

Dra. María Socorro Orozco Almanza, por el tiempo brindado para revisar la tesis y sus sugerencias.

M. en C. Sonia Rojas Chávez, por el tiempo dedicado y las sugerencias sobre el trabajo.

A Biól. Maribel Flores, por ser una amiga, escucharme, hacerme reír y ayudarme en laboratorio.

A unas personas especiales:

Dany, no sé qué haría sin ti. Gracias por apoyarme durante todo este tiempo, por ayudarme en las tareas, motivarme a seguir, y acompañarme en las aventuras de la Biología.

A Giovana, Regina, Miguel, por ser mis amigos de toda la vida, a pesar de que estamos lejos siempre cuento con ustedes.

A mis amigos de la universidad:

Salvador, Jacqueline, Gilberto, por iniciar este largo camino juntos, batallar conmigo cuando sentía que ya no podía, por esas horas en clase tan divertidas y por el intercambio de material para estudiar.

Gabriel, César, Gabriela, Miguel, Efraín, por hacer más ameno el tiempo en la escuela y laboratorio, tantos momentos graciosos.

A mi familia:

Por todo el apoyo que siempre me han brindado, gracias grupo por estar para lo que sea.

Mamá, Itzam y Mau, gracias por acompañarme durante este proceso, en las horas estresantes de estudio, escuchando mis preocupaciones y soportando mi mal humor, también por hacerme reír tanto. Los quiero mucho.

DEDICATORIA

A mis padres, por brindarme el apoyo y los medios para concluir la licenciatura; sin ustedes no lo hubiera logrado, gracias por su paciencia.

A mis abuelas:

Lupita, gracias por todo el cariño que me diste, por tus consejos y frases tan peculiares. Me hubiera gustado tenerte el día del examen haciéndonos reír un rato, te extraño.

Amelia, porque desde que ingrese al CCH fue la que más me apoyo, me ha hecho ver que en la vida no todo se obtiene, me da consejos y escucha mis quejas.

A todas las personas con las que he convivido y hoy ya no están aquí, gracias por llegar a mi vida.

“No hay obstáculos imposibles; hay voluntades más fuertes y más débiles ¡eso es todo!”

Julio Verne

1. Resumen

En zonas áridas y semiáridas el desarrollo de la vegetación normalmente debe hacer frente al estrés hídrico y a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, por lo que las plantas han establecido asociaciones mutualistas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), ya que éstos facilitan una mayor captación de agua y nutrientes al cubrir más superficie de suelo por medio de su red hifal. Asimismo, en estos ambientes las plantas leñosas arbustivas o arbóreas, denominadas nodrizas, aumentan la probabilidad de éxito en el establecimiento de otros vegetales bajo su cobertura. Por ello y con el objetivo de determinar la influencia de la micorrización y del nodrizaje de *Prosopis laevigata* (mezquite) sobre el desarrollo vegetal y supervivencia de plantas de *Agave salmiana* (maguey) y *Opuntia streptacantha* (nopal tunero), se realizó este trabajo en la zona arqueológica de Teotihuacán, en el estado de México. El estudio consistió en elaborar cuatro mosaicos de vegetación de la siguiente manera: en un mosaico se trasplantaron 10 organismos de cada especie siguiendo el orden: agave, mezquite y opuntia, con un acomodo en espiral y se inoculó al mezquite con esporas de HMA; otro mosaico fue similar en el trasplante del mismo número de individuos y especies, pero sin inóculo de HMA; en los dos mosaicos restantes se excluyó a la planta nodriza, quedando un acomodo en espiral de agave y opuntia, y al igual que en los arreglos anteriores uno fue inoculado con esporas de HMA y el otro no. Después, se registraron mensualmente durante 6 meses los siguientes parámetros: altura, tasa de crecimiento relativo (TCR), cobertura, número de pinnas/pencas y porcentaje de supervivencia, para determinar si existen diferencias entre los 4 tipos de mosaicos.

Los resultados obtenidos respecto a la altura en las plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*), muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) a favor que aquellas que fueron inoculadas con micorrizas, siendo el mismo caso para la cobertura y número de pinnas. Para *Agave salmiana*, los mosaicos con nodriza presentaron mayor cobertura con diferencias significativas ($p < 0.05$), en comparación con los mosaicos sin nodriza con micorriza y sin nodriza ni micorriza. Para *Opuntia streptacantha* no existen diferencias en ningún tratamiento respecto al crecimiento. No obstante, los resultados no fueron favorables para *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha*, pues al finalizar el experimento casi todos los organismos murieron por heladas (exceptuando un 20% de agaves). La supervivencia de *Prosopis laevigata* fue del 100% para las plantas micorrizadas y de un 80% para las no micorrizadas, mientras que en *Agave salmiana* solamente sobrevive un 20% del tratamiento que contiene nodriza sin micorriza. Para *Opuntia streptacantha* la supervivencia fue nula, debido a heladas de los meses de noviembre y diciembre de 2017. Se concluye que los individuos que tienen nodriza y son inoculados con HMA tienen mayores ventajas para su supervivencia bajo las adversidades propias de las zonas semiáridas, por lo que ambas estrategias se recomiendan para la rehabilitación ecológica de ambientes con baja disponibilidad de agua para el desarrollo vegetal.

2. Introducción

Las actividades antropogénicas (deforestación, sobrepastoreo, fuego, expansión de áreas agrícolas, sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico), las condiciones climáticas, así como la escasez de agua, han generado una degradación del suelo (Cervantes, 2003).

Esta degradación se ve presente en terrenos de la zona arqueológica de Teotihuacán, los cuales fueron “confiscados” de personas que los utilizaban para actividades de agricultura y pastoreo, eliminando la vegetación del matorral xerófilo característico de este lugar, dejando al suelo desprotegido.

Por este motivo se contempla la introducción de especies de plantas de zonas áridas asociadas simbióticamente con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), los cuales facilitan su establecimiento en condiciones de campo (Monroy *et al.*, 2007). Debido a que las hifas de estos hongos pueden explorar mayores volúmenes de suelo que las raíces, aportando minerales (esencialmente fosfatos) y agua a las plantas mediante la red hifal (De la Rosa y Monroy, 2006).

Al igual, para mejorar el crecimiento vegetal durante el periodo de establecimiento, se puede emplear el nodrizaje, que es una estrategia utilizada por especies de zonas áridas, el cual consiste en que algunas plántulas o propágulos se establecen bajo la cobertura de plantas leñosas (consideradas nodrizas), obteniendo beneficios por la reducción de la temperatura bajo su dosel y protección ante las bajas temperaturas de la noche, asimismo se evita la escorrentía del agua superficial al facilitarse su infiltración en el micro-hábitat bajo la nodriza, se aumenta la cantidad de nutrimentos como materia orgánica en el suelo, se reduce la desecación, además de repartirse la presión de herbivoría entre el mosaico de plantas asociadas bajo la nodriza, las cuales forman un gremio vegetal (Shreve, 1931; Cázares, 1993).

Colocando las plantas en mosaicos vegetales, estas tienden a hacer un uso eficiente de los recursos limitantes en su desarrollo, aprovechan de manera óptima los escasos recursos de uso común y se da lugar a mutualismos múltiples (De la Rosa y Monroy, 2006).

Por lo anterior el objetivo general de este proyecto fue establecer plantas de maguey (*Agave salmiana*) y de nopal (*Opuntia streptacantha*), bajo condiciones de nodrizaje de mezquite (*Prosopis laevigata*), con y sin inóculo micorrízico, conformando mosaicos vegetales, para determinar un modelo de reintroducción de vegetación nativa que maximice el porcentaje de supervivencia del conjunto de plantas y así evitar la degradación del suelo de una porción de la zona arqueológica de Teotihuacán.

3. Marco teórico

3.1 Zona de estudio

El Estado de México se localiza en el Altiplano Mexicano, en la porción central de la República Mexicana; está comprendido entre los meridianos 98° 36' y 100° 37' de longitud oeste del meridiano de Greenwich y los paralelos 18° 22' y 20° 17' de latitud norte. La extensión territorial de la entidad es de 22 537 km².

En el Estado de México, la temperatura media anual es de 14.7°C. Los meses con temperaturas más bajas son enero y febrero cuando el termómetro registra 3.0 °C. Los meses con temperatura más alta son abril y mayo con niveles máximos promedio alrededor de 25 °C (INEGI, 2017).

La flora del Estado de México tiene gran diversidad de biomas que van desde vegetación de zonas áridas, hasta los páramos de alta montaña. La entidad cuenta con 609,000 hectáreas arboladas; 560,000 de bosque de clima templado y frío, 49,000 de matorral, chaparral y selva baja caducifolia. La mayor concentración y diversidad forestal se encuentra en el interior de la cuenca del río Balsas y en los principales sistemas montañosos como las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, de Las Cruces, del Ajusco, de Río Frío y Nevada; en menor proporción en la sierra de San Andrés, mesa de Los Pinos y la sierra de Carimangacho al norte del estado. Otras regiones están caracterizadas con vegetación tipo pastizal y acuática (INAFED, 2010).

El Municipio de Teotihuacán, se ubica en la porción nororiente del Estado de México y se inserta en la Región III Ecatepec; sus límites municipales son los siguientes: al Norte con los municipios de Temascalapa y San Martín de las Pirámides. Al Sur con Acolman y Tepetlaoxtoc. Al Oriente con los municipios de Otumba y San Martín de la Pirámides. Al Poniente con Tecámac (PMDU, 2008).

El Valle de Teotihuacán (Figura 1), es una planicie sedimentaria ubicada al noreste de la cuenca del Valle de México; tiene una extensión aproximada de 600 km² y está situado entre los valles de México y Puebla (Matos, 2009).

Tiene dos tipos de clima: Clima Semiseco Templado (BS1k) y Clima Templado Subhúmedo con lluvias en verano (Cw). La época de lluvias se da entre los meses de junio a septiembre, siendo el mes de agosto el más lluvioso.

La zona donde se asienta el territorio municipal de Teotihuacán pertenece a Región X, denominada Sistema del Eje Neo volcánico Transversal, que a su vez se desprende de la Subprovincia 57: Lagos y Volcanes de Anáhuac (Matos, 2009).



Figura 1. Valle de Teotihuacán, en el Edo. de México.

La zona de estudio se ubica al poniente del templo de Quetzalcóatl con las siguientes coordenadas:

Longitud $98^{\circ}51.16'$ y latitud N $19^{\circ}40'0.911''$ a una altitud de 2279 msnm (figura 2).



Figura 2. Zona de estudio al poniente del templo de Quetzalcóatl, Teotihuacán, Edo. México.

3.2 Hongos micorrizógenos arbusculares

Las micorrizas (*mykes*: hongo y *rhiza*: raíz) representan una asociación simbiótica mutualista entre un fitobionte (planta) y micobiontes (hongos), donde la planta suministra al hongo carbohidratos producto de fotosíntesis y por su parte el hongo transfiere a la planta agua y nutrimentos minerales del suelo (Camargo, 2003).

Las micorrizas aportan resistencia al estrés hídrico al presentar una mayor absorción de agua y nutrimentos, ofrecen resistencia a las plantas contra patógenos (Cervantes, 2003), favorecen el crecimiento y la reproducción de la planta hospedadora (Lu y Koide, 1994).

Las micorrizas se dividen en tres grupos principales: ectomicorriza, ectendomicorriza y endomicorriza, con sus respectivas subdivisiones. En las endomicorrizas el micelio invade la raíz; inicialmente es intercelular, luego penetra las células radicales invaginando el plasmalemma, desde la rizodermis hasta las células corticales. A su vez las endomicorrizas se subdividen en tres tipos:

- Orquideoide: el hongo penetra intracelularmente e intercelularmente y forma enrollamientos hifales. Se encuentran presentes en algunas orquídeas (Hernández *et al.*, 2003).
- Ericoide: el hongo también penetra las células radicales, pero se distingue porque la planta involucrada es generalmente del orden Ericales (comúnmente llamados brezos), aunque este tipo de micorriza se ha observado también en algunas briofitas (grupo de los musgos), y el hongo es del grupo Ascomycotina
- Arbuscular: Es una asociación obligada para los hongos que la forman, pero no para las plantas. Se caracteriza porque las hifas penetran la raíz, se introducen en las células y pueden formar dos tipos de estructuras. Su principal característica es la estructura denominada arbusculo, la cual se origina cerca del cilindro vascular de la planta mediante numerosas ramificaciones dicotómicas sucesivas de una hifa, y tiene la función de transferir nutrimentos desde y hacia la planta. La segunda estructura es llamada vesícula, y puede o no estar presente, dependiendo del hongo. Es de forma ovalada a esférica; puede formarse entre o dentro de las células radicales, y funciona como almacén de nutrimentos (Andrade, 2010)

Los arbusculos son órganos especializados en el intercambio de sustancias entre los simbiosistas. Cuando se forma un arbusculo, el almidón de la célula invadida desaparece, al tiempo que el núcleo se alarga y divide (González, 2003).

Los hongos micorrizógenos arbusculares establecen una asociación mutualista con las raíces de las plantas formando las micorrizas arbusculares (MA). El estudio de las MA de ecosistemas desérticos es crucial, ya que ellos albergan importantes bancos de inóculos de HMA, que pueden ser usados para incrementar la

supervivencia de plantas en suelos de baja fertilidad y con escasez de agua como las áreas secas degradadas y los suelos agrícolas (Sandoval, 2014).

Los hongos micorrizógenos arbusculares son abundantes en los suelos de los ecosistemas terrestres y pueden influenciar en la coexistencia de plantas directa o indirectamente. La vía directa incluye las modificaciones de las características de la planta por los HMA y la transformación de la dinámica de transferencia de sus recursos. Indirectamente se incluye el posible impacto de los HMA sobre las interacciones ecológicas entre plantas y otros organismos (Camargo, 2003).

También se ha encontrado que las plantas que inicialmente no tienen una relación estrecha con los hongos micorrízicos, dependen de condiciones promovidas por plantas formadoras de islas de recursos, y aquellas especies vegetales donde sí existe una relación estrecha con estos hongos, como es el caso del mezquite (*Prosopis laevigata*), que es una planta nodriza o formadora de islas de recursos (Carrillo *et al.*, 1999).

3.3 Nodrizaje en plantas

El "efecto nodriza" ocurre cuando una planta facilita el establecimiento de plántulas (ya sea de su misma especie u otras) bajo su dosel, ya que ofrece condiciones más favorables para la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas (Callaway 1992).

El nodrizaje vegetal es una estrategia común en plantas de zonas áridas y semiáridas. Las plántulas o propágulos se establecen bajo plantas (consideradas nodrizas), obteniendo beneficios al desarrollarse en condiciones más favorables en ambientes donde el agua es el factor más limitante, por ejemplo crecen en un hábitat donde las temperaturas son más reducidas que en el suelo a cielo abierto, durante el día y con temperaturas más cálidas durante la noche; asimismo, el nodrizaje evita la escorrentía del agua superficial, aumenta la cantidad de nutrimentos mediante la acumulación de materia orgánica en el suelo, lo que reduce la desecación edáfica. También, este proceso ecológico atrae polinizadores diversos y reparte la presión de herbivoría (Shreve, 1931; Cázares, 1993).

Asimismo, el nodrizaje es una estrategia frecuente en las cactáceas durante su establecimiento, pues difícilmente pueden germinar y prosperar en un suelo a cielo abierto por las altas temperaturas que éste alcanza en días soleados. Así, la mayoría de los cactus requieren la presencia de una nodriza durante las primeras etapas de su desarrollo, pues modifican sustancialmente las condiciones desfavorables del ambiente físico (McAuliffe, 1984).

