UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Establecimiento de mezquite (*Prosopis laevigata*) mediante el uso de micorrizas arbusculares y de un sistema atrapanieblas, en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

PRESENTA:

PERALTA CASTILLO LYSSETTE

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO MONROY ATA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA VEGETAL

Investigación realizada con financiamiento de la DGAPA, UNAM, mediante el proyecto PAPIIT con clave: IN216610.

FES ZARAGOZA

MÉXICO, D. F. ABRIL DE 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Comunico a usted que la alumna **PERALTA CASTILLO LYSSETTE**, con número de cuenta **306114359**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **9** del mes de **abril** de 2014 a las **10:00 hrs.** para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	DR. ARCADIO MONROY ATA
VOCAL	M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ
SECRETARIO	DRA. ESTHER MATIANA GARCÍA AMADOR
SUPLENTE	BIÓL. LETICIA LÓPEZ VICENTE
SUPLENTE	BIÓL. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ MUÑOZ

El título de la tesis que presenta es: **Establecimiento de mezquite (*Prosopis laevigata*) mediante el uso de micorrizas arbusculares y de un sistema atrapanieblas, en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D. F., a 26 de marzo de 2014

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA DIRECCION

Dr. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA

Agradecimientos

Agradecimientos especiales al Dr. Arcadio Monroy Ata, a la Biól. Yolanda Flores, a la Biól. Ariadna Raquel González Rangel y al equipo de trabajo de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal de la FES-Zaragoza por su apoyo y solidaridad durante mi estancia.

Agradecimientos a la Dra. Esther Matiana García Amador, a la Biól. Leticia López Vicente, al Biól. Marco Antonio Hernández Muñoz y al Biól. Eduardo Chimal por sus observaciones que me fueron de gran ayuda para mejorar este trabajo.

Dedicatoria

"Did you ever know that you're my hero
and everything I would like to be?
I can fly higher than an eagle
for you are the wind beneath my wings".

Gracias a la vida por todo lo que me ha dado: tanto las lecciones en las adversidades como la dicha y las satisfacciones.

Gracias a mi familia por todo su apoyo y cariño. A mis padres por enseñarme el valor del esfuerzo y el amor por el trabajo, son mi mayor inspiración. A mis hermanos por todo lo que hemos compartido y aprendido juntos. A mis abuelos y tíos. No tengo palabras para expresarles lo que significan para mí, me siento muy afortunada de poder compartir este logro con todos ustedes.

Gracias a los profesores que me han guiado e impulsado a desarrollar mis capacidades durante mi formación académica.

Con mucho cariño para los amigos que he conocido a lo largo de este camino, por la comprensión, cariño y alegrías que hemos compartido.

ÍNDICE

Resumen……..... 1-2

1.-Introducción……..…… 2- 3

2.-Antecedentes…….. 3-9

3.-Marco teórico…….. 9-25

3.1 Zona áridas y semiáridas……..……. 9 -10

3.2 Valle del Mezquital, Hidalgo……..... 10

3.3 Restauración ecológica y establecimiento vegetal……..... 11- 12

3.4 *Prosopis laevigata* (H. B. ex Willd.) Johnst M.C……..... 12- 15

3.5 Hongos Micorrícicos……..... 15-16

3.6 Hongos micorrizógenos arbusculares……..… 16- 17

3.7 Nodrizaje vegetal……..….17-19

3.8 Agua de niebla……..... 19-21

3.9 Atrapanieblas y cosecha de agua……..…… 21- 24

4.- JUSTIFICACIÓN……..……... 24

5.- PROBLEMÁTICA CIENTÍFICA…….. 25

6.- HIPÓTESIS……..... 25

7.- OBJETIVOS…….…. 25

8.- ZONA DE ESTUDIO…… 26-27

9.- METODOLOGÍA…….. 27- 32

9.1 Trabajo en campo…… 27-31

Organismos……..... 27

Sistemas atrapanieblas…….. 28-29

Estación meteorológica……... 29- 30

9.2 Trabajo de Gabinete…… 30-31

Organismos…… 30-31

Atrapanieblas…… 31

9.3 Diseño Estadístico……. 32

10.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN……..... 33-58

10.1 Desarrollo de *Prosopis laevigata*…… 33-40

10.2 Porcentaje de supervivencia de *P. laevigata* (M+) y (M-)…….. 41-44

10.3 Cosecha de agua……... 44-49

10. 4 Atrapanieblas……... 50-51

10.5 Climograma de la parcela de estudio…….…….. 51-52

10.6 Atrapanieblas como “Nodriza artificial” y HMA……. 53-58

11.- CONCLUSIONES……... 59

12.- RECOMENDACIONES…….. 60

13.- REFERENCIAS…….. 61-64

14.- ANEXOS……..... 65-76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de esporas de Hongos micorrizógenos arbusculares por 100 g de suelo……..… 5

Figura 2. Micrositio en la parcela experimental……7

Figura 3. Colocación de atrapanieblas…… 7

Figura 4. Vista lateral (izq.) y Figura 5. Vista frontal (der.) del modelo de atrapanieblas con medidas……..... 8

Figura 6. Vista de la malla hidrófoba de los atrapanieblas a 40 x…….…….. 8

Figura 7. Árboles de *Prosopis laevigata*……..……13

Figura 8. Inflorescencia (izq.) y Figura 9 Vainas (der,) de *P. laevigata*…… 13

Figura 10. Endomicorrizas arbusculares……... 17

Figura 11. Proceso de deposición de niebla en la vegetación y las interacciones atmósfera- suelo de las regiones áridas y semiáridas……..... 20

Figura 12. Ecosistema semiárido durante un episodio nebuloso (izq.) y Figura 13. Ecosistema semiárido después de un episodio nebuloso (der.)……..... 21

Figura 14. Atrapanieblas convencionales……..... 23

Figura 15. Ubicación de la zona de estudio…….. 26

Figura 16. Medición de parámetros de desarrollo de *P. laevigata*……..... 27

Figura 17. Atrapanieblas durante un episodio nebuloso……..28

Figura 18 (izq.) y Figura 19 (der.). Medición del volumen de agua capturada por atrapanieblas en un episodio nebuloso…….…..... 29

Figura 20. Riego de plantas de *P. laevigata*……..… 29

Figura 21. Estación meteorológica Vantage Pro2 Plus ubicada en la parcela de estudio……..… 30

Figura 22. Altura promedio de plantas de *P. laevigata*, micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual……....33

Figura 23. Altura *P. laevigata* micorrizada (M+) (izq.) y Figura 24. Altura *P. laevigata* no micorrizada (M-) (der.)……..……. 34

Figura 25. Cobertura vegetal promedio de plantas de *P. laevigata*, micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo a anual……... 35

Figura 26. Medición de la cobertura vegetal de *P. laevigata*……..… 35

Figura 27. Número de ramas promedio de plantas de *P. laevigata*, micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-)…… 36

Figura 28. Ramas de plantas de *P. laevigata*……..……. 36

Figura 29. Número de pinnas promedio de plantas de *P. laevigata*, micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual……..… 37