Actualmente se sabe que la distribución de especies es resultado de su interacción con las características físicas y químicas del ambiente y con las especies presentes; por lo que es muy común observar que un vegetal ya establecido puede determinar

la presencia o ausencia de las especies que constituyen las comunidades (Valiente y Ezcurra, 1991).

3.4 Mosaicos vegetales

Un mosaico vegetal es una asociación de plantas que coexisten conformando una unidad tanto estructural como funcional. Aprovechando de manera óptima los escasos recursos de uso común y dando lugar a mutualismos múltiples (De la Rosa y Monroy, 2006).

En un mosaico vegetal es común la presencia de Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), estos permiten una absorción más efectiva de agua y nutrientes, especialmente fosfatos, y plantas leñosas como *Prosopis* y *Acacia*, pues al ser caducifolias aportan periódicamente materia orgánica al suelo, al igual que fijan nitrógeno atmosférico a través de una simbiosis, por lo que se les ha llamado especies formadoras de recursos. También promueven la producción de propágulos micorrícicos, crean un microclima favorable para el establecimiento de otras plantas y protegen de heladas y de precipitaciones pluviales intensas a las plantas que crecen bajo su dosel, por lo que se les denomina plantas nodrizas (Monroy *et al.*, 2007).

Otro aspecto relevante al establecer un mosaico de plantas, es el lugar de trasplante de las especies vegetales, llamado micrositio de establecimiento y en el caso de los ecosistemas áridos y semiáridos, debe ser un lugar que tenga una reserva hídrica en el suelo, utilizable por las plantas, o ser un espacio de alta captación de agua de lluvia. El primer caso se refiere a sitios ubicados junto a una roca o bajo gravilla, en donde se forma una reserva hídrica en el sustrato edáfico y en el segundo caso, hace referencia a lugares bajos en pendientes, que colectan lluvia de áreas más altas por escurrimiento superficial o a microcuencas (De la Rosa y Monroy, 2006).

3.5 *Prosopis laevigata* (Hum. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnst.

Árbol espinoso de hasta 12 metros de altura aproximadamente; sus raíces pueden tener más de 50 m de profundidad y 15 m laterales. Sus hojas son compuestas, bipinnadas con 15 pares de folíolos oblongos o lineares y van hasta 10 mm de largo. Sus inflorescencias son de color amarillo verdoso, agrupado en racimos de hasta 10 mm; son flores bisexuales, con cinco sépalos y diez estambres. Su fruto es una vaina de color paja o rojizo violáceo, alargado, recto o arqueado, con 30 cm máximo de longitud, pueden ser plano o cilíndrico con 20 semillas máximo (Reséndez *et al.*, 2013).

Presenta múltiples usos, entre ellos está la construcción de cercas, también se usa como combustible, forraje y alimento debido a su alto contenido de carbohidratos y

proteínas; la resina que genera el tronco al tener fisuras se utiliza para la producción de pegamento y barnices; sus flores se emplean para producir miel; ecológicamente, el mezquite es de gran importancia en la retención del suelo previniendo su desertificación, además de que mejora la fertilidad del suelo (Reséndez *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014).

Como nodriza vegetal, las plantas de mezquite crean un microclima favorable para el establecimiento de otros vegetales, pues condensan neblinas en los inviernos fríos y secos del Altiplano Mexicano (aportando humedad adicional al suelo fuera del periodo de lluvias), protegen de heladas y precipitaciones pluviales intensas a los individuos que crecen bajo su dosel, fungiendo como planta formadora de islas de recursos (Monroy *et al.*, 2007).

3.6 *Agave salmiana* (Otto Ex Salm-Dick.)

Plantas de medianas a grandes (1 a 2 m de altura), con tallo corto y grueso, rosetas fuertes de 1.5–2 m de altura; hojas de 1–2 m de longitud por 20–35 cm de ancho, linear-lanceoladas, acuminadas, carnosas y gruesas, color verde a glauco-grisáceo, cóncavas a acanaladas en la cara interior y profundamente convexas en la base, el ápice sigmoideamente curvado; margen espinoso; dientes muy largos en la parte media, de 5–10 mm de longitud, separados de 3–5 cm, color café grisáceo, la cúspide recta a recurva desde la base, espina larga, de 5–10 cm de longitud; la inflorescencia es una panícula de 7-8 m de altura, escapo floral con brácteas grandes y suculentas; flores de 11 a 80 mm de longitud, amarillas y con el ovario color verde de 50-60 mm de longitud, cilíndrico; semillas de 8-9 por 6-7 mm, negras, triangulares, con el embrión recto y el endospermo carnosos (Aguirre *et al.*, 2001).

El jugo de los agaves se utiliza para consumo humano; es una bebida refrescante y alimenticia por su contenido de azúcar. Si se le deja reposar inicia la fermentación de la bebida y su color cambia de un color cristalino a uno blanco lechoso con bajo contenido alcohólico (pulque) (Papálotzi, 2008).

Los magueyes pulqueros pueden ser considerados como recurso de uso múltiple, ya que además del aguamiel y del pulque, proporcionan una gran variedad de productos, entre los que se puede mencionar a la flor del maguey, que se usa como alimento; la epidermis de la penca empleada como envoltorio en la preparación de los llamados “mixiotes”, el cual es un alimento de la cocina regional; las pencas que se utilizan como alimento para el ganado, para hornear la barbacoa o como combustible de buena calidad; la fibra, se utiliza para la fabricación de cuerdas y diversos objetos artesanales; los gusanos de maguey y las larvas de insectos, son usados como alimento desde épocas prehispánicas (Cervantes, 2005).

3.7 *Opuntia streptacantha* (Tourn.) Mill.

Planta arborescente de 2 a 5 m de altura, glabra, con tronco de hasta 45 cm de largo y de ancho, con una corteza casi lisa, muy ramificada, de copa redondeada; artículos adultos angostamente abovados, de 20 a 30 cm de largo, 12 a 23 cm de ancho y 3 a 4 cm de espesor, verde oscuro–grisáceos, recubiertos de espesa capa de cera; areolas dispuestas en aproximadamente 11 series de espirales, distantes a aproximadamente 3 cm entre sí, abovadas a elípticas, de aproximadamente 4 mm de largo, espinas 1 a 4, rígidas, de diferentes grosores, ausentes en algunas areolas inferiores, las superiores generalmente ascendentes y las demás encorvadas y algo reflejas, hasta 3 cm de largo; flores de 5 a 8 cm de largo y de ancho en la antesis, pericarpelo de aproximadamente 3 cm de largo y aproximadamente 2 cm de ancho, obovoide a elipsoide, ligeramente tuberculado y reticulado, con areolas dispuestas en 5 a 6 series de espirales, distantes aproximadamente 5 mm entre sí. Fruto elipsoide, con cicatriz floral profunda, de aproximadamente 6 cm de largo y aproximadamente 4 cm de ancho, rojo carmesí, paredes exteriores con areolas dispuestas en aproximadamente 6 series de espirales, sin espinas, con lana y glóquidas cortas, rojizas, paredes interiores delgadas; semillas discordes a triangulares con arilo lateral ancho envueltas por jugosos funículos (Rzedowski y Calderón, 2001).

Opuntia streptacantha es aprovechada por su fruto, el cual se consume en fresco. Tiene el problema de su rápida maduración, después del corte no resiste el empaque y traslado, por lo cual se prefiere procesar en el campo en pequeñas agroindustrias conocidas como mieleras.

También se emplea como verdura, al cosechar brotes tiernos (nopalitos), sin embargo, tiene muchas espinas que deben ser eliminadas para su venta; su demanda es alta por su agradable sabor. Asimismo, se utiliza como forraje, principalmente en los pequeños establos lecheros y en algunos ranchos ganaderos como parte de la ración alimenticia. En épocas de sequía se chamusca en el campo, para que el ganado lo aproveche directamente (González *et al.*, 1997).

4. Justificación

Se conoce que existen plantas que favorecen el crecimiento de otras especies vegetales bajo su cobertura (particularmente en las primeras etapas de vida) al conformar mosaicos de vegetación. Estas plantas son conocidas como nodrizas; si dichas nodrizas son inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), las condiciones de desarrollo de las plantas que dependen de ellas serán mejores, puesto que se sabe que tanto el nodrizaje como la asociación micorrízica favorecen el aporte de agua y de nutrimentos a las plantas (Monroy *et al.*, 2007).

Con base a esto, la finalidad de este proyecto es identificar si el mezquite (*Prosopis laevigata*) puede formar un mosaico vegetal con *Opuntia streptacantha* y *Agave salmiana*, actuando como una planta nodriza. Se evaluará la influencia de la asociación micorrízica de la especie tratada como nodriza sobre el establecimiento del conjunto de las plantas, al tener un grupo micorrizado y uno testigo por nodriza, además de un tratamiento sin nodriza. De esta manera, se podrá caracterizar si la asociación micorrízica favorece el desarrollo del conjunto de plantas, así como si *Prosopis laevigata* actúa como nodriza, lo cual se verá reflejado en el porcentaje de supervivencia, así como en el crecimiento de las plantas en los lotes experimentales. Y así restablecer vegetación de matorral xerófilo en algunos sitios marginales dentro de la zona arqueológica de Teotihuacán, como en agostaderos del Valle de Teotihuacán, en el Estado de México, deteriorado por sobrepastoreo, fuego y actividades antrópicas.

5. Planteamiento del problema

Después de cultivar durante 8 meses, en condiciones de invernadero, plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*), inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y sus testigos sin micorrizar, y de coleccionar plantas de *Opuntia streptacantha* y de *Agave salmiana*, se conformarán mosaicos vegetales con estas plantas, en condiciones de campo en parcelas experimentales dentro de la zona arqueológica de Teotihuacán, Estado de México. Donde después de ser trasplantadas a la zona de estudio, se hará un registro mensual del desarrollo de los conjuntos de plantas, durante un período de 6 meses. El presente estudio fue diseñado para contestar las siguientes preguntas:

- ¿*Prosopis laevigata* brinda a *Opuntia streptacantha* y *Agave salmiana* las condiciones suficientes para conformar mosaicos vegetales?
- ¿La micorrización de la planta nodriza (*Prosopis laevigata*) influye en el desarrollo de *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha* en un mosaico vegetal?
- ¿La nodriza tiene un papel sobre la supervivencia y el desarrollo de *O. streptacantha* y de *A. salmiana*?
- ¿La micorrización del hábitat de establecimiento de *O. streptacantha* y de *A. salmiana* influye en su desarrollo y supervivencia en condiciones de campo sin nodriza vegetal?

6. Hipótesis

Las plantas de *Prosopis laevigata* brindarán las condiciones apropiadas para el establecimiento de otras especies, actuando como nodrizas; asimismo aquellos individuos de mezquite que contengan hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) aportarán mayores beneficios a las plantas que conforman el mosaico, generando un mayor índice de supervivencia, mayor altura y cobertura más amplia, en comparación con las nodrizas sin inóculo micorrízico. Esto debido a que la asociación micorrízica facilita la captación de agua y nutrimentos de las plantas que presentan este tipo de simbiosis mutualista.

7. Objetivos

7.1 Objetivo general

Caracterizar el desarrollo vegetal de *Agave salmiana* y de *Opuntia streptacantha* bajo un tipo de nodriza (*Prosopis laevigata*), inoculada con hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de campo.

7.2 Objetivos particulares

- Determinar la influencia de la micorrización de las plantas nodrizas sobre la supervivencia de *Agave salmiana* y de *Opuntia streptacantha*, en un mosaico vegetal.
- Determinar si la ausencia de nodriza tiene un efecto sobre la supervivencia de *O. streptacantha* y de *A. salmiana*.
- Caracterizar el desarrollo de plantas de *O. streptacantha* y de *A. salmiana* en un hábitat donde se inocule el suelo con esporas de hongos micorrizógenos arbusculares.

8. Método

8.1 Trabajo de invernadero

El invernadero donde se llevó a cabo el manejo de las semillas y plantas que se utilizaron, se ubica en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza al oriente de la Ciudad de México.

8.1.1 Preparación y esterilización del suelo

El suelo empleado procedente del Valle de Actopan, Hidalgo, se tamizó con una malla de 2 mm, posteriormente se mezcló con arena sílica de tamaño mediano en una proporción 1:2 (v/v); esta mezcla fue colocada en bolsas de poli papel con capacidad de un kilogramo, las bolsas se cerraron eliminando todo el aire y se introdujeron a una autoclave (20 kilogramos de sustrato), el sustrato permaneció durante una hora a una presión aproximada de 15 libras por pulgada cuadrada (lb./in²). Este paso se repitió dos veces más por cada 20 kilogramos de suelo, hasta obtener un aproximado de 90 kg de suelo para las semillas y plantas.

8.1.2 Germinación de semillas

Las semillas de *Prosopis laevigata* recolectadas del Valle de Actopan, Hidalgo, fueron escarificadas haciendo una pequeña incisión en la parte contraria del embrión para facilitar la entrada de agua, posteriormente se colocaron en cajas Petri de plástico cubiertas con algodón humedecido con agua. Se colocaron 20 semillas por caja. Cuando las semillas germinaron y empezaron a caerse los cotiledones las plantas fueron trasplantadas a tubos de PVC que contenían el sustrato suelo-arena sílica proporción 1:2 (v/v).

8.1.3 Preparación de los tubos

Se requirieron un total de 60 tubos de PVC de 7 cm de diámetro con una altura de 30 cm, estos tubos fueron lavados y sellados en la parte inferior con círculos de hoja de acetato y cinta adhesiva, también se etiquetaron (30 con la leyenda “con micorrizas” y los otros 30 “sin micorriza”).

Después se le agregó 1400 gramos de la mezcla de suelo arcilla (por cada tubo) a los 30 tubos etiquetados con la leyenda “sin micorriza”, a los otros restantes se les agregó 1300 gramos de mezcla y 100 gramos de suelo con esporas proveniente de un agostadero semiárido del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo (se hizo el conteo del número de esporas de HMA por 100 g de suelo antes de la inoculación). Se colocó una plántula de mezquite por maceta; todos los tratamientos se regaron dos veces por semana y se registró el crecimiento de las plantas en altura y cobertura, así como el número de hojas (Figura 3).



Figura 3. Plantas de *Prosopis laevigata* sin micorriza en condiciones de invernadero.

8.1.4 Procedencia y manejo de plantas

Se requirieron 60 organismos de *Opuntia streptacantha*, así como 60 de *Agave salmiana* sin micorrizar. Los nopales se obtuvieron a partir de cladodios de 30 cm de largo aproximadamente de organismos adultos que se ubican en el jardín del invernadero; los magueyes a partir de semilla, proveniente del Valle de Actopan Hidalgo, y cultivados individualmente en tubos de PVC en condiciones de invernadero en proyectos anteriores (Figura 4).

Todas las plantas fueron trasladadas a la zona de estudio para iniciar el trabajo en condiciones de campo.



Figura 4. *Agave salmiana*, cultivado en invernadero.

8.2 Trabajo de campo

En la zona arqueológica de Teotihuacán, se plantaron dos mosaicos vegetales, conformados por plantas de mezquite (Figura 5) como nodrizas (10 plantas inoculadas con esporas de hongos micorrizógenos en un mosaico y 10 sin micorriza en otro), con plantas de nopal y maguey, y otros dos mosaicos con plantas de nopal y maguey solamente.

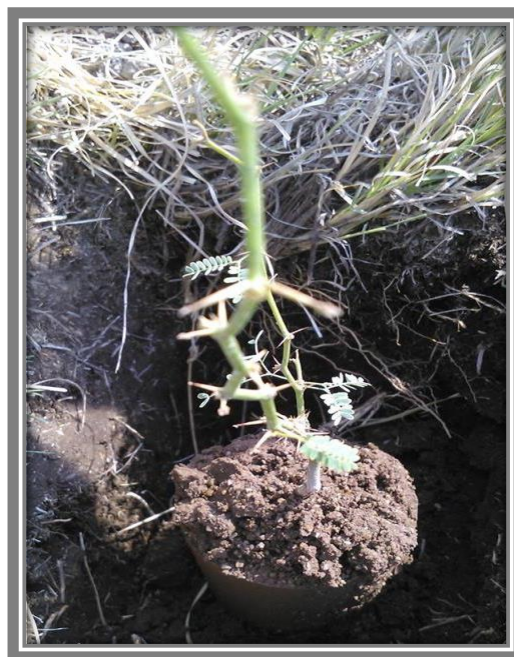


Figura 5. *Prosopis laevigata*, trasplantada en la zona de estudio

8.2.1 Diseño experimental

Se trasplantaron a campo en época de lluvias (inicios de septiembre de 2017) 20 plantas de mezquite, 30 de agave y 30 de nopal para conformar 4 mosaicos vegetales. Dichos mosaicos estaban organizados de la siguiente manera:

Cuadro 1. Distribución de las plantas en los mosaicos vegetales, los tratamientos micorrizados se representan con M+ y los tratamientos sin inóculo micorrízico con M-. El mosaico 3 y 4 representan a los testigos sin nodriza.

Mosaico 1 M+	Mosaico 2 M-	Mosaico 3 M+	Mosaico 4 M-
<i>Prosopis laevigata</i> 10 organismos	<i>Prosopis laevigata</i> 10 organismos		
<i>Agave salmiana</i> 10 organismos	<i>Agave salmiana</i> 10 organismos	<i>Agave salmiana</i> 10 organismos	<i>Agave salmiana</i> 10 organismos
<i>Opuntia streptacantha</i> 10 organismos	<i>Opuntia streptacantha</i> 10 organismos	<i>Opuntia streptacantha</i> 10 organismos	<i>Opuntia streptacantha</i> 10 organismos

Se formó un diseño bifactorial: nodriza (con dos niveles: mezquite y sin nodriza) por micorrización (con 2 niveles: con y sin inoculación de HMA).

Para conformar los mosaicos vegetales fue necesario medir cuadrantes de aproximadamente 10 m de lado, ubicados alrededor de un arbusto de *Mimosa*

biuncifera (Figura 6), en un terreno situado al poniente del templo de Quetzalcóatl, dentro de la zona arqueológica de Teotihuacán



Figura 6. *Mimosa biuncifera*, situada en el centro de los cuadrantes.

Los mosaicos formados por mezquite quedaron al norte y los mosaicos que contenían a los testigos al sur, cada planta fue colocada de la siguiente manera: agave, mezquite y opuntia para los nodrizados y agave y opuntia para los testigos; entre cada planta se dejó un espacio de 1 metro, todas fueron acomodadas en espiral (Figura 7).

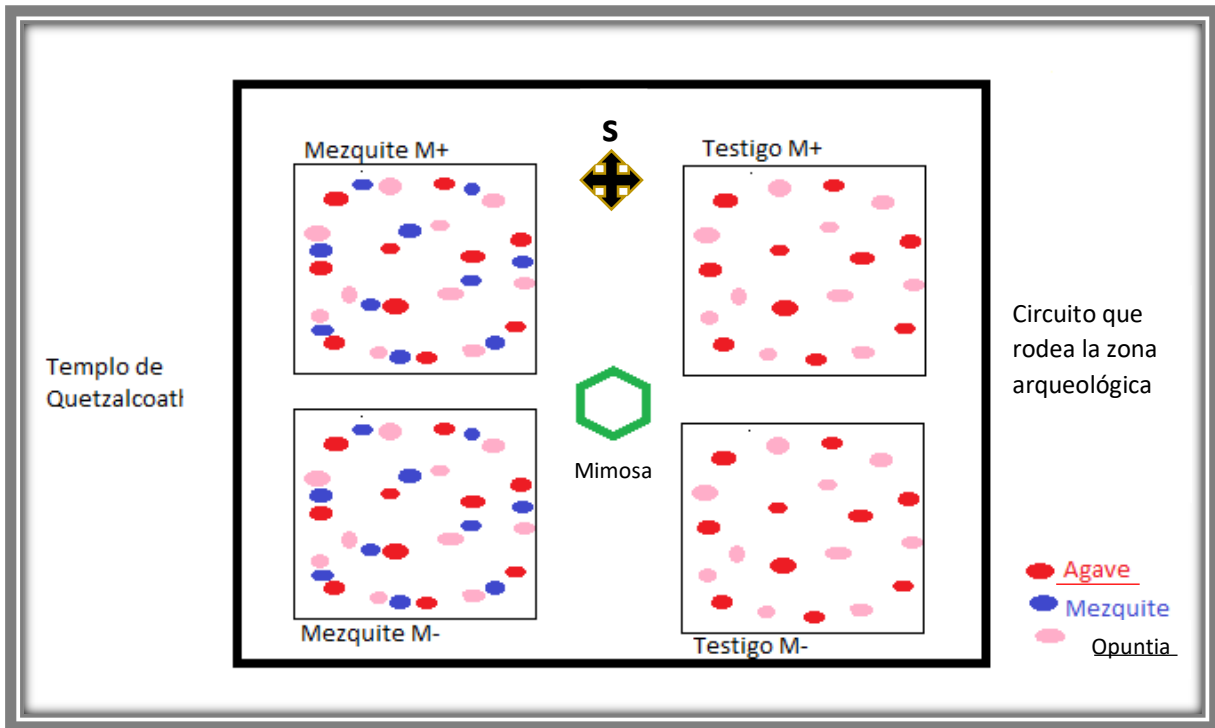


Figura 7. Acomodo de plantas en los mosaicos

8.2.2 Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA de dos factores: micorrización (2 niveles: con y sin micorriza) y tipo de nodriza (2 niveles: mezquite y testigo). La mayoría de las poblaciones de datos de los resultados cumplen los requisitos de una distribución normal y de homogeneidad de varianzas, por lo que en estos casos se aplicó un ANOVA paramétrico; cuando los datos no presentaron una distribución normal, se usó la prueba de Kruskal Wallis (no paramétrica).

Las variables de respuesta a analizar fueron:

- Altura
- Cobertura
- Número de hojas
- Porcentaje de supervivencia
- TCR (tasa de crecimiento relativo)

Los datos se registraron mensualmente, en condiciones de campo durante 6 meses.

8.2.3 Mediciones

Se hicieron mediciones de altura y cobertura a todos los organismos que conformaron los mosaicos vegetales; también se contó el número de pinnas de los mezquites y el número de pencas de los agaves. Al igual, se obtuvo cada mes el porcentaje de supervivencia.

8.2.4 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La tasa de crecimiento relativo (TCR), es una variable para evaluar el desempeño de una especie ante cualquier condición ambiental que pueda afectar su crecimiento (Villar *et al.*, 2004)

Esta se calculó a partir de la altura máxima de las plantas al inicio y al final de 6 meses.

La fórmula empleada para calcular la TCR es:

$$TCR = [\ln(\text{altura final}) - \ln(\text{altura inicial})] / t \text{ (días)}$$

Las unidades de crecimiento son ((mm/mm) / d) o (d⁻¹)

Las mediciones se realizaron con la ayuda de un flexómetro.

8.2.5 Cobertura

La cobertura fue determinada a través del diámetro mayor y el diámetro menor, tomando como referencia el centro de la planta utilizando la fórmula:

$$Co = \pi r^2$$

Donde r = radio de la planta, equivalente a $r = \frac{\text{diámetro mayor} + \text{diámetro menor}}{4}$

(Salazar, 2017).

8.2.6 Número de pinnas y pencas

Para las pinnas en los mezquites (Figura 8), el conteo se comenzó de la parte inferior a la superior, para el conteo de las pencas en los agaves se inició de la penca del centro hacia afuera.

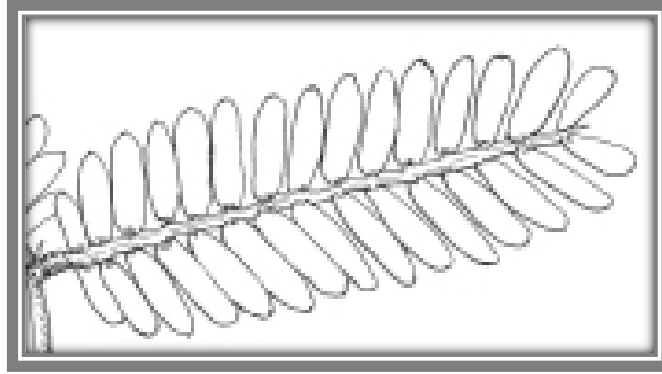


Figura 8. Pinna de *Prosopis* (Palacios, 2006).

8.2.7 Porcentaje de supervivencia

El registro del número de individuos que sobrevivían (de cada especie) se realizó mensualmente. Para obtener el porcentaje de supervivencia se dividió el número de plantas sobrevivientes al final del experimento entre el número inicial de individuos, esto multiplicado por 100.

8.2.8 Análisis de suelo

En campo también se realizaron análisis del suelo: pH, color, materia orgánica, textura, presencia de carbonato cálcico y aluminio intercambiable.

Para el análisis de pH se tomó una porción de suelo y se colocó en un vaso de precipitados al cual se le agregaron 10 ml de agua destilada, después se mezcló con una varilla de vidrio por 5 minutos, cuando la mezcla se asentó se introdujo el electrodo que previamente había sido calibrado y se esperó hasta que se reguló la medición para obtener el pH del suelo en campo.

Para el conocer el color del suelo se utilizaron las tablas Munsell, se tomó una muestra pequeña de suelo y fue colocada en una tabla de porcelana, con la ayuda de las tablas se buscó el color que más se parecía al del suelo de la muestra, después se le agregaron unas gotas de agua destilada a la muestra y nuevamente se buscó el color que más se parecía.

La presencia de materia orgánica se determinó al agregar agua oxigenada a una muestra pequeña de suelo la cual se colocó en una tabla de porcelana, si existe burbujeo después de agregar el agua, hay materia orgánica.

Para la presencia de carbonato se realizó el mismo procedimiento, sustituyendo al agua oxigenada por HCl, la efervescencia determina la presencia de carbonatos.

Se colocó otra muestra de suelo en la tabla de porcelana y se le agregaron unas gotas de fenolftaleína, la coloración rosada determina la presencia de aluminio intercambiable.

Por último se tomó una muestra de suelo, se le agregó un poco de agua y se moldeó con la mano evitando que se adhiriera a la mano, se amaso hasta formar una bola, se amaso nuevamente hasta formar un cilindro con unos 7 cm aproximados de longitud; como no se desprendieron partículas de suelo se siguió moldeando hasta formar un semi círculo, donde ya el suelo comenzó a desprenderse. Esto permitió conocer la textura del suelo.

8.3 Trabajo de laboratorio

En la zona de estudio se tomaron muestras de suelo de aproximadamente un kilogramo por mosaico, dichas muestras fueron colocadas en bolsas de plástico y etiquetadas.

8.3.1 Preparación del suelo

Ya en laboratorio se colocaron las muestras en charolas para secar el suelo, después se preparó una muestra compuesta; ésta se tamizó con una malla de 2 mm y se pesó un kilogramo para realizar análisis básicos, los cuales fueron:

- pH
- densidad real
- densidad aparente
- espacio poroso

8.3.2 pH

En los suelos el pH se mide potenciométricamente, en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2. Es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios del suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo (NOM – 021 – SEMARNAT – 2000).

Para esta prueba se colocó una caja Petri en una balanza eléctrica y se adicionó suelo hasta obtener 10 g; este suelo se pasó a un vaso de precipitados de 50 mL y se le agregaron 20 mL de agua destilada. Se agitó manualmente con una varilla de vidrio a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos y después se dejó reposar durante 15 minutos

Se calibró el medidor de pH con las soluciones reguladores de pH, se enjuagaron los electrodos antes de iniciar las lecturas de la muestra. Se agitó nuevamente la

suspensión y se introdujo el electrodo en la suspensión. El registro de pH se realizó hasta que la lectura se estabilizó.

8.3.3 Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso.

Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente, calcular la lámina de agua en el suelo (Flores y Alcalá, 2010).

Para determinar la densidad aparente de la muestra se pesó una probeta de 10 mL vacía y seca, después se agregó suelo hasta cubrir los 10 mL, la probeta fue golpeada ligeramente sobre una franela 10 veces (procurando la misma intensidad en cada golpe). Después de esto se volvió a pesar la probeta para restar al peso de la probeta con el suelo, el peso de la probeta sola. El resultado se dividió entre 10 para obtener la densidad del suelo. Este procedimiento se repitió 3 veces

8.3.4 Densidad real

Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo (Rucks *et al.*, 2004).

La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2.65 (FAO, 2018).

Para obtener la densidad de la muestra de suelo se pesó un matraz limpio y seco, éste se tomó con pinzas, después de pesarlo se añadieron 5 gramos de suelo y se pesó de nuevo, se agregó una tercera parte de agua destilada con una piseta y se realizaron movimientos ligeros de rotación para eliminar el aire del matraz. Se dejó reposar 30 minutos y se repitió el movimiento hasta que al mover la suspensión ya no se formaron burbujas, después se llenó de agua hasta aforarlo y se pesó.

Posteriormente se eliminó la muestra, se lavó el matraz y se puso a secar en la estufa, al estar totalmente seco se colocó en un desecador para enfriar, para después agregarle agua destilada hasta el aforo y pesarlo.

Con los pesos obtenidos se calculó la densidad por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad real} = \frac{S}{S+A-(s+a)} = (\text{g/cm}^3)$$

Donde S= peso de la muestra de suelo

A= peso del agua (sin el peso del matraz)

S + a = peso del suelo + peso del agua (sin el peso del matraz).

8.3.5 Porosidad

La porosidad del suelo superficial determina en gran medida los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo (Horowitz y Walling, 2005). El flujo de agua y aire se realiza a través de la porosidad del suelo, condicionada por el tamaño, abundancia y distribución de poros (González *et al.*, 2012).

El espacio poroso se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\% P = 100 (1-DA/DR)$$

8.3.6 Conteo de esporas

La presencia de esporas en el suelo es un indicador de la simbiosis de las plantas con hongos micorizógenos arbusculares (HMA). Las especies que pertenecen a los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Kuklospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Paraglomus*, *Archaeospora*, *Intraspora*, *Entrophospora*, *Diversispora*, *Otospora*, *Ambispora* y *Pacispora*, son ampliamente conocidos por formar asociaciones con las raíces de más de 80 % de las plantas superiores.