Figura 30. Pinnas de plantas de *P. laevigata*……..…….. 38

Figura 31. Porcentaje de supervivencia de plantas de *P. laevigata* micorrizadas (M+) durante un ciclo anual……..…. 41

Figura 32. Porcentaje de supervivencia de plantas de *P. laevigata* no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual……..…..42

Figura 33. Supervivencia de P. laevigata no micorrizada (M-)……... 43

Figura 34. Supervivencia de P. laevigata micorrizada (M+)…… 43

Figura 35. Cosecha de agua al día promedio en mL durante un ciclo anual……... 45

Figura 36. Cosecha de agua al mes promedio durante un ciclo anual en L…… 46

Figura 37……..… 46

Figura 38. Graficas de cosecha de agua durante la temporada seca……47

Figura 39. Captura mensual de niebla en mm durante un ciclo anual……...47

Figura 40. Medición de agua cosechada durante la temporada seca……..…. 48

Figura 41……..….. 49

Figura 42. Riego de P. laevigata durante la temporada seca del año……..... 49

Figura 43. Climograma de la parcela de estudio durante un ciclo anual……..… 52

Figura 44. Radiación solar W/m^2 registrada en la parcela de estudio durante un ciclo anual……..….. 52

Figura 45. Micrositio debajo de atrapanieblas que provee sombra y protección a *P. laevigata*…….. 54

Figura 46. Esquema “Atrapanieblas como nodriza artificial de P. laevigata y HMA”..... 58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las características del suelo de la parcela experimental…..…... 5
Cuadro 2. Diversidad y densidad de esporas de HMA en 100 g de suelo……..... 6
Cuadro 3. Resumen de resultados: Crecimiento vegetal (2012-2013)……..... 39
Cuadro 4. Resumen de los resultados: Tasa de crecimiento relativo en altura, tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal……..…… 40
Cuadro 5. Resumen de los resultados: Cociente altura final/altura inicial y cobertura vegetal final/ cobertura vegetal inicial…….…... 40
Cuadro 6. Supervivencia de *P. laevigata* M+ y M- en condiciones de campo……..…... 44
Cuadro 7. Comparación de sistemas de riego de *P. laevigata* en condiciones de campo…….. 51
Cuadro 8. Comparación de densidad de esporas y morfotipos de HMA……..…..55

Resumen

Este trabajo forma parte del proyecto “Establecimiento de plantas micorrizadas y cosecha de agua para la rehabilitación ecológica de una zona semiárida del Valle de Actopan, Hidalgo” (clave PAPIIT IN216610). Esta investigación tuvo como objetivo determinar el desarrollo vegetal y supervivencia de plantas de la especie *Prosopis laevigata* durante el ciclo anual 2012-2013, bajo la cobertura de sistemas atrapanieblas en una parcela semiárida de Tezontepec de Aldama en el Estado de Hidalgo; así mismo se determinó la cosecha de agua de los atrapanieblas, durante un ciclo anual. Para esto, se utilizaron 10 plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*) micorrizadas (en condiciones de laboratorio) y 10 plantas testigo (no micorrizadas), que fueron llevadas a campo a los siete meses de edad. Cada una de estas plantas fue trasplantada a la parcela experimental, bajo la cobertura de un atrapanieblas, en micrositios de 1 m^2 de superficie y 20 cm de profundidad, a una distancia de 3 m entre cada micrositio en agosto de 2011. El monitoreo reportado del desarrollo de las plantas en la parcela experimental, corresponde al ciclo anual: agosto 2012- julio 2013. Durante este año se realizó el registro mensual de las variables: altura, cobertura vegetal, número de ramas y número de pinnas de cada planta.

Los resultados muestran que al inicio del ciclo anual se registraron diferencias significativas en tres variables de respuesta del desarrollo vegetal y al final del ciclo no se presentó ninguna diferencia significativa entre tratamientos; asimismo, se obtuvo el 100 % de supervivencia de las plantas en ambos tratamientos. La cosecha de agua (lluvia más neblina) registrada por atrapanieblas, en el ciclo anual fue de 63.5 L, la mensual de 5.29 L y la diaria de 176.3 mL. Por lo anterior se concluye que: a) el uso de atrapanieblas fue el factor determinante para lograr la supervivencia del 100% de las plantas de mezquite en campo; b) los sistemas atrapanieblas son eficientes en la cosecha de agua, particularmente durante la temporada sin lluvias en el ambiente semiárido de estudio (cosechando un promedio de hasta 7 L de agua de niebla en un mes de temporada seca), además de que proveen de recursos hídricos durante todo el año, tomando en cuenta la precipitación pluvial. Finalmente, se propone considerar a los atrapanieblas como

nodrizas artificiales que facilitan el establecimiento vegetal de especies clave, como el mezquite, para asegurar el re-poblamiento vegetal con especies dominantes en zonas semiáridas deterioradas.

INTRODUCCIÓN

El enorme crecimiento poblacional, junto con el intenso desarrollo industrial y urbano registrado durante el siglo XX, trajo consigo la mayor transformación de los ecosistemas terrestres que se haya reportado en la historia de la humanidad. En México, extensas superficies de ecosistemas han sido degradadas o transformadas en campos agrícolas, pastizales para ganado y zonas urbanas. Las principales problemáticas que enfrentan los ecosistemas terrestres mexicanos son la deforestación y la degradación. Ambos fenómenos implican una reducción de la cubierta vegetal, lo que ocasiona problemas como modificaciones en los ciclos hidrológicos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en la captura de dióxido de carbono y la pérdida de hábitats o la fragmentación de ecosistemas (Comisión Nacional Forestal, 2009).

Esto ha llevado a la formación de una disciplina llamada Restauración Ecológica, la cual tiene como objetivo la recuperación de ecosistemas perturbados y de esta manera evitar su continuo deterioro y/o desaparición. Para ello, a partir del conocimiento ecológico de los sistemas naturales, el proceso de restauración ecológica dirige al ecosistema por una serie de fases sucesionales y así, tiene como meta recuperar la estructura y función que tenía antes de la perturbación [(Bradshaw, 1983, 1997) citado por Peña *et al*., 2005]. La recuperación de la cobertura vegetal es normalmente la primera fase de la restauración de ecosistemas terrestres degradados (Monroy y García, 2009).

México presenta extensas regiones de zonas áridas, muy áridas y semiáridas que cubren 54.3 % de su superficie total (Cervantes, 2003), donde la escasez de agua es el principal factor limitante para el desarrollo vegetal. Bajo este esquema,

en la restauración ecológica de las zonas áridas y semiáridas, se utilizan herramientas naturales como la inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) para favorecer el crecimiento vegetal, así como ecotecnias que permiten contrarrestar dichos efectos de degradación, tal como la cosecha de agua.

El mezquite (*Prosopis laevigata*) es una especie dominante en el semidesierto del centro de México con un gran valor económico y ecológico en ecosistemas áridos y semiáridos, por lo que se ha propuesto su reintroducción en proyectos de restauración ecológica en la zonas áridas y semiáridas (Reyes-Reyes, 2003).