Para determinar la cantidad de esporas en 100 gramos de suelo se realizó el siguiente procedimiento:

1. De la muestra compuesta de suelo se tomó aproximadamente un kilogramo y fue tamizado con un tamiz de malla de 2 mm.
2. De la muestra tamizada se tomaron 100 gramos de suelo, los cuales fueron pesados en una báscula eléctrica y se coló en un vaso esquimero al cual también se le agregó agua de la llave.
3. El vaso se colocó en la máquina de esquimos y se agitó durante 5 minutos, transcurrido el tiempo se filtró la mezcla en un tamiz de una micra, evitando que cayera el suelo que se quedó abajo del vaso, a este se le agregó agua y se mezcló nuevamente por 3 minutos. Se repitió la filtración.
4. A las partículas que se quedaron en el tamiz se les agregó agua de llave, la mezcla se colocó en recipientes para centrifuga, los cuales se pesaron hasta tener el mismo peso y fueron colocados en la centrifuga a 2000 RPM durante 5 minutos.
5. Transcurrido el tiempo se sacaron los tubos y se desechó el sobrenadante, el botón se suspendió en agua con azúcar al 50% P/V para centrifugar nuevamente a 1000 RPM durante 3 minutos.

6. Se recuperó el sobrenadante, el cual fue filtrado con el tamiz, se enjuago con agua destilada y se colocó en una caja Petri, la cual estaba dividida horizontalmente y enumerada.
7. La caja Petri con la muestra resultante se colocó en el microscopio estereoscópico (Figura 9) y se procedió a contar las esporas que había por cada línea horizontal.



Figura 9. Conteo de esporas con ayuda de un microscopio estereoscópico.

8.4 Diagrama de flujo de la metodología.

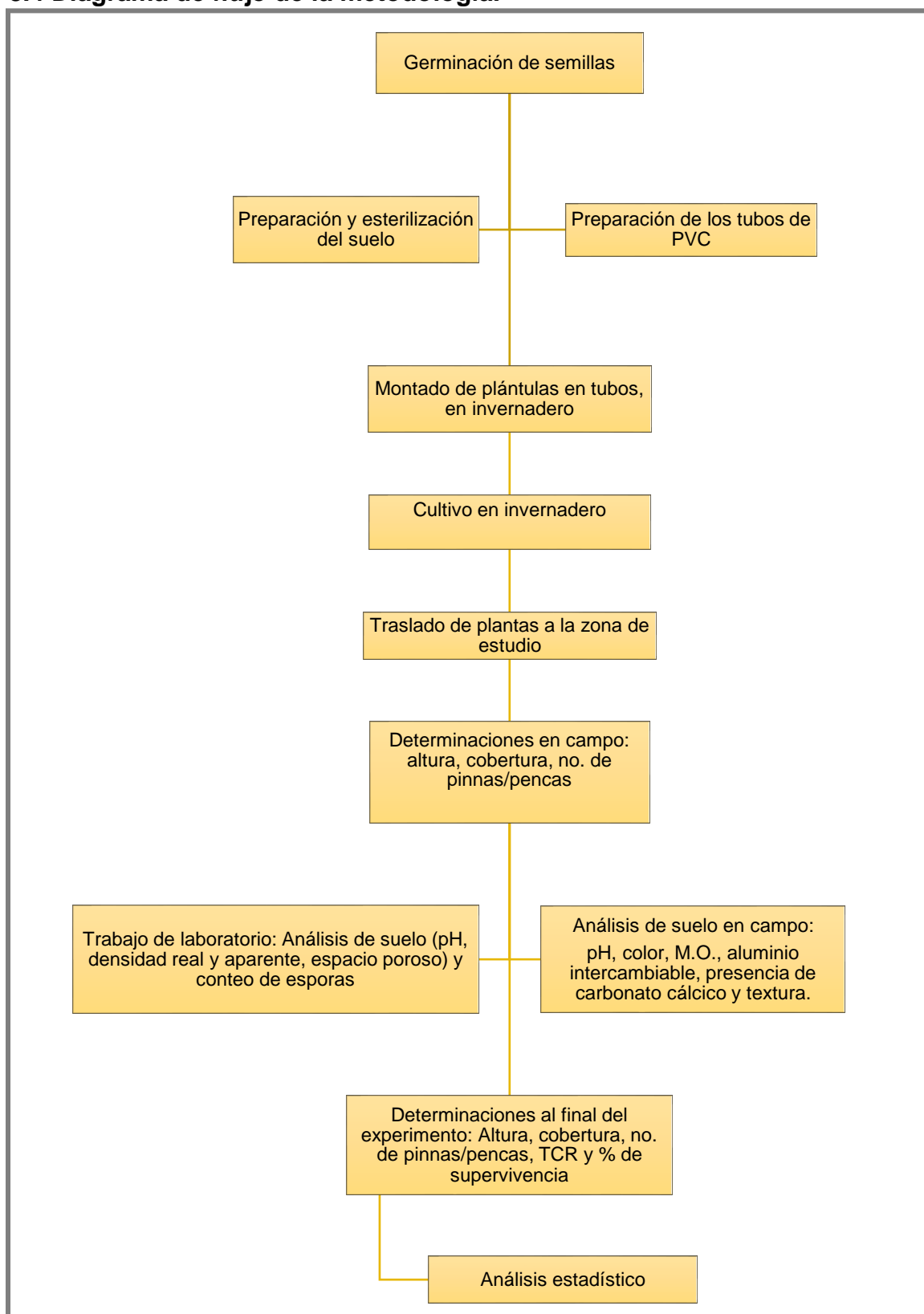


Figura 10. Diagrama de flujo del método empleado.

9. Resultados y discusión

9.1 Análisis del suelo

Los resultados de las pruebas físicas y químicas que se le realizaron al suelo de la zona de estudio, tanto en campo como en laboratorio, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo

Prueba	Resultado
pH	7.5
Color Seco Húmedo	5/2 7.5 YR pardo 2/5 7.5 YR pardo muy oscuro
Presencia de materia orgánica	Baja, poca efervescencia
Presencia de carbonato cálcico	Baja, poca efervescencia
Aluminio intercambiable	No
Textura	Franca
Densidad aparente	0.9 kg/m ³
Densidad real	2.0 kg/ m ³
Porosidad	55 %
Conteo de esporas	172 por 100 g de suelo

El suelo presenta un pH ligeramente neutro, condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas. Al tener un pH neutro, hay poca presencia de carbonatos cálcicos, en comparación con los suelos alcalinos que presentan un alto contenido de carbonato cálcico. Al igual no hay presencia de aluminio intercambiable, pues esto aplica para suelos con pH ácido. En general, el pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad.

Para conocer la textura del suelo se realizó la prueba de manipulación en campo, lo que llevo a una textura franca, es decir un balance equilibrado entre limo, arcilla y arena. Tratándose de los suelos más adecuados en términos generales para la práctica de la agricultura (Natureduca, 2018). La baja efervescencia al realizar la prueba de la materia orgánica, corresponde a que en suelos áridos o desérticos solo hay un aproximado de 0.5 %

La densidad real, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo. Los valores típicos varían de 2.5 a 2.8 kg/m³, siendo 2.65 kg/m³ el valor representativo de muchos suelos. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o un contenido elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (FAO, 2018). El suelo estudiado al tener una densidad de 2.0 kg/m³, podría considerarse adecuado.

En la densidad aparente, la compactación (debida al pisoteo de animales, al laboreo, las precipitaciones, etc.) disminuye el volumen de poros, incrementando, por tanto el peso por unidad de volumen. Mayor densidad aparente implica efectos negativos en las funciones de regulación, movimiento y almacenamiento de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y de las funciones productivas del suelo (Desertificación, 2018). El suelo estudiado muestra una densidad baja de acuerdo a la variación que va de 1.00 a 1.900 kg/m³. Lo que indica que el porcentaje de porosidad es alto, 55 % para este suelo.

9.2 Altura

El promedio de la altura en *Prosopis laevigata* en campo (Figura 11), fue mayor (aproximadamente 20 cm) en aquellas plantas que fueron inoculadas con hongos micorrizógenos, mostrando una diferencia significativa con aquellas que no contienen micorriza (Figura 12) (Anexo 1).

Los hongos micorrizógenos agregados a *Prosopis laevigata* provienen de suelo del Valle del Mezquital, Hidalgo, donde García *et al.*, (2008) observaron una riqueza considerable de géneros, entre *Acaulospora*, *Glomus sensu lato*, *Gigaspora* y *Scutellospora*.

La red de hifas producida por los HMA en el suelo durante su asociación con la planta huésped, provee una mayor superficie de absorción que los pelos radiculares y, por lo tanto, aumenta significativamente la captación de iones relativamente inmóviles, tales como fosfato, cobre y zinc (Joseph y Sidney, 2012). También facilita la disponibilidad de agua, ya que la red hifal tiene una mayor expansión y profundidad. El descenso a través de los días se debe a que las mediciones se tomaron considerando el follaje, el cual se perdió al comenzar las heladas.

Al ser consideradas como plantas nodrizas, se hubieran obtenidos mejores resultados, si presentaran un mayor tamaño y cobertura en comparación con las otras especies.

Los mosaicos de plantas crecen impulsados por flujos de evapotranspiración, significando que las redes de HMA se distribuyen de acuerdo con la disponibilidad del agua del suelo (Monroy *et al.*, 2016). Por lo que el crecimiento de *Prosopis*

laevigata fue en forma arbustiva, indicando que el agua se encuentra en un manto freático profundo (Rodríguez *et al.*, 2014).

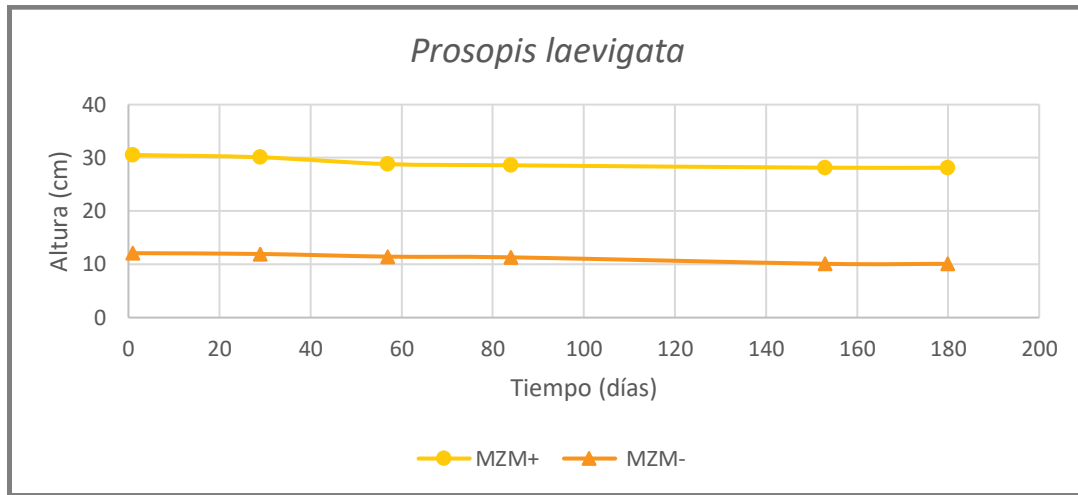


Figura 11. .Altura promedio de los tratamientos de *Prosopis laevigata* con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) durante cada uno de los meses del experimento.

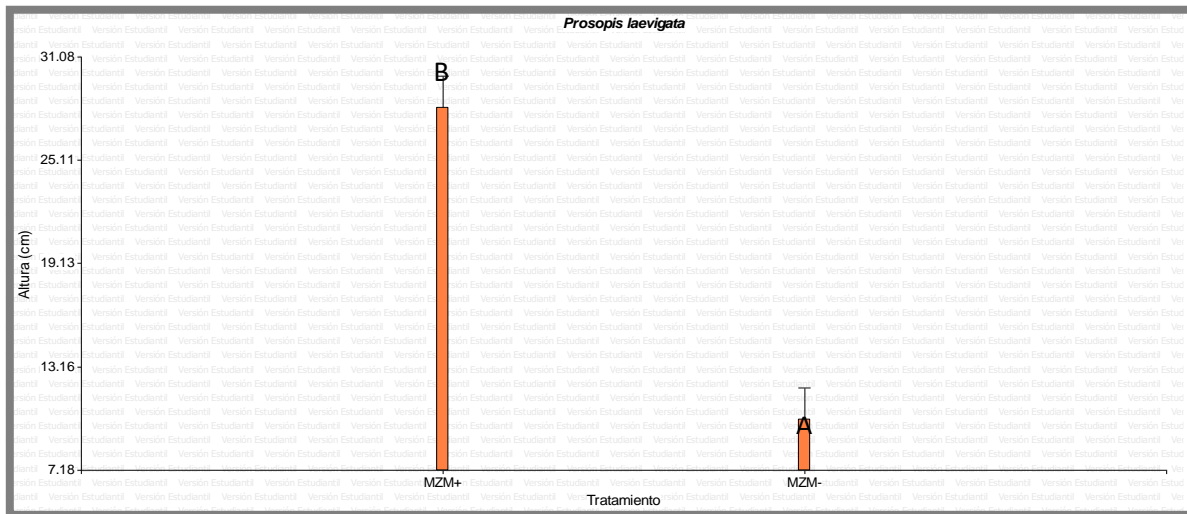


Figura 12. Altura promedio de los tratamientos de *Prosopis laevigata*, al finalizar el experimento, donde MZM+ corresponde a tratamientos con micorriza y MZM- a los que no tienen micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.

Para *Agave salmiana* se puede apreciar que el promedio no rebasa los 10 cm (Figura 13), aquellas que se encuentran en los mosaicos que contienen *Prosopis laevigata* (AmzM+ y AmzM-) son las que presentan mayor altura en los primeros meses, la cual va disminuyendo conforme pasa el tiempo, hasta ser similar en todos los tratamientos (Anexo 2), haciendo que no existan diferencias significativas

(Figura 14), a pesar de que en el tratamiento AmzM- se muestra un crecimiento bajo, asociado a la supervivencia de dos organismos, en los cuales pudo influir la presencia de *Prosopis laevigata*, pues al ser una leguminosa fija nitrógeno en el suelo, el cual ayuda al crecimiento de las plantas.

El descenso de la altura se debe principalmente a la muerte de los organismos, por ataques de herbivoría y a que fueron pisadas.

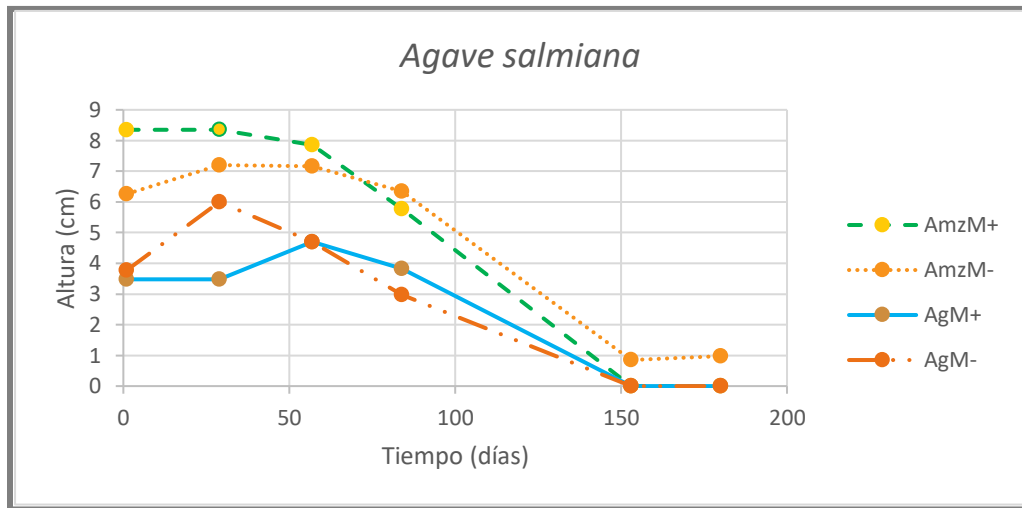


Figura 13. Altura promedio de los tratamientos de *Agave salmiana* con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-) durante los seis meses del experimento.

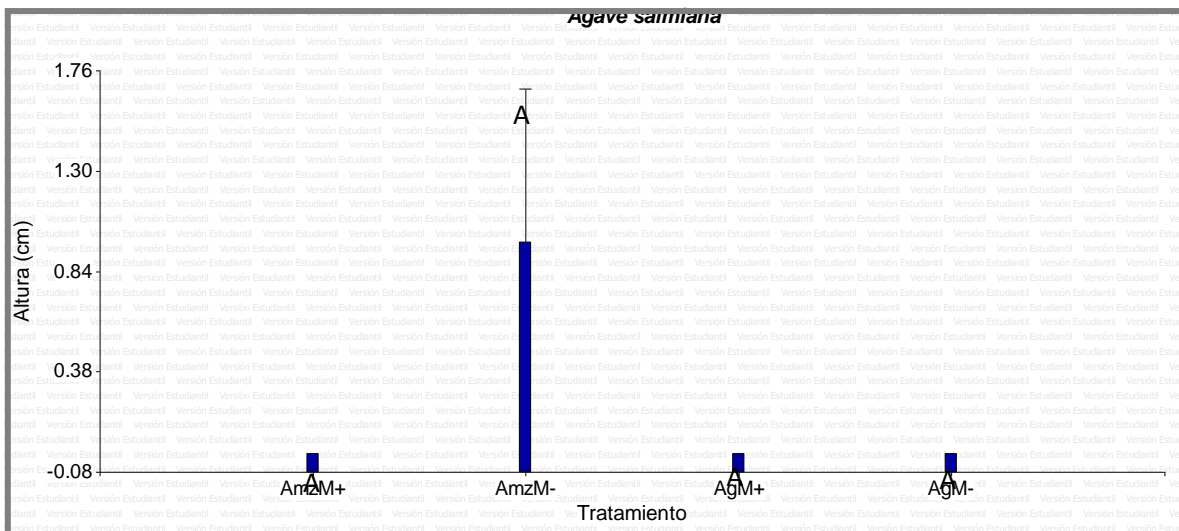


Figura 14. Altura promedio de los tratamientos de *Agave salmiana* al finalizar el experimento, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.

Respecto a *Opuntia streptacantha*, el promedio de las plantas testigo sin micorriza es mayor que los otros tratamientos, en los primeros tres meses (Figura 15). Al transcurso de los meses, todos los tratamientos presentaron un descenso en altura hasta finalizar el experimento. Al aplicar la prueba ANOVA (Anexo 3), se puede ver que las medias de los cuatro tratamientos no presentan diferencias significativas, pues quedan en cero los datos.

Estos resultados están más relacionados con las variaciones de tamaño de los cladodios al momento de ser colectados, así como la profundidad a la que fueron plantados, pues al no establecerse una profundidad específica, se les restó centímetros a algunos individuos. Durante los seis meses del experimento no se registró un aumento en la altura de ningún tratamiento.

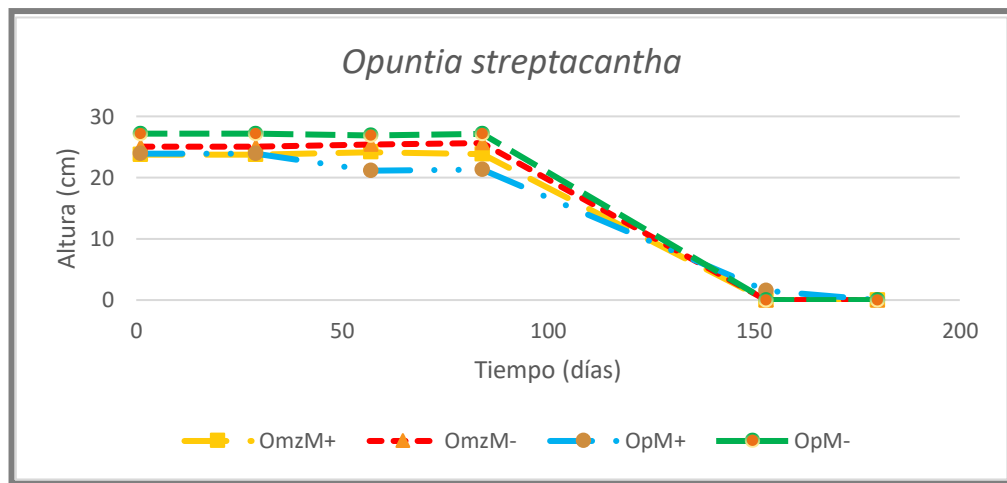


Figura 15. Altura promedio de los tratamientos de *Opuntia streptacantha* con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OpM+) y testigo sin micorriza (OpM-), durante los seis meses del experimento.

9.3 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Debido a que en *Prosopis laevigata* con micorriza hay un descenso de la altura desde la segunda medición, la TCR para este tratamiento resulta negativa, lo que significa que en promedio las plantas decrecieron (Anexo 4). En *Prosopis laevigata* sin micorriza a pesar de ser positiva su TCR, muestra un valor casi imperceptible (Figura 16). Estos valores muestran que las plantas no se desarrollaron bajo las condiciones climáticas de heladas y sequías.

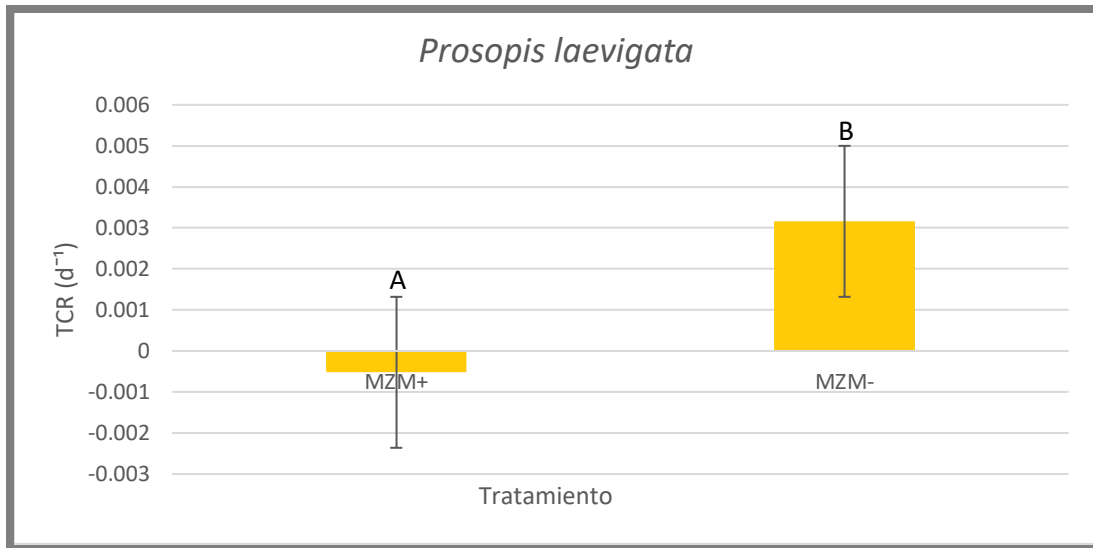


Figura 16. TCR de *Prosopis laevigata* con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) al transcurrir seis meses de ser trasplantadas. La línea vertical sobre la barra marca el error estándar.

En *Agave salmiana*, al transcurso de los meses del experimento, los tratamientos testigo y el de agave con nodriza más micorriza, fueron perdiendo altura, hasta morir, quedando las mediciones en cero, generando una TCR similar (Figura 17).

Respecto a los agaves plantados con nodriza, pero sin micorrizar, al pasar el tiempo la mayoría de los ejemplares fue muriendo y los que sobrevivieron perdieron altura, por lo que al realizar los cálculos los valores son negativos y no presentan diferencias significativas respecto a los otros tratamientos (Anexo 5).

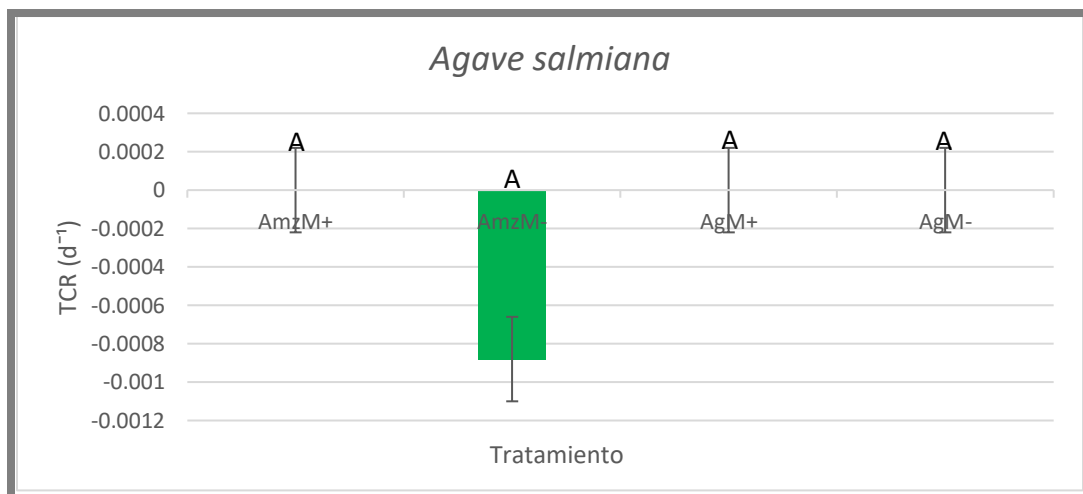


Figura 17. TCR de *Agave salmiana* con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-) después de seis meses del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En *Opuntia streptacantha*, el crecimiento no fue favorable (Figura 18), ya que al transcurrir los meses los ejemplares fueron perdiendo tamaño hasta morir, lo que se refleja en las medias equivalentes a cero (Anexo 6), ya sea por herbivoría o en mayor porcentaje por el clima, debido a que en los meses de noviembre – enero se presentaron heladas, generando que al finalizar el experimento todos los ejemplares murieran, ocasionando que la TCR quedara en cero para todos los tratamientos.

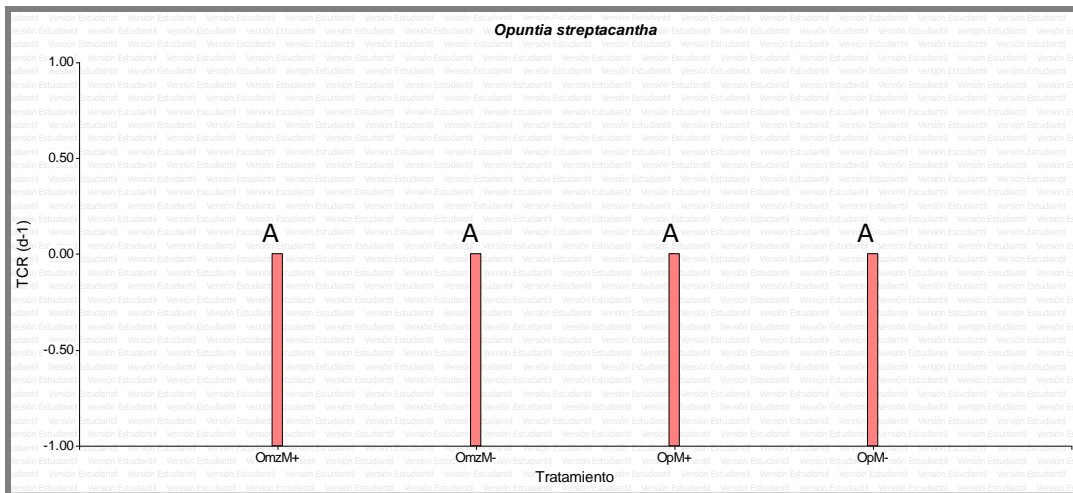


Figura 18. TCR de *Opuntia streptacantha* con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OpM+) y testigo sin micorriza (OpM-) después de seis meses del trasplante. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

9.4 Cobertura

En la gráfica (Figura 19) se puede observar que las plantas de *Prosopis laevigata* sin micorriza presentan una cobertura menor que aquellas tratadas con micorriza. Lo más probable es que la diferencia en cobertura se haya originado cuando las plantas se encontraban en condiciones de invernadero, como lo registrado por Sandoval (2014), donde la cobertura foliar de *Prosopis laevigata* con micorriza presenta diferencias significativas ($p < 0.0001$) en comparación de aquellas que no contienen micorriza.

Mientras que en condiciones de campo no es posible controlar el suministro de agua y la protección contra las heladas como en el invernadero, lo que afectó el aumento de cobertura.

Al aplicar la prueba de ANOVA (Anexo 7), realizada antes de perder el follaje, se confirma la diferencia de cobertura en ambos tratamientos.

Ambos tratamientos quedan sin cobertura al finalizar el experimento que corresponde al invierno, cuando estas plantas pierden de forma natural el follaje.

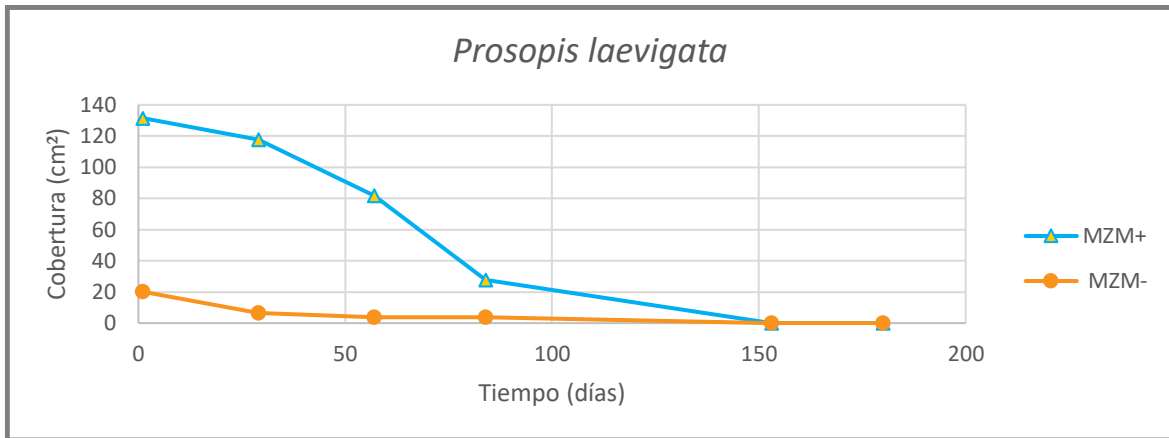


Figura 19. Cobertura promedio de *Prosopis laevigata* con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) durante los seis meses del experimento.

En *Agave salmiana*, las plantas que tienen nodriza y hongos micorrícicos son las que tienen una cobertura mayor en comparación de los tratamientos sin nodriza (Anexo 8). La cobertura en AmzM+ presenta un aproximado de 10 cm de ventaja sobre el tratamiento de AmzM- durante la segunda y tercera medición (Figura 20), esta diferencia puede deberse a que AmzM+ aparte de tener como nodriza a *Prosopis laevigata*, también contiene HMA de los cuales se conocen los beneficios que aportan a la planta.

Mientras que para los tratamientos testigo, no es extraño que el tratamiento con micorriza presente menor cobertura, pues no es esto un prerrequisito para responder exitosamente al crecimiento en todas las plantas inoculadas con HMA como lo mencionan Caravaca *et al.* (2003).