1. ANTECEDENTES

Recientes estudios han evaluado la respuesta en el establecimiento vegetal y la supervivencia de especies con importante valor económico y ecológico en condiciones de campo, previamente germinadas en invernadero. Tal ha sido el caso del mezquite (*Prosopis laevigata*) en zonas semiáridas deterioradas donde la microbiota del suelo puede ser minada por su erosión, fumigación ó sobreexplotación principalmente.

De acuerdo a Caravaca *et al*. (2002), se ha reportado que el establecimiento vegetal se favorece cuando se utilizan inóculos micorrícicos nativos. Por otra parte, el uso de islas de recursos y micrositios también ha facilitado el establecimiento vegetal en estas zonas.

Barragán (2003) realizó la inoculación micorrícica de *Prosopis laevigata* en condiciones de invernadero y estudió su efecto al trasplante en condiciones de campo en un matorral xerófilo del Valle de Actopan, Hidalgo. Reportando porcentajes mayores de supervivencia de plantas micorrizadas (83.33%) en comparación con las plantas no micorrizadas (11.66 %).

Posteriormente, en 2007 Monroy *et al.*, realizaron un estudio donde se evaluó el establecimiento vegetal de plantas de *Prosopis laevigata* y *Acacia farnesiana* mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado, encontrando como resultados que las plantas micorrizadas presentan un mayor porcentaje de supervivencia y desarrollan un mayor número de pinnas con relación a sus testigos, sin encontrar diferencias significativas en la supervivencia de mezquite y huizache, trasplantadas bajo el dosel de las especies vegetales formadoras de islas de recursos.

En otro estudio, realizado por González (2013) la supervivencia y parámetros de desarrollo vegetal como la altura, la cobertura vegetal y el número de hojas de plantas micorrizadas de la especie *Yucca filifera* fueron significativamente diferentes en comparación con sus testigos no micorrizados, en un estudio de un ciclo anual sobre el establecimiento de *Yucca filifera* mediante el uso de micorrizas y de microclimas generados por nodrizas del género *Opuntia* en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

Las conclusiones de ambos estudios fueron:

a) El mayor índice de mortalidad de las plantas se presentó durante la época más seca del año, donde las plantas no micorrizadas fueron más susceptibles a pesar de estar bajo la cobertura de plantas nodrizas.
b) La inoculación de plántulas con hongos micorrícicos arbusculares nativos, es recomendable en la restauración de ecosistemas semiáridos deteriorados, a fin de promover el desarrollo y supervivencia en condiciones de campo mitigando el deterioro de la vegetación y del suelo (Monroy, 2007; González, 2013).

Finalmente, el presente trabajo forma parte del Proyecto PAPIIT IN216610: Establecimiento de plantas micorrizadas y cosecha de agua para la rehabilitación ecológica de una zona semiárida del Valle de Actopan, Hidalgo. No obstante, el proyecto se llevó a cabo en una parcela semiárida deteriorada del municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. El suelo de la parcela presentó las características

reportadas en el Cuadro 1, de acuerdo a la NOM-021 SEMARNAT el suelo es medianamente alcalino; el % de nitrógeno total es muy bajo; su textura es franco arenosa; es un suelo no salino; su % de materia orgánica es bajo y el % de fósforo es medio. Por otra parte la Figura 1 muestra la cantidad de esporas de Hongos micorrícicos arbusculares por 100 g de suelo de la parcela, en temporada seca y temporada de lluvias, el número de esporas aumenta durante la temporada seca, sin embargo, no llegan a ser 20 en su valor máximo.

Cuadro 1. Descripción de las características del suelo de la parcela experimental.	
Parámetro	**Características del suelo**
pH	**7.83**
Textura	**Franco/arenoso**
Densidad aparente (g/cm^3)	**1.173**
Densidad real (g/cm^3)	**2.63**
Conductividad Eléctrica (dSm^{-1})	**0.19**
Nitrógeno total (%)	**7.46**
Materia orgánica (%)	**0.537**
Fósforo (%)	**10.9**

Fuente: González (2013).

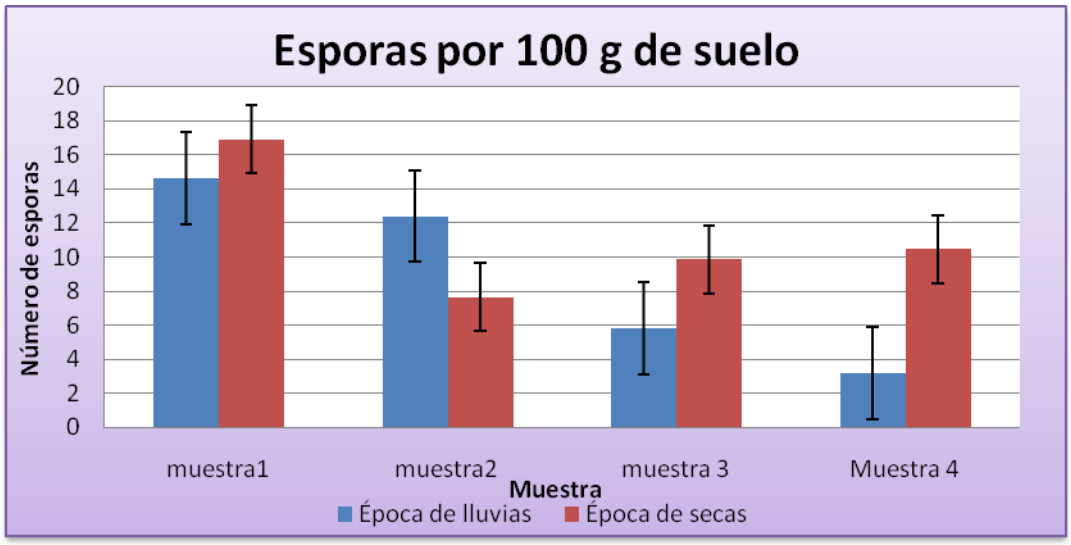


Figura 1. Número de esporas de Hongos micorrizógenos arbusculares por 100 g de suelo.

Fuente: Trejo (2012).

En el año 2011, como parte de la rehabilitación ecológica de esta parcela se trasplantaron 10 plantas de *Prosopis laevigata* micorrizadas (M+) que fueron inoculadas en laboratorio y 10 plantas no micorrizadas (M-), todas las plantas

germinaron bajo condiciones del invernadero de la FES-Zaragoza (Casillas, 2014). El inóculo micorrícico empleado fue tomado de la rizósfera de *Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffths, en el Parque Ecológico Cubitos en Pachuca, Hidalgo. De acuerdo a Chimal *et al*. (2009), la diversidad y densidad de esporas del inóculo micorrícico por 100 g de suelo se representa en el Cuadro 2. Cada una de estas plantas de *Prosopis laevigata* se cultivó durante siete meses en condiciones del invernadero de la FES-Zaragoza.

Cuadro 2. Diversidad y densidad de esporas de HMA en 100g de suelo.