Al finalizar el experimento, al morir la mayoría de los organismos, no es posible medir la cobertura, en el mosaico correspondiente a agave con nodriza sin micorriza (AmzM-), quedan vivos dos organismos, pero al tener un pequeño brote, no se toma la cobertura.

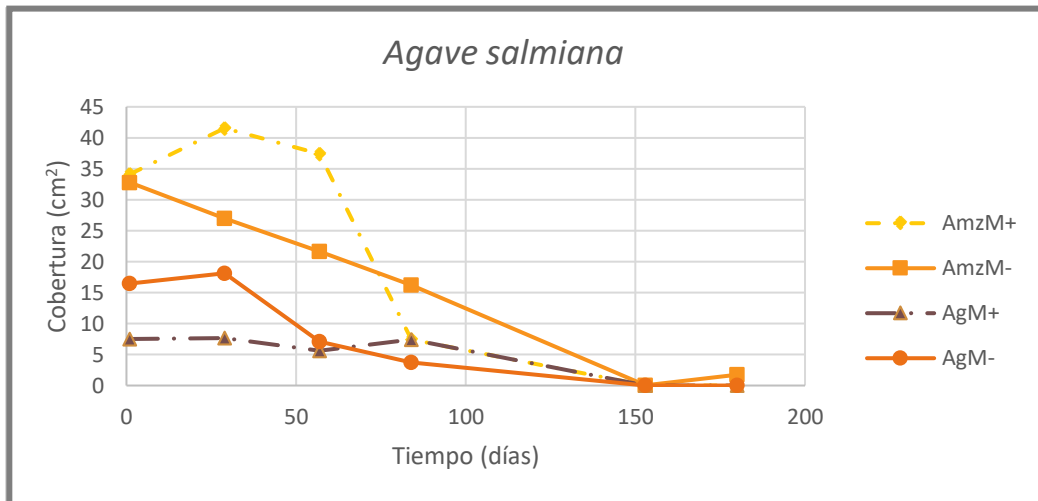


Figura 20. Cobertura promedio de *Agave salmiana* con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.

9.5 Número de pinnas/pencas

Las plantas que contienen micorriza presentan un número mayor de pinnas que aquellas que no contienen micorriza, diferencias notorias al realizar la prueba estadística (Anexo 9). Para MZM- el porcentaje de pinnas fue significativamente menor, a pesar de que las condiciones a las que fue expuesta fueron las mismas que para MzM+, lo que hizo la diferencia es que la absorción de agua y nutrientes fue mucho menor pues no contaba con una red hifal que le proporcionara estos servicios.

Al iniciar las mediciones MZM+ presenta 75 pinnas en promedio, el cual disminuye drásticamente a los 29 días de trasplantadas en campo (Figura 21), hasta quedarse sin hojas al transcurso de los meses, pues aquí ya no se les proporciono agua dos veces a la semana, lo que pudo haber originado que las hojas comenzaran a caerse ya que algunas plantas tiran sus hojas en temporada de secas (Figura 22) para evitar perder agua por sus estomas (especie decidua). El descenso a través de los meses fue similar para MZM-.

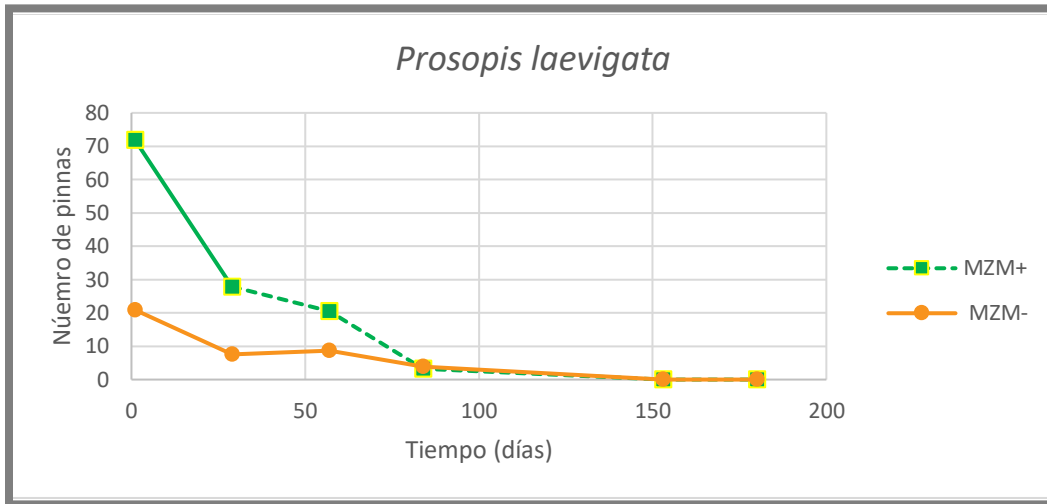


Figura 21. Promedio del número de pinnas de *Prosopis laevigata* con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-), durante los seis meses del experimento.



Figura 22. *Prosopis laevigata* sin pinnas.

El promedio del número de pencas para agave es mayor en aquellos que contienen nodriza (Figura 23), quizá por la presencia de una nodriza, pues como lo reporta Padilla y Pugnaire (2006), la facilitación o el síndrome de la planta nodriza, fomenta el crecimiento y desarrollo de otras especies debajo del dosel.

Al transcurrir los días, el promedio de todos los tratamientos comienza a ser similar a partir del día 84, hasta finalizar el experimento, donde tres tratamientos quedan

en cero, mientras que el tratamiento correspondiente a agave con nodriza sin micorriza presenta un promedio menor a 0.5 (Figura 24), correspondiente a los dos individuos que presentan una pequeña penca, lo que marca una diferencia significativa (Anexo 10).

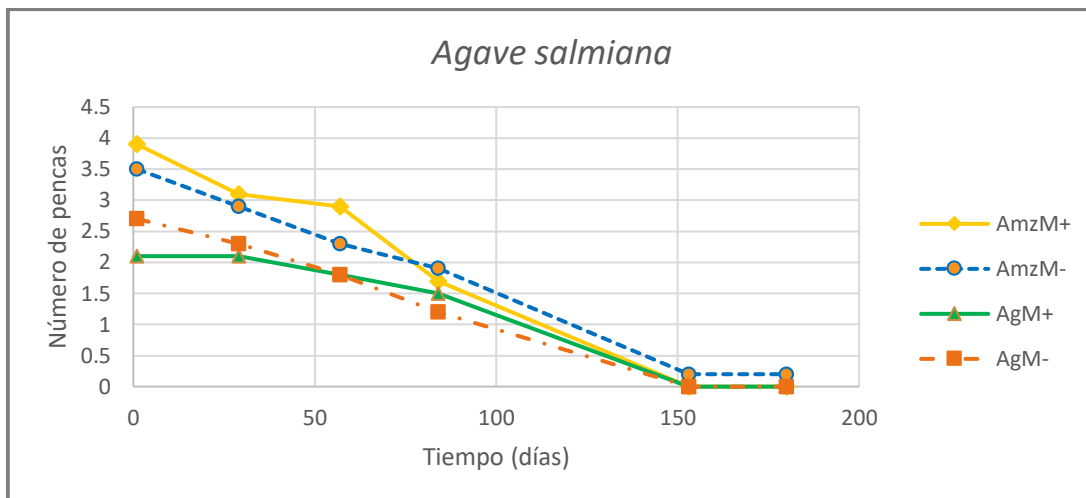


Figura 23. Promedio del número de pencas de *Agave salmiana* con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.

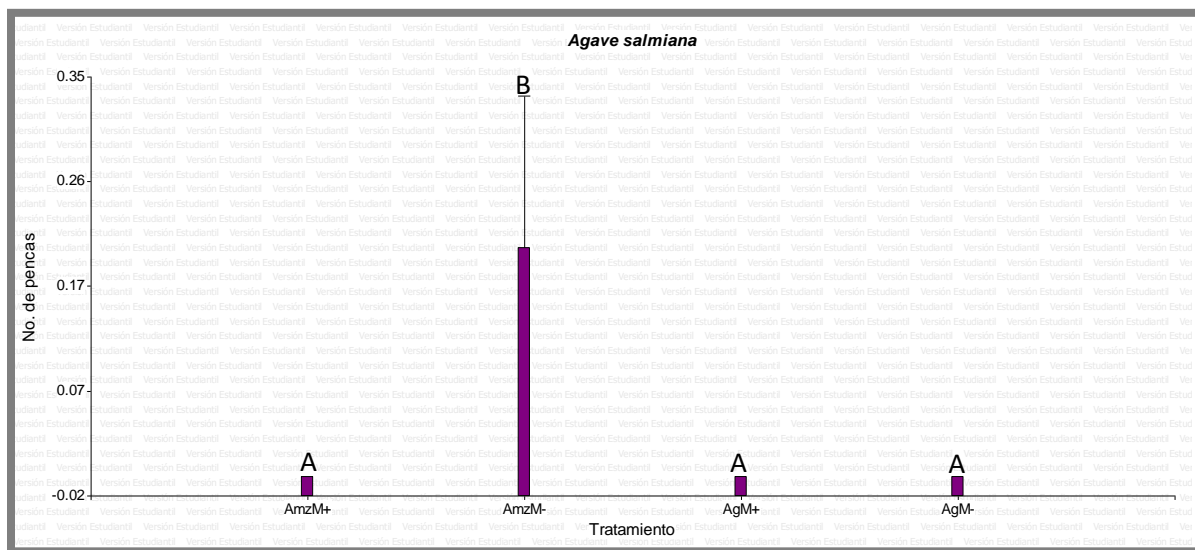


Figura 24. Número de pencas promedio de *Agave salmiana* después de seis meses del trasplante, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); las líneas verticales sobre las barras marcan el error estándar.

9.6 Porcentaje de supervivencia

Para *Prosopis laevigata* el porcentaje de supervivencia es parecido en ambos tratamientos, hasta el día 153, donde el tratamiento sin micorriza tiene un descenso de 20% (Figura 25). Este descenso no marca una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre ambos tratamientos (Figura 26) (Anexo 11). El deceso puede deberse a que las plantas no contenían micorriza y las condiciones no eran óptimas de acuerdo a CONAFOR (2018), donde se recomienda que la planta tenga una altura de 30 – 50 cm y el trasplante sea en la época de lluvias, mientras que las plantas trasplantadas median menos de 15 cm, respecto a la época de lluvias se podría decir que era un buen momento, pues de acuerdo a CONAGUA (2017), en septiembre de 2017, cuando se trasplantaron las plantas, se observaron dos períodos donde las lluvias fueron a nivel nacional mayores a sus promedios (169.8 mm de lámina de agua). El primero inició el 1 de septiembre y finalizó el día 9, mientras que el segundo se presentó del 21 al 30 de septiembre. Pero al transcurso de los meses este promedio fue bajando, siendo noviembre de 2017 a enero de 2018 aproximadamente de 20 mm (SMN, 2018), lo que pudo haber influido en la muerte de 20 % de individuos sin micorriza.

Mientras que el éxito de *Prosopis laevigata* con micorriza puede estar relacionado a la presencia de estos hongos, pues al contener red hifal, se facilita obtener agua durante la disminución de la precipitación, así como que al momento de ser trasplantados se encontraban entre los 30 cm recomendados.

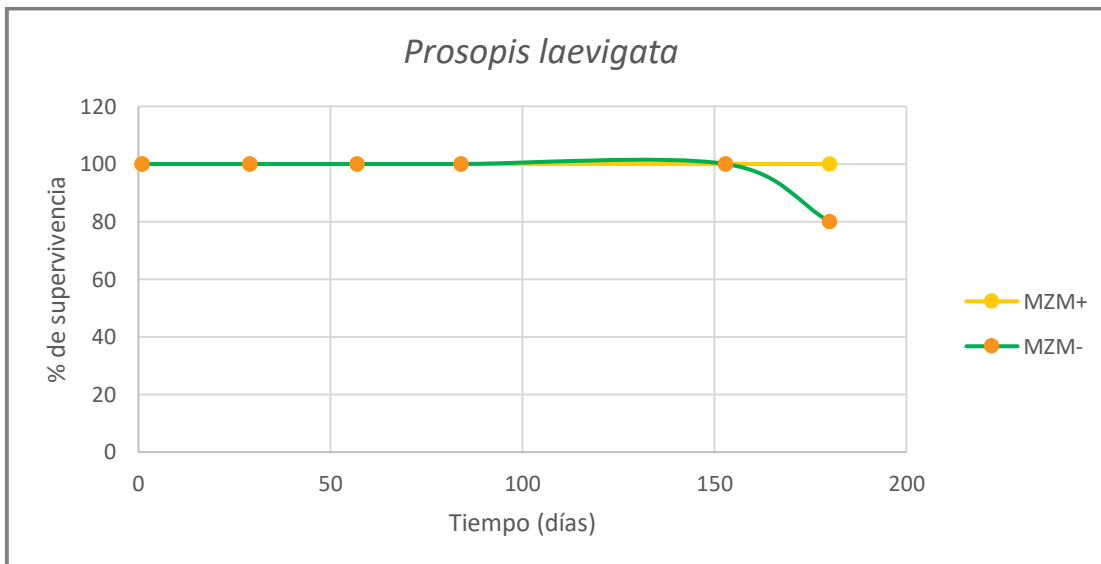


Figura 25. Porcentaje de supervivencia de plantas de *Prosopis laevigata*, donde MZM+ corresponde a plantas micorrizadas y MZM- a plantas sin micorrizas, durante los seis meses del experimento.

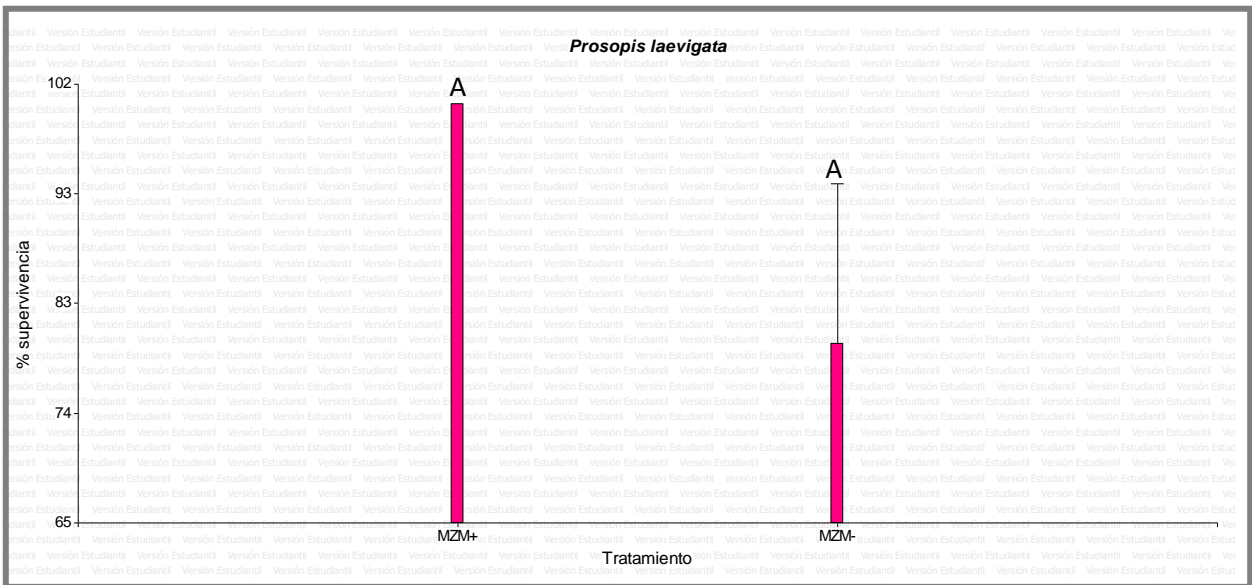


Figura 26. Porcentaje de supervivencia de *Prosopis laevigata* con micorriza (MZM+) y sin micorriza (MZM-) después de seis meses de haber sido trasplantadas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); la línea vertical sobre la barra marca el error estándar.

En *Agave salmiana* el porcentaje de supervivencia es similar hasta los 57 días (Figura 27), correspondientes al mes de octubre, donde la temperatura mínima variaba de 5–10 °C y la máxima se encontraba en 20–25 °C (SMN, 2018), temperaturas apropiadas según Nieto *et al.*, (2016), quienes mencionan que el agave requiere para su cultivo medias de temperatura de 13 a 18 °C, máximas de 42 °C y mínimas de menos 9 °C. Pero la precipitación no favoreció el desarrollo pues para el establecimiento de agave se necesitan precipitaciones que van de los 200 a los 400 mm (Nieto *et al.*, 2016), y a partir de octubre de 2017 se registraron precipitaciones de 70 mm, disminuyendo en noviembre – diciembre a 0.5 aproximadamente (SMN, 2018), siendo la posible causa de muerte de la mayoría de las plantas (Figura 29), al igual que las heladas que se presentaron por los frentes fríos, CONAGUA (2017) precisó que en noviembre se estimó el ingreso de 6, en diciembre 8, en enero 8, en febrero 7, en marzo 6, en la temporada 2017-2018; cifra semejante al promedio histórico, conforme a la climatología 2001- 2015.

Aun así, un 20% de plantas que contenían nodriza (AmzM-) lograron sobrevivir (Figura 28), lo que al aplicar la prueba ANOVA genera una diferencia ($p < 0.05$) en comparación de los otros tres tratamientos (Anexo 12).

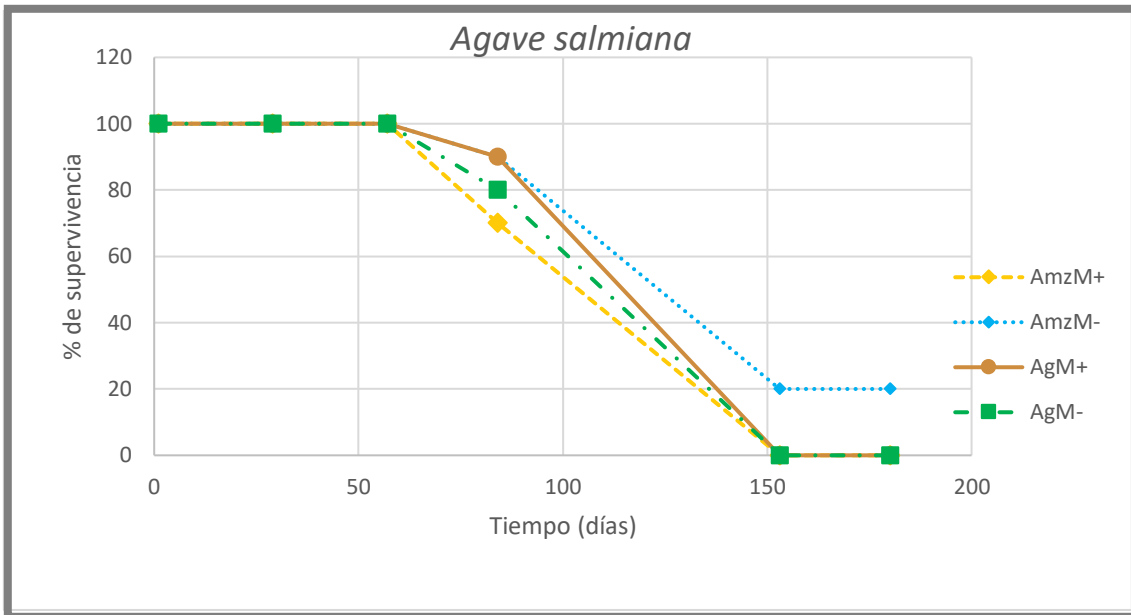


Figura 27. Porcentaje de supervivencia de *Agave salmiana* con nodriza más micorriza (AmzM+), con nodriza sin micorriza (AmzM-), testigo con micorriza (AgM+) y testigo sin micorriza (AgM-), durante los seis meses del experimento.

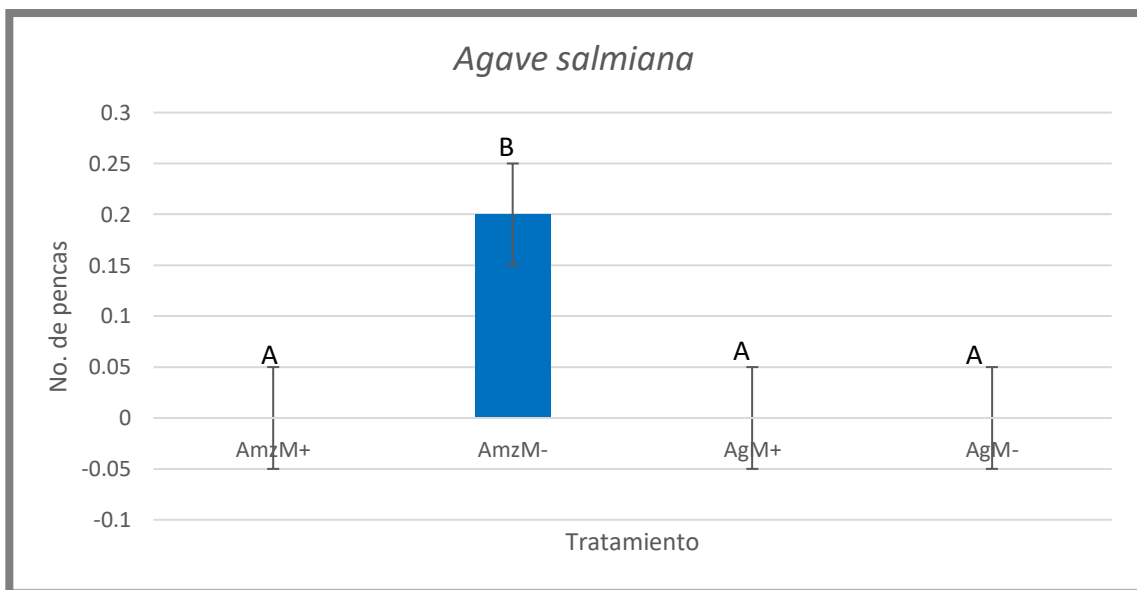


Figura 28. Porcentaje de supervivencia de *Agave salmiana* después de seis meses de ser trasplantadas, donde AmzM+ corresponde a nodriza con micorriza, AmzM- a nodriza sin micorriza, AgM+ a testigo con micorriza y AgM- es igual a testigo sin micorriza. Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$); la línea vertical sobre la barra marca el error estándar.



Figura 29. *Agave salmiana*, después de helada y sequía.

Respecto a *Opuntia streptacantha* se puede apreciar que el porcentaje es similar en todos los tratamientos (Figura 30), mostrando una baja del 100 % al transcurrir 180 días, esto se debe a las bajas temperatura que se presentaron durante el invierno, siendo los nopales afectados por una helada negra que es muy perjudicial para las plantas y tiene lugar cuando la temperatura del aire, aún por debajo de los cero grados, no alcanza el punto de rocío y no hay formación de cristales de hielo sobre el vegetal. Se tienen registros de heladas que pudieron originar esto, una el 24 de noviembre (con una temperatura menor a 0 °C) y otra el 11 de diciembre de 2017 (con una temperatura de -14 °C) en la capital del Edo. de México (La Jornada, 2017) entre otras.

En estas condiciones, los tejidos sufren quemaduras graves que confieren a las plantas una apariencia negruzca (Figura 31). Característica que presentaron los cladodios y agaves plantados en Teotihuacán.

Al no sobrevivir ningún individuo de *Opuntia streptacantha* la prueba ANOVA no mostró resultados (Anexo 13).

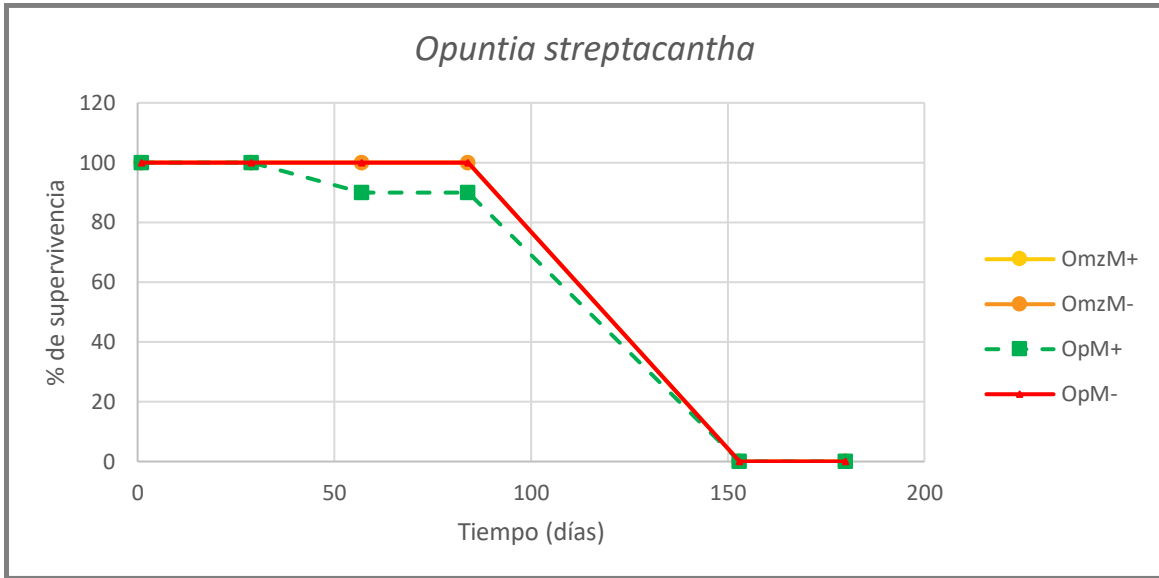


Figura 30. Porcentaje de supervivencia de *Opuntia streptacantha* con nodriza más micorriza (OmzM+), con nodriza sin micorriza (OmzM-), testigo con micorriza (OpM+) y testigo sin micorriza (OpM-), durante el transcurso de seis meses del experimento.



Figura 31. Helada negra en cladodio de *Opuntia streptacantha*.

En *Prosopis laevigata* la supervivencia no varía mucho entre plantas micorrizadas y no micorrizadas, siendo elevada en ambos casos; la diferencia más significativa se muestra en la altura final, pues la micorrización favorece el crecimiento (Cuadro 3).

El mosaico vegetal que está conformado por plantas de *Prosopis laevigata* y está micorrizado, proporcionó a *Agave salmiana* mayores beneficios respecto a su crecimiento (Cuadro 4), en comparación del mosaico que no contenía nodriza ni estaba micorrizado, mientras que para el mosaico que contenía nodriza sin

micorriza y el que no tiene nodriza ni micorriza, no se mostraron diferencias relevantes. Respecto a *Opuntia streptacantha* la presencia de una nodriza y/o micorriza no altera su desarrollo, pues no se mostraron diferencias entre los mosaicos (Cuadro 5).

En todos los mosaicos vegetales la supervivencia no fue favorable, el acomodar la planta nodriza en el centro (Figura 32) hubiese brindado mayor protección si tuviera un mayor tamaño, así como mayor cobertura, pues al carecer de un follaje frondoso, no actuaron como barrera contra las heladas que se presentaron.

Las plantas de *Prosopis laevigata* utilizadas en este experimento, no actuaron realmente como nodrizas para *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha*, pues no brindaron protección ante las heladas o sombra ante las altas temperaturas, debido a su pequeño tamaño; tampoco hubo protección contra ataques de herbivoría; aun así, los mosaicos que presentaron plantas de *Prosopis laevigata* mostraron mejores resultados, por lo que se demuestra que estas son formadoras de islas de recursos.

El éxito hubiese mejorado si el sitio donde se realizó el experimento contara con plantas leñosas ya establecidas o con microcuencas de captación de reservas hídricas; asimismo, el terreno no se encontraba en pendiente para acumular agua por escurrimiento en microsítios de establecimiento (De la Rosa y Monroy, 2006).

De acuerdo con Monroy *et al.*, (2016), las plantas de *Prosopis laevigata* funcionan como árboles madre, al fomentar la riqueza y diversidad de propágulos fúngicos, siendo esto una ventaja para los mosaicos que contenían a estas plantas, al aumentar la cantidad de HMA y por lo tanto incrementar el aporte de agua y nutrientes para el desarrollo vegetal, lo cual pudo haber ocurrido en el mosaico donde se encontraban los organismo de *Agave salmiana* sin micorriza pero con la presencia de *Prosopis laevigata*.



Figura 32. Planta de *Agave salmiana*, *Prosopis laevigata* y *Opuntia streptacantha* muertas en un mosaico, después de 180 días de su trasplante.

Cuadro 3. Síntesis de resultados de *Prosopis laevigata*.

Tratamiento / Variable	MZM+	MZM-	Prueba estadística
Altura final (cm)	28.93 B	10.36 A	ANOVA
Cobertura (cm ²)	0	0	ANOVA
No. de pinnas	0	0	Kruskal Wallis
TCR (d ⁻¹)	-0.00052 A	0.00029 B	ANOVA
Supervivencia (%)	100 A	80 A	ANOVA

Las letras distintas marcan diferencias significativas (p<0.05)

Cuadro 4. Síntesis de resultados de *Agave salmiana*.

Tratamiento / Variable	AmzM+	AmzM-	AgM+	AgM-	Prueba estadística
Altura final (cm)	6.06 C	4.79 BC	3.09 A	3.48 AB	ANOVA
Cobertura (cm ²)	0 B	1.72 A	0 B	0 B	Kruskal Wallis
No. de pencas	0 B	0.2 A	0 B	0 B	ANOVA
TCR (d ⁻¹)	0 A	-0.000886 A	0 A	0 A	ANOVA
Supervivencia (%)	0 B	20 A	0 B	0 B	ANOVA

Las letras distintas marcan diferencias significativas (p<0.05)

Cuadro 5. Síntesis de resultados de *Opuntia streptacantha*.

Tratamiento / Variable	OmzM+	OmzM-	OpM+	OpM-	Prueba estadística
Altura final (cm)	15.91 A	16.85 A	15.30 A	18.07 A	ANOVA
TCR (d ⁻¹)	0	0	0	0	ANOVA
Supervivencia (%)	0	0	0	0	ANOVA

Las letras distintas marcan diferencias significativas (p<0.05)

10. Conclusiones

- Las plantas de *Prosopis laevigata* al fomentar la riqueza y diversidad de propágulos fúngicos, propagan la red hifal de HMA; y aportan materia orgánica, favoreciendo las condiciones para que *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha* conformen mosaicos vegetales.
- En este estudio, la micorrización de *Prosopis laevigata* no influye de forma significativa en el crecimiento de otras plantas vecinas (agave y nopal) en un mosaico vegetal.
- No fue posible saber si la presencia de una nodriza influye en la supervivencia de *Opuntia streptacantha* y *Agave salmiana*, pues las plantas de mezquite no presentaron las condiciones apropiadas (altura, cobertura) para considerarse nodrizas.
- La presencia de micorrizas arbusculares en el hábitat donde se establecieron las plantas no influyó en el desarrollo y supervivencia de *Opuntia streptacantha*, mientras que para *Agave salmiana*, es posible que se haya establecido una simbiosis con las micorrizas presentes en el suelo.
- La hipótesis presentada no se cumple, pues *Prosopis laevigata* no actuó como nodriza, al igual que la presencia de HMA no influyó en un mejor desarrollo para las plantas vecinas en campo.
- Las micorrizas sí favorecen el desarrollo vegetal en invernadero, mientras que en campo es bajo o nulo, pues aquí no se controla el suministro de agua y no hay protección ante heladas y la herbivoría.