Morfotipo	Proporción	Densidad de esporas
***Glomus* sp1 blanco a amarillo paja aprox.120µ (aff. *mosseae*)**	**36.7%**	**105**
Esporas con hifas blancas con tintes amarillentos (quizás *Acaulospora* sp1)	**8.04%**	**23**
***Glomus* sp2 amarillo aprox. 100µ**	**9.09%**	**26**
***Glomus* sp3 color naranja brillante aprox. 120µ**	**13.27%**	**38**
***Glomus* sp4 color amarillo-naranja**	**5.24%**	**15**
***Acaulospora* sp2 naranja aprox. 105µ**	**5.24%**	**15**
Esporas naranja aprox. 65µ	**2.5%**	**7**
Glomus* sp5 naranja-rojizos aff. *Geosporum	**9.44%**	**27**
***Glomus* sp6 rojo muy pequeño**	**3.5%**	**10**
Gigaspora* amarillo-pálido 350µ aff. *Ramisporophora	**3.15%**	**9**
***Acaulospora* sp3**	**3.85%**	**11**
Morfotipos en total 11	**100%**	**286**

Fuente: Chimal *et al*. (2009).

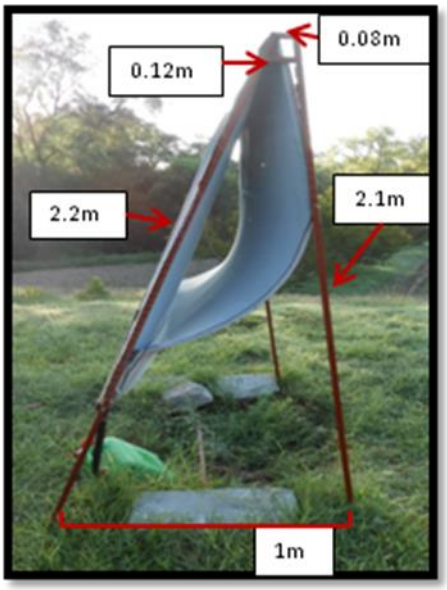
En la parcela experimental a cada planta se le acondicionó un micrositio con un área de 1 m^2 y 15 cm de profundidad (Figura 2). La distancia a la que se colocaron cada uno de estos micrositios fue de 3 m. Posteriormente las plantas de *P. laevigata* se trasplantaron intercalándose M+ y M- bajo la cobertura de atrapanieblas en la parcela de estudio como se muestra en las Figura 3.

Figura 2. Micrositio en la parcela experimental. Fuente: Reséndiz (2011)

Figura 3. Colocación de atrapanieblas. Fuente: Reséndiz (2011).

El sistema para la captación de agua que fue colocado para el riego de las plantas de *Prosopis laevigata* está conformado por atrapanieblas. Cada atrapanieblas está conformado por una estructura de hierro, una canaleta de acero galvanizado, una malla de tela de polietileno con apertura de poro de 0.73 mm por 0.20 mm (Figura 6), una manguera y un recipiente plástico donde se almacenó el agua. La estructura metálica de hierro está formada de dos soportes laterales y dos ejes que los unen. Los soportes laterales izquierdo y derecho miden 2.20 m y 2.10 m respectivamente mientras que los ejes miden 8.5 cm en la parte superior y 1 m en la base (Figura 4 y Figura 5). La malla del atrapanieblas mide 1.5 m por 1.55 m

(Reséndiz, 2014). La manguera tiene una longitud de 1 m y los contenedores son de 10 litros. Cada uno de los atrapanieblas se colocó en dirección SO, por ser esta la dirección perpendicular a la del viento dominante.



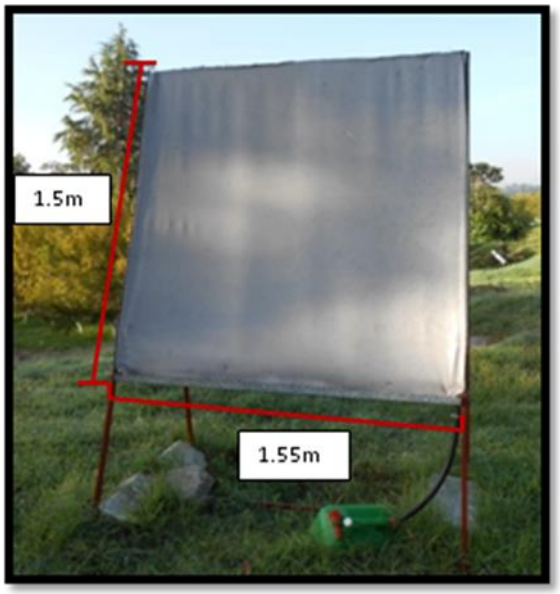


Figura 4. Vista lateral (izq.) y Figura 5. Vista frontal (der.) del modelo de atrapanieblas con medidas. Imágenes tomadas por la autora.

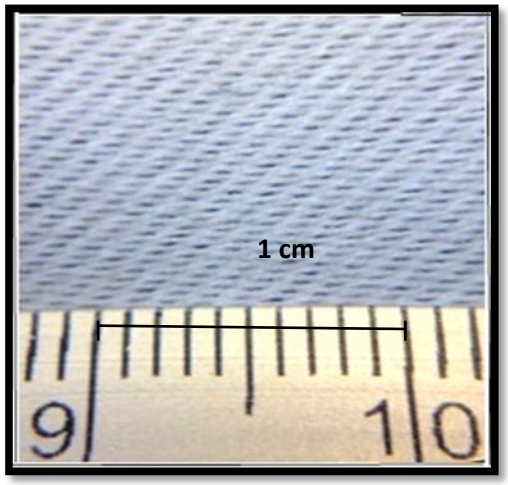


Figura 6. Vista de la malla hidrófoba de los atrapanieblas a 40 x. Imagen tomada por la autora.

Desde su trasplante (en el año 2011) se ha dado seguimiento al desarrollo y supervivencia de las plantas de *P. laevigata* en la parcela experimental, bajo la cobertura de los atrapanieblas, así como a la cosecha de agua de este sistema (datos no publicados). El presente trabajo corresponde al monitoreo del desarrollo de las plantas y la cosecha de agua del ciclo anual 2012-2013.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Zonas áridas y semiáridas en México

México es un país cuyo territorio presenta extensas regiones de zonas áridas, muy áridas y semiáridas que cubren 54.3 % de su superficie total. La aridez de un lugar es una variable física que depende de la interacción de variables mensurables tales como la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la dirección y fuerza del viento y la evapotranspiración, por lo que su interpretación resulta sumamente compleja (Cervantes, 2003). La insolación suele ser intensa, la humedad atmosférica en general es baja y en consecuencia la evaporación y la transpiración alcanzan valores altos, en estos ambientes la cubierta vegetal resulta el mejor indicador de la aridez, ya que las relaciones clima-vegetación rigen el comportamiento de las plantas frente a los agentes atmosféricos y radiación solar (Cervantes, 2003; Rzedowski, 2006).

Las zonas áridas y semiáridas están cubiertas en su mayor parte por diversos tipos de comunidades arbustivas que reciben el nombre genérico de matorral xerófilo, el matorral xerófilo ocupa prácticamente el 30% de la cobertura total del territorio mexicano (CONABIO y SEMARNAT, 2009), alternando con pastizales y manchones aislados de vegetación arbórea (Cervantes, 2003).

En su mayor parte, este tipo de vegetación presenta algún grado de perturbación. El deterioro es ocasionado principalmente por el uso ganadero, actividad cuya extensión se estima en 6.34 millones de hectáreas (CONABIO y SEMARNAT, 2009), siendo las cabras y borregos los animales más comunes en estos ambientes. El efecto más notable que produce el pastoreo sobre la vegetación xerófila es la sustitución paulatina de las plantas apetecibles para el ganado por

otras que éste no consume. Aunado a esto, la falta de recursos hace que el ser humano que habita las regiones áridas se empeñe en obtener provecho de la vegetación natural, efecto que acentúa el uso intenso de algunas especies. De esta manera un gran número de plantas silvestres se utilizan para fines de construcción, combustible, textiles, usos medicinales e incluso alimenticios, sobre todo en épocas de escasez (Rzedowski, 2006).

3.2 Valle del Mezquital, Hidalgo

En el Valle del Mezquital, ubicado en el suroeste del estado de Hidalgo, el matorral xerófilo es el tipo de vegetación más abundante, donde coexisten especies leñosas de la familia Fabaceae y especies de las familias Agavaceae, Cacteaceae y Liliaceae (yucas) con hierbas como gramíneas (Poaceae) y compuestas (Asteraceae). El nombre de la región se debe al mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst.], especie que ha sido particularmente sobreexplotada por ser una planta de usos múltiples [(Galindo y García, 1986) citado por Monroy *et al.* (2007)].

La expansión agropecuaria, industrial y urbana, han ocasionado, además de la deforestación y destrucción de los ecosistemas, erosión significativa que afecta en diferentes grados (ligero, moderado y severo) al territorio nacional. En el caso particular del estado de Hidalgo, el proceso de desertificación se presenta en más del 50% del territorio, donde el Valle del Mezquital presenta un grado moderado de erosión del suelo (Randell, 2005). Por otro lado, la problemática ambiental del Valle del Mezquital se caracteriza por la contaminación del agua superficial y subterránea, la degradación del suelo por salinización, la contaminación atmosférica, el crecimiento urbano desordenado, la proliferación de maleza acuática, azolvamiento de cuerpos de agua, la deforestación, cambios de uso del suelo, manejo inadecuado de residuos sólidos y uso indiscriminado de agroquímicos con sustancias no autorizadas, entre otros (IDCR, 2002).

3.3 Restauración ecológica y establecimiento vegetal

La rama de la ecología denominada Restauración Ecológica constituye una disciplina que estudia la recuperación de las condiciones ambientales originales (vegetación, flora, fauna, clima, agua, suelo y microorganismos) de un ecosistema perturbado (Jackson *et al.,* 1995). En este proceso se trata no solo de rescatar especies, sino de recuperar las interacciones donde las especies están relacionadas entre sí y con el medio abiótico (Jimenez *et al*., 2002). Restaurar un ecosistema es devolverle con el tiempo su estructura, composición, diversidad de especies y funcionamiento de la manera más cercana a su estado original (Sol *et al*., 2004). Así, el repoblamiento vegetal normalmente es la primera fase de una restauración de ecosistemas terrestres degradados, donde aún hay suelo que sustenta algunas poblaciones vegetales resultantes de alguna perturbación (fuego, deforestación, sobrepastoreo, sobreexplotación de especies) (Monroy y García, 2009).

De acuerdo al Boreal Research Institute (2014), el establecimiento vegetal comprende las primeras etapas de cultivo donde las plantas jóvenes se enfrentan a una serie de desafíos para lograr su desarrollo, muy diferentes a los que experimentan en su madurez y etapa reproductiva.

Bajo este esquema, el establecimiento de *Prosopis laevigata* ha sido estudiado, en cuanto a los aspectos relevantes en la fenología de la especie; por ello es conocido que las semillas y las plántulas son las etapas más vulnerables de su ciclo de vida. La disponibilidad de agua, las altas temperaturas y la limitación de nutrimentos, particularmente nitrógeno, son los factores principales que afectan el establecimiento de estas plantas en las zonas áridas. [(Mooney *et al*., 1977) citado por Tapia *et al.*, 1999].

Por lo anterior, los proyectos de restauración son abordados desde una perspectiva multidiscipliaria e integral, que incluye el estudio del desarrollo de las especies de flora desde su fase inicial hasta su fase de madurez (fisiológica y reproductiva), entre muchos otros aspectos (Sol *et al*., 2004).

En particular, la restauración de las zonas semiáridas presenta numerosos problemas debido a la escasez de recursos fundamentales para la vegetación, especialmente agua y nutrimentos; condiciones ambientales especialmente limitantes para el desarrollo de las plantas y alteración que los animales pueden provocar en las actuaciones de restauración. Estos hechos resaltan la necesidad de incorporar los avances científicos sobre composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas a las actividades de restauración (Maestre, 2003).

3.4 *Prosopis laevigata* (H. B. ex Willd.) Johnst M.C.

El género *Prosopis* pertenece a la subfamilia Mimosaceae, familia Fabaceae integrada por 44 especies, de gran importancia en la composición arbórea y arbustiva de zonas áridas y semiáridas, abarcando su distribución el Sureste de Asia (tres especies nativas), África tropical (una especie nativa) y América (40 especies), llegando en este último continente desde el SO de EE.UU. hasta la Patagonia Argentina y Chile. De un total de 31 especies Sudamericanas, 11 son endémicas de Argentina (FAO, 2013). *Prosopis laevigata* (Figura 7) morfológicamente, es una planta leñosa perennifolia de aspecto variable que puede alcanzar una altura de 6 m; el tronco llega a medir de 50 a 80 cm de diámetro; la copa es redonda y simétrica, las ramas son encorvadas, irregulares, y muy separadas por lo que proporcionan gran superficie de sombra, las ramas más pequeñas son delgadas con poca pubescencia y las yemas miden de 4 a 9 mm; el ápice y base de esta especie son redondeadas, las hojas miden de 4 a 11 cm de largo, se presentan en posición bipinnada hasta de 3 a 6 cm de longitud; las flores son hermafroditas, actinomorfas, con cinco pétalos, un androceo constituido por diez estambres, con un gineceo y ovario súpero, son muy pequeñas; se presentan en forma de inflorescencias alcanzando una longitud de 10 cm, producen un aroma y néctar agradable indispensable para la polinización zoófila; el fruto es una vaina de forma aplastada o aplanada de 10–12 cm de largo por 6–8 mm de espesor (Figura 8 y Figura 9). La planta presenta una raíz primaria y gruesa con hendiduras que dividen la superficie en láminas cortas y gruesas; su corteza es de

5 a 18 mm de espesor, color rojizo oscuro. La madera de esta leguminosa es pesada y compacta (Barrios, 1985).

Figura 7. Árboles de *Prosopis laevigata.* Imagen tomada por la autora.