11. Referencias

- Aguirre, R. J.R., Charcas S. H. y Flores, F.J. L. (2001). El maguey mezcalero potosino. San Luis Potosí, México. COPOCYT, UASLP.
- Andrade, T. A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf
- Callaway R. M. (1992). Effect of shrubs on recruitment of *Quercus douglasii* and *Q. lobate* in California. *Ecology* **73**, 2118-2128.
- Camargo, R. L. (2003). Endemic *Mimosa* species can serve as micorrhizal “resource island” within semiarid communities of the Tehuacán–Cuicatlán Valley, México. (Tesis de Doctorado) Agricultural University of Norway. Noruega.
- Caravaca, F., Barea, J. M., Palenzuela, J., Figueroa, D., Alguacil, M. M., Roldán, A. (2003). Establishment of shrub species in a degraded semiarid site alters inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology* **22** pp. 103 – 111.
- Carrillo G. A., Bashan Y., y Bethlenfalvay G. J. (1999). Nurse plants, micorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonora Desert. *Restoration Ecology* **7** (4), pp 321 -335.
- Cázares, M. J. (1993). Estrategias de plantas y procesos de vegetación. Chichester, E. U. A. John-Wiley and Sons.
- Cervantes R., M. (2003). Plantas de Importancia Económica en las Zonas Áridas y Semiáridas de México. Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos. 5. Economía. Instituto de Geografía, UNAM.153 pp.
- Cervantes, R. M.C. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Universidad de Sao Paulo. Disponible en <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf> consultado el 10 de julio de 2017.
- Cervantes, G. C. S. (2014). Establecimiento de plantas de *Prosopis laevigata* y *Agave salmiana* inoculadas con Hongos micorrizógenos arbusculares en condiciones de invernadero. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F.
- CONAGUA (2017). Reporte del clima en México. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronósticos a Mediano y Largo Plazo. 7 (9).
- De la Rosa. M., C.J, y Monroy A. A., (2006). Mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida. *TIP Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 9 (2), pp. 96-100.
- Flores, D. L., Alcalá, M. J R. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. UNAM. Fecha de consulta: 01/04/2018 en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>
- García, S. R. Monroy A. A., Chimal, S. E. (2008). Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. En: Montaña, N.M., S.L. Camargo, R. R., García S. A., Monroy A. (eds.), Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología - SEMARNAT,

- Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM, México, D.F. pp. 123-136.
- González, L. J. J., Fuentes, R. J. M., y Rodríguez, G. A. (1997). Industrialización de la tuna Cardona (*Opuntia streptacantha*). *jpacd*. Recuperado de http://www.jpacd.org/downloads/Vol2/8_CPUNFAO.pdf (09/06/2017).
- González, M. C. F. (2003). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. Sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. (Tesis de Licenciatura), Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México, D.F.
- González, B. J. L., González, C. G., Chávez, R. E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias del Agua*. **3 (1)**, pp. 21 – 32.
- Hernández C. L. Castillo A. S., Guadarrama, Ch. P., Martínez, O. Y., Romero, R. M. y Sánchez, G. I. (2003). Hongos Micorrizógenos Arbusculares del Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias. UNAM. México
- Horowitz, A.J., Walling, D.E. (2005). Sediment Budgets. International Association of Hydrological Sciences IAHS Press. No. 292, vol. 2, pp. 262-270.
- INAFED, Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). SEGOB. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/>
- Joseph D. B., Sidney L. S. (2012). Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Instituto Nacional de Ecología (INE). Disponible en <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/667/cap7.pdf>. Consultado el 29 de mayo de 2018.
- Lu, X. y Koide, R.T. (1994). Effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytologist*. **128**, pp. 211-218.
- Matos, M.E. (2009). Teotihuacán. 1ª Ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- McAuliffe J. (1984). Prey refugia on the distributions of two Sonoran desert cacti. *Oecologia*. **65** pp. 82-85.
- Monroy, A. A., Estevez, T. J., García, S. R., Ríos, G. R. (2007). Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Restauración Ecológica en México*. 80 (Suplemento) pp. 49-57.
- Monroy, A. A., Peña, B. J. C., García, D. M. (2016) Mycorrhizal Symbiosis Organization of Dominant Tree *Prosopis laevigata* (Mesquite) in a Xeric Shrub of Central México. Springer International Publishing Switzerland.
- Nieto, A. R., Vargas, M. J., Nieto, A. J. C., Rodríguez, O. A., Jiménez, P. V. M., Hernández, C. J., Ortiz, B. M. (2016). El cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el valle del Mezquital. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Hidalgo.
- NOM – 021- SEMARNAT – 2000 (2002). Diario Oficial de la Federación disponible en <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/rn/rn021-02.pdf>
- Padilla, F.M., Pugnaire F. I. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **4** pp.196 – 202.

- Palacios, R. A. (2006). Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41(1-2), 99-121. Recuperado en 15 de marzo de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722006000100010&lng=es&tlng=es.
- Papálotzi, S. I. (2008). Regeneración *in vitro* de *Agave salmiana* y determinación de azúcares totales. Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, SEP, 81 pp.
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Teotihuacan. PMDU. (2008). Gobierno del Estado de México, Secretaria de Desarrollo Urbano http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Teotihuacan/PMDU.pdf (consultado el 16 de junio de 2017).
- Reséndez, V. K. L., González, C. M. P., Chairez, H. I., Díaz, M. O. (2013). Aspectos biológicos, ecológicos y usos del mezquite. Durango, México. IPN.
- Rodríguez, S. E. N., Rojo, M. G. E., Ramírez, V. B., Martínez, R. R., Cong, H. M., Medina, T. S. M., Piña, R. H. H., (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. [En línea] 2014, 10 (enero-junio): Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111013>> ISSN 1665-0441.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del suelo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Rzedowski J., G. Calderón. (2001). Flora Fanerogámica del Valle de México, Instituto de Ecología A.C., 2ª ed., Centro Regional del Bajío, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Sandoval C. C. F. (2014). Establecimiento de plantas micorrizadas de mezquite [*Prosopis laevigata* (Hum. & Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnst.] En condiciones de invernadero. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F.
- Shreve, T. (1931). Physical condition in sun and shade. *Ecology*. **12**: 96-104.
- Salazar C. U. I. (2017). Establecimiento de *Prosopis laevigata* y *Opuntia streptacantha* inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares y *Azospirillum brasilense* en condiciones de invernadero. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Ciudad de México.
- Valiente, B. A., Ezcurra, E. (1991). Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Villar R., Ruiz J., Quero J., Herndrik P., Valladares F., Marañón T. (2004). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio del Medio Ambiente pp 191-227.

11.1 Páginas web

- CONAFOR. 2018. Datos obtenidos del link: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/988Prosopis%20laevigata.pdf>. Fecha de consulta: 20 de abril de 2018.
- CONAGUA 2017. Comunicado de prensa no. 667 – 17. Datos obtenidos del link: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/269605/Comunicado de Prensa 667-17.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/269605/Comunicado_de_Prensa_667-17.pdf)
- Desertificación. gob. 2018. Datos obtenidos del link: [http://www.desertificacion.gob.ar/wpcontent/uploads/2014/06/IV.2e DA suelo.pdf](http://www.desertificacion.gob.ar/wpcontent/uploads/2014/06/IV.2e_DA_suelo.pdf). Fecha de consulta: 27 de abril de 2018.
- FAO. 2018. Datos obtenidos del link: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/> Fecha de consulta: 30 de marzo de 2018.
- INEGI. 2017. Datos obtenidos del link: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/clima.aspx?tema=me&e=15>. Fecha de consulta: 24 de julio de 2017.
- La Jornada. 2017. Datos obtenidos del link: <http://ljz.mx/2017/12/12/azota-la-helada-negra-al-agro-de-zacatecas-14-grados-bajo-cero/>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2018.
- Natureduca 2018. Datos obtenidos del link: <https://natureduca.com/agricultura-suelos-composicion-05.php>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2018.
- SMN. (Servicio Meteorológico Nacional) 2018. Datos obtenidos del link: <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>. Fecha de consulta: 24 de abril de 2018.

Anexo 1. ALTURA *Prosopis laevigata*.

Prueba de normalidad Shapiro – Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
MZM+	10	28.15	5.83	0.91	0.4004
MZM-	10	10.10	5.78	0.77	0.0050

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	20	0.73	0.71	30.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1629.01	1	1629.01	48.31	<0.0001
Tratamiento	1629.01	1	1629.01	48.31	<0.0001
Error	606.93	18	33.72		
Total	2235.94	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.45577

Error: 33.7181 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.
MZM-	10.10	10	1.84 A
MZM+	28.15	10	1.84 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2. ALTURA *Agave salmiana*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AmzM-	10	0.97	2.22	0.54	<0.0001
AgM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AgM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	40	0.14	0.07	458.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7.06	3	2.35	1.90	0.1464
Tratamiento	7.06	3	2.35	1.90	0.1464

Error	44.48	36	1.24
Total	51.54	39	

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.00818

Error: 1.2356 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
AmzM+	0.00	10	0.35	A
AgM+	0.00	10	0.35	A
AgM-	0.00	10	0.35	A
AmzM-	0.97	10	0.35	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3. ALTURA *Opuntia streptacantha*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
OmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OmzM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	40	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00	3	0.00	sd	sd
Tratamiento	0.00	3	0.00	sd	sd
Error	0.00	36	0.00		
Total	0.00	39			

Anexo 4. Tasa de crecimiento relativo (TCR) *Prosopis laevigata*.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
MZM+	10	-5.2E-04	5.7E-04	0.89	0.2802
MZM-	10	3.0E-04	5.3E-04	0.95	0.7401

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TCR	20	0.38	0.34	489.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3.3E-06	1	3.3E-06	11.00	0.0038
Tratamiento	3.3E-06	1	3.3E-06	11.00	0.0038
Error	5.4E-06	18	3.0E-07		
Total	8.7E-06	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.00052

Error: 0.0000 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.
MZM+	-5.2E-04	10	1.7E-04
MZM-	3.0E-04	10	1.7E-04

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 5. Tasa de crecimiento relativo (TCR) *Agave salmiana*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AmzM+	10	0.00	0.00 sd		>0.9999
AmzM-	10	-8.9E-04	2.3E-03		0.50 <0.0001
AgM+	10	0.00	0.00 sd		>0.9999
AgM-	10	0.00	0.00 sd		>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TCR	40	0.11	0.04	515.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.9E-06	3	2.0E-06	1.50	0.2300
Tratamiento	5.9E-06	3	2.0E-06	1.50	0.2300
Error	4.7E-05	36	1.3E-06		
Total	5.3E-05	39			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.00104

Error: 0.0000 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.
AmzM-	-8.9E-04	10	3.6E-04
AgM+	0.00	10	3.6E-04
AgM-	0.00	10	3.6E-04
AmzM+	0.00	10	3.6E-04

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Tasa de crecimiento relativo (TCR) *Opuntia streptacantha*.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
OmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OmzM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TCR	40	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00	3	0.00	sd	sd
Tratamiento	0.00	3	0.00	sd	sd
Error	0.00	36	0.00		
Total	0.00	39			

Anexo 7. COBERTURA *Prosopis laevigata*.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
MZM+	10	71.73	18.96	0.96	0.8382
MZM-	10	5.67	3.50	0.93	0.5578

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura	20	0.87	0.86	35.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21823.19	1	21823.19	117.39	<0.0001
Tratamiento	21823.19	1	21823.19	117.39	<0.0001
Error	3346.36	18	185.91		
Total	25169.55	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=12.81076

Error: 185.9090 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.
MZM-	5.67	10	4.31 A
MZM+	71.73	10	4.31 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. COBERTURA *Agave salmiana*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
AmzM+	10	24.10	32.35	0.60	<0.0001
AmzM-	10	16.56	14.38	0.78	0.0070
AgM+	10	5.65	5.34	0.85	0.0905
AgM-	10	9.08	8.57	0.70	0.0007

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Cobertura	AgM-	10	9.08	8.57	6.02	9.81	0.0202
Cobertura	AgM+	10	5.65	5.34	4.02		
Cobertura	AmzM-	10	16.56	14.38	12.19		
Cobertura	AmzM+	10	24.10	32.35	15.06		

Trat.	Ranks
AgM+	12.50 A
AgM-	17.70 A B
AmzM-	24.50 B
AmzM+	27.30 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 9. NÚMERO DE PINNAS *Prosopis laevigata*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
MZM+	10	20.58	4.99	0.86	0.1079
MZM-	10	8.20	8.62	0.78	0.0075

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
No. de pinnas	MZM-	10	8.20	8.62	4.90	9.14	0.0025

No. de pinnas MZM+	10	20.58	4.99	19.17
--------------------	----	-------	------	-------

Trat. Ranks

MZM- 6.50 A

MZM+ 14.50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10. NÚMERO DE PENCAS *Agave salmiana*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AmzM-	10	0.20	0.42	0.50	<0.0001
AgM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AgM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No. de pencas	40	0.16	0.09	421.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.30	3	0.10	2.25	0.0992
Tratamiento	0.30	3	0.10	2.25	0.0992
Error	1.60	36	0.04		
Total	1.90	39			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.19121

Error: 0.0444 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.
AmzM+	0.00	10	0.07 A
AgM+	0.00	10	0.07 A
AgM-	0.00	10	0.07 A
AmzM-	0.20	10	0.07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 11. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA *Prosopis laevigata*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
----------	---	-------	------	----	------------------

MzM+	10	100.00	0.00	sd	>0.9999
MzM-	10	96.00	8.43	0.50	<0.0001

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% supervivencia	20	0.11	0.06	33.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.20	1	0.20	2.25	0.1510
Tratamiento	0.20	1	0.20	2.25	0.1510
Error	1.60	18	0.09		
Total	1.80	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.28012

Error: 0.0889 gl: 18

Tratamiento	Medias	n	E.E.
MZM-	0.80	10	0.09 A
MZM+	1.00	10	0.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 12. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA *Agave salmiana*.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AmzM-	10	0.20	0.42	0.50	<0.0001
AgM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
AgM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% supervivencia	40	0.16	0.09	421.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.30	3	0.10	2.25	0.0992
Tratamiento	0.30	3	0.10	2.25	0.0992
Error	1.60	36	0.04		

Total	1.90	39
-------	------	----

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.19121

Error: 0.0444 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
AmzM+	0.00	10	0.07	A
AgM+	0.00	10	0.07	A
AgM-	0.00	10	0.07	A
AmzM-	0.20	10	0.07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 13. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA *Opuntia streptacantha*

Prueba de normalidad Shapiro-Wilks

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
OmzM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OmzM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM+	10	0.00	0.00	sd	>0.9999
OpM-	10	0.00	0.00	sd	>0.9999

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% supervivencia	40	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00	3	0.00	sd	sd
Tratamiento	0.00	3	0.00	sd	sd
Error	0.00	36	0.00		
Total	0.00	39			