Figuras 8. Inflorescencia (izq.) y Figura 9. Vainas (der.) de *P. laevigata*. Fuente: http://swbiodiversity.org/imglib/seinet/ASU/ASU0024/ASU0024710.jpghttp://fm2.fieldmuseum.org/vrrc/details/FABA-pros-laev-557545.jpg

El mezquite es considerado un recurso natural muy importante para las zonas áridas y semiáridas, debido a los diferentes usos, tales como: alimento para el ganado (hojas y vainas), alimentación humana, en forma de harina, bebidas fermentadas y consumo de las vainas. De la corteza se extraen curtientes, la madera es utilizada para duela, madera aserrada, parquet, mangos de herramientas, hormas para zapatos en escala industrial, gomas y taninos, en la medicina tradicional se utiliza como vomitivo y purgante; la resina se ha empleado para la curación de disentería y algunas afecciones de los ojos. Mientras la madera se utiliza como leña y para obtener carbón de excelente calidad por su alto poder calorífico (SIRE: CONABIO-PRONARE, 2013).

Además de su valor económico en las zonas áridas, diversas investigaciones han reportado que *Prosopislaevigata* es de gran valor ecológico, se considera al mezquite de gran importancia dentro de la formación de suelo, ya que por su amplio sistema radical permite la retención del mismo, evitando con ello la erosión, así mismo, es un indicador de mantos freáticos en condiciones áridas (Barrios, 1985).

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

Además de ser una planta caducifolia que periódicamente aporta materia orgánica al suelo bajo su cobertura, es una especie fijadora de nitrógeno atmosférico a través de una simbiosis, por lo que se considera una especie formadora de “islas de fertilidad” [(García-Moya y McKell, 1970; Cruz 1992, 1996) citado por Monroy *et al*., 2007]. La abundancia de microorganismos en suelos de zonas áridas está estrechamente relacionada a la acumulación de recursos alrededor de las plantas individuales (Ruiz *et al*., 2008).

Las leguminosas arbustivas leñosas como los mezquites no solo crean islas de fertilidad bajo su cobertura, sino que también promueven la producción de propágulos micorrícicos. En conjunto, la actividad microbiana fijadora de nitrógeno y la micorrícica, en estas islas de fertilidad, juegan un papel muy importante en la movilización de nutrimentos en el suelo como P, K, Ca, S, Mg, Na y F (Cross y Schlesinger, 1999; Whitford, 2002).

Por otra parte, existe una urgente necesidad de desarrollar árboles de usos múltiples en las áreas semiáridas deterioradas, que suministren combustible y forraje, y además detengan la erosión y la deforestación. Debido a la baja precipitación y la carencia del lixiviado de varias sales, los problemas de salinidad son frecuentes en estas regiones semiáridas, por lo tanto son necesarios los árboles que sean funcionales bajo condiciones de sequía como de alta salinidad. Bajo este esquema el género *Prosopis* ha sido de especial interés debido a su capacidad de fijar nitrógeno incluso bajo condiciones de salinidad de agua de mar. Este género produce una vaina con el 13% de proteína y un 30 % de sacarosa que puede ser consumida por el ser humano y por el ganado (Rhodes, 1987).

En este sentido, el matorral micrófilo donde medra *Prosopis laevigata* es de los más tolerantes a condiciones de deficiencia de drenaje y de cierta salinidad en el suelo (Rzedowski, 2006)**.** Al ser una de las especies dominantes en estas zonas del Centro de México*,* se ha considerado en programas de reforestación y de prevención de erosión (Reyes-Reyes, 2003).

3.5 Hongos Micorrícicos

La micorriza, asociación simbiótica entre las hifas de hongos y las raíces de plantas superiores, fue identificada hace más de 80 años y desde entonces se ha estudiado intensivamente su micotrofia (Mikola, 2013). Frank en 1885, distinguió dos tipos de micorrizas de morfología básicamente diferente, que él llamó micorrizas ectótrofas y endótrofas. Aunque también existen algunos tipos intermedios, la clasificación de Frank todavía es válida hoy día. En una micorriza ectótrofa (también conocida como ectomicorriza) característica, el hongo forma

una envoltura compacta o manto en torno a la raicilla, a partir de la cual las hifas crecen en dirección hacia la corteza formando una red continua (conocida por red de Hartig) entre las células corticales, y hacia fuera por el suelo circundante. Las endomicorrizas no forman una vaina como las ectomicorrizas. En la endomicorriza (también llamada micorriza endótrofa), en cambio, el hongo coloniza el córtex radical intra e intercelularmente, no existiendo un manto exterior ni una red intercelular y sólo unas cuantas hifas crecen fuera de la raíz. Algunos tipos de endomicorrizas están restringidos a especies vegetales de Ericaceae u Orchidaceae, pero el tipo de hongos micorricicos arbusculares (HMA) es el más común y distribuido alrededor del reino vegetal. En ambos tipos, el crecimiento del hongo se circunscribe al tejido cortical de la raíz (Barea *et al*., 2011; Mikola, 2013).

3.6 Hongos micorrizógenos arbusculares

Los hongos micorrizógenosarbusculares (HMA) son la forma más antigua y cosmopolita de simbiosis micorrícica. Los HMA son simbiontes obligados que se desarrollan inter e intracelularmente dentro de las raíces de las plantas (Figura 10). Las hifas de los hongos penetran individualmente las paredes celulares y se ramifican rápidamente para formar estructuras especializadas llamadas arbúsculos (Figura 10). Algunas, pero no todas las especies producen vesículas que se cree funcionan como estructuras de reserva ya que contiene abundantes lípidos. Los hongos micorrícicos juegan un rol central en varios procesos microbiológicos del suelo, influyendo en la fertilidad, el ciclo de minerales, la descomposición de la materia orgánica del suelo y la sanidad y nutrición vegetal. Además influyen en la estructura y funcionamiento de las comunidades vegetales y los ecosistemas del suelo. Los hongos micorrícicos simbiontes producen micelio desde las raíces de las plantas hospederas hacia el suelo que las rodea. Esto las conecta con los nutrimentos distribuidos de forma heterogénea necesarios para su crecimiento, permitiendo el flujo de compuestos y generando la traslocación de los productos hacia el hospedero. Esta simbiosis micorrícica formada entre las raíces de las plantas y los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) es de gran interés debido a su gran influencia potencial sobre los procesos ecológicos, debido a la

amplia variedad de respuestas en el desarrollo y coexistencia de las especies de plantas durante la sucesión ecológica (Varma y Hock, 1998).

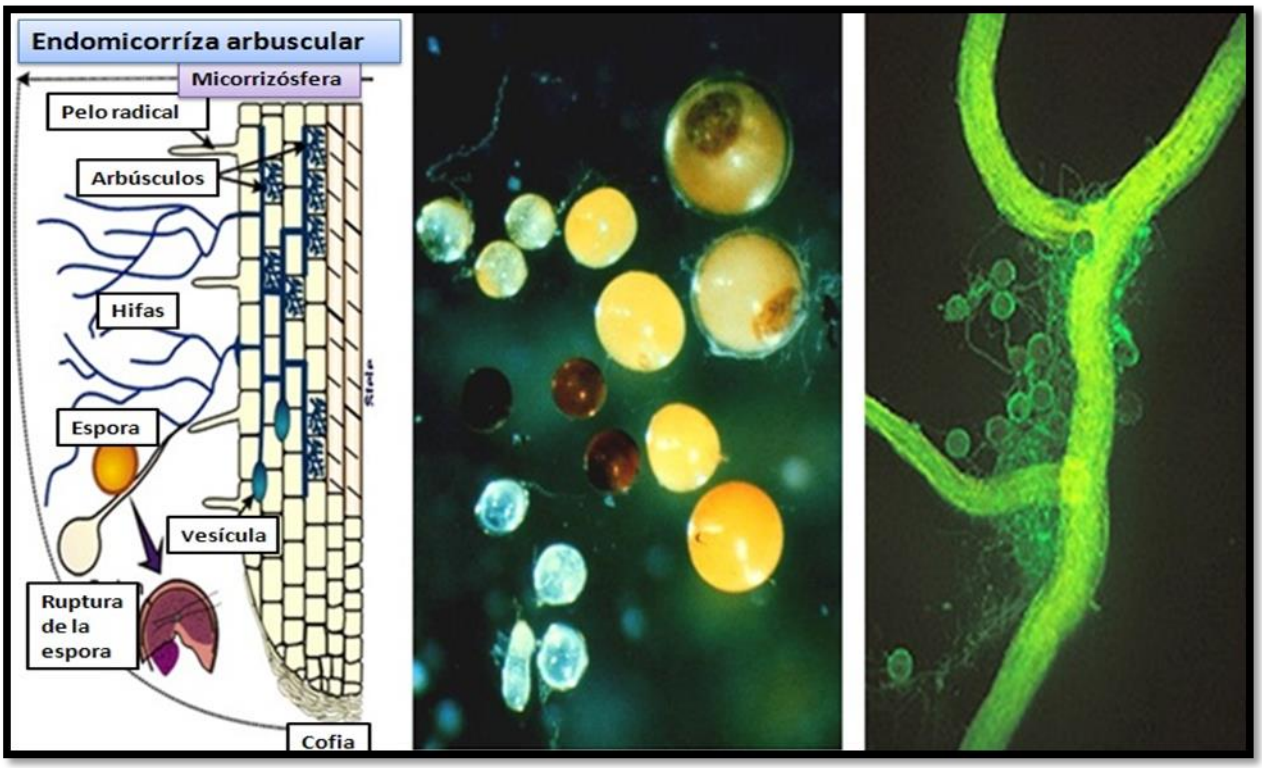


Figura 10. Endomicorrizas arbusculaes (http://3.bp.blogspot.com/-l65drdIhB7k/UaXDSYfNAxI/AAAAAAAAB_Y/XBrnYWBdz58/s1600/ecto+y+endo.jpg).

3.7 Nodrizaje vegetal

Otro proceso natural que es utilizado en la restauración ecológica es el efecto de nodrizaje**.** Las relaciones entre plantas, principalmente incluyen la competencia, neutral, y facilitación; la competencia ejerce un efecto negativo en el establecimiento vegetal entre especies, mientras que la facilitación ejerce un efecto positivo entre ellas. Esta última es importante en dirigir la sucesión de la comunidad vegetal o la restauración de la cubierta vegetal (Ren *et al*., 2008). El nodrizaje es un proceso que ha sido explicado en función de la planta nucleadora, el aumento en la retención de humedad, el incremento de la fertilidad del suelo y la generación de propágulos micorrícicos (Monroy *et al*., 2007).

Las plantas nodrizas son aquellas que facilitan el crecimiento y desarrollo de otras especies de plantas debajo de su cobertura, ya que proporcionan microhábitats que son favorables para la germinación de las semillas y/o el establecimiento de las plántulas en comparación con el ambiente circundante. En los últimos años las plantas nodrizas han sido utilizadas para restaurar zonas áridas y semiáridas (Ren *et al*., 2008).

Las plantas nodrizas juegan un papel importante en la recuperación de la estructura y función de los ecosistemas primarios y la restauración de ciertos ecosistemas, en especial los que se encuentran gravemente degradados. En los últimos años el fenómeno de nodrizaje ha sido estudiado en estos ambientes. La selección de plantas nodriza determina el éxito de los proyectos de restauración ecológica. La mejor selección de estas plantas son las especies nativas que ofrecen un microhábitat para que las especies asociadas se establezcan o resguarden. Las plantas leguminosas son plantas nodrizas potenciales que pueden favorecen la disponibilidad de nitrógeno y proveen de sombra a las especies asociadas (Ren *et al*., 2008).

El efecto de nodrizaje no se atribuye a un solo factor, sino a un conjunto de ellos, incluyendo la arquitectura del dosel de la planta nodriza, el incremento de la sombra, el efecto amortiguador en la temperatura del microhábitat, el incremento de suministro de agua, la viabilidad de los nutrimentos, la protección contra la herbivoría. La sombra puede proteger a la vegetación bajo las plantas nodrizas de la radiación fuerte. Esta radiación puede destruir los centros de reacción de los fotosistemas y producir daños oxidativos. Las especies tolerantes a la sombra bajo alta radiación solar pueden sufrir de fotoinhibición. La sombra puede evitar las altas temperaturas, mantener una mayor humedad en el suelo y menor transpiración en las especies que crecen bajo el dosel, por otra parte incrementa la disponibilidad y circulación de los nutrimentos de la rizósfera. Todos los procesos antes mencionados mejoran la las propiedades físicas y químicas del suelo y aumentan la tasa de supervivencia de las plantas bajo el dosel (Ren *et al*., 2008).

En cuanto al nodrizaje hídrico, el establecimiento de las plantas bajo la cobertura del dosel se ve afectado por la redistrubución del agua de lluvia principalmente. Los arbustos limitan el agua disponible al sotobosque mediante la redistribución del agua de lluvia de baja intensidad. Así mismo, cuando hay una fuerte lluvia la distribución del arbusto al sotobosque se lleva a cabo mediante el flujo de agua a través del tronco, lo que influye en el desarrollo de las especies bajo su dosel (Ren *et al*., 2008).

3.8 Agua de niebla

Contrario a los climas templados, la vegetación en las zonas áridas y semiáridas no es suficientemente abastecida con agua de las precipitaciones, además los suelos de estas zonas presentan epipedones ócricos más que mólicos, los cuales son conocidos por formar costras duras durante la época seca en la superficie, reduciendo su tasa de infiltración lo que conlleva a que la vegetación se encuentre bajo estrés hídrico durante largos periodos al año (Varma y Hock, 1998). De manera general, el agua suministrada a los ecosistemas (exceptuando el agua de la precipitación), como la deposición de rocío, absorción del vapor de agua y la deposición de niebla, juegan un papel importante en el intercambio hídrico en la superficie terrestre. De estos suministros de agua adicionales a la precipitación, la deposición de niebla ha sido reconocida como un factor importante para determinar el balance hídrico en las plantas leñosas, particularmente en las regiones áridas y semiáridas. Teóricamente, la niebla a mayor altura es conducida hacia abajo debido a la turbulencia generada por la fuerte cizalla del viento y es eventualmente capturada en superficies como rocas o el dosel de las plantas. Si el agua de la niebla capturada por las superficies foliar y leñosa no es absorbida por la planta o excede su capacidad de almacenamiento, esta agua se evapora desde el dosel hacia la atmósfera o bien, gotea desde el dosel o la corteza hacia el suelo por escurrimiento, un fenómeno conocido como precipitación horizontal, el cual es considerado como una fuente crucial de agua para la supervivencia de la vegetación en las regiones áridas y semiáridas, más aún durante las estaciones secas (Figura 11) (Katata *et al*., 2010).

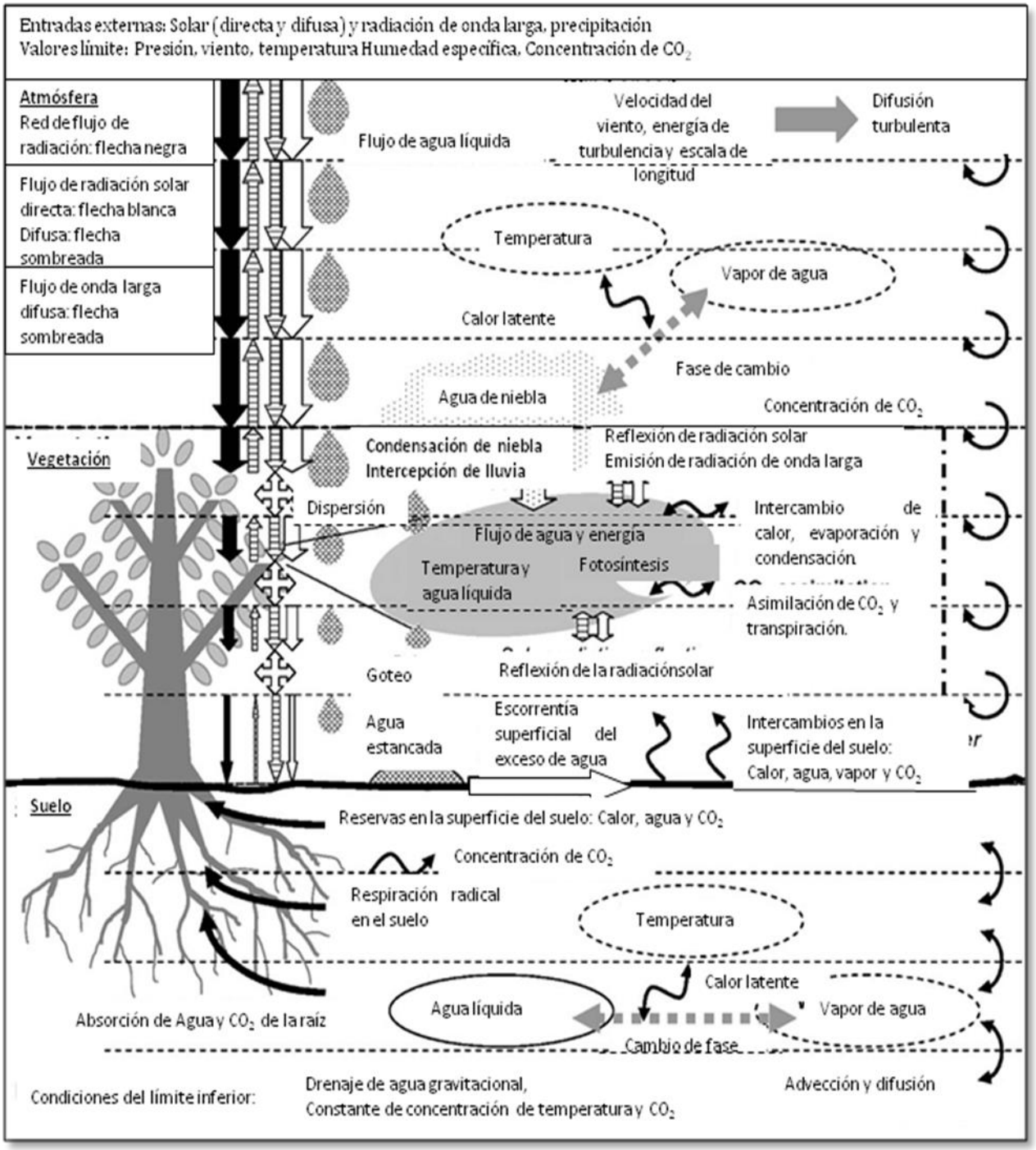


Figura 11. Proceso de deposición de niebla en la vegetación y las interacciones atmósfera-suelo de las regiones áridas y semiáridas. Fuente: Katata *et al*. (2010).

Actualmente se han identificado diferentes tipos de bosques de neblina. En estos se distinguen dos subtipos: uno de clima oceánico y uno de clima seco. Esta investigación se enfoca al segundo subtipo (Figura 12 y Figura 13), en donde las precipitaciones son débiles, la estación seca dura varios meses y la vegetación

presenta diferentes estructuras para la captación. Por ejemplo, las gotitas de niebla pueden ser detenidas por una hoja ancha o grande. Formadas por coalescencia, las gotas son conducidas a un colector formado por la nervadura central y van a parar a un reservorio en el punto de nacimiento de la hoja. Esta es la estrategia adoptada por los agaves, las bromeliáceas, etc. Otro tipo de funcionalidad se produce cuando la red densa y movediza de la corona del árbol está formada por hojas finas, pequeñas o por espinas. En este caso, la red de la corona de hojas es asimilable a una red o rejilla, es decir, puede compararse a un captador de gotitas de niebla. Se incluyen en este tipo a las acacias y los mezquites. Por consiguiente, no existe una formación vegetal única y específica de los oasis nebulosos. Este tipo de vegetación ha permitido el desarrollo de diferentes civilizaciones a lo largo del tiempo y actualmente es utilizada para reforestar zonas de niebla (Gioda *et al*., 1993a).

Figura 12. Ecosistema semiárido durante un episodio nebuloso (izq.) y Figura 13. Ecosistema semiárido después de un episodio nebuloso (der.). Imágenes tomadas por la autora.

3.9 Atrapanieblas y cosecha de agua

Basándose en los mecanismos naturales de la vegetación para la captación de agua y siendo la escasez de recursos hidrológicos un problema económico, político y social crucial alrededor del mundo (ya que muchos de los suministros de

agua están contaminados y agotados), varias investigaciones han estudiado las características de la niebla y su uso potencial como fuente de agua en algunas zonas áridas (Rivera, 2011). Esto ha conducido a buscar técnicas que permitan optimizar la utilización de los recursos hídricos disponibles, lo que se denomina cosecha de agua, que consiste en construir dispositivos de captación, almacenamiento, distribución y uso eficiente de este vital líquido (Monroy, 2012).

De acuerdo a la Dirección de concentración y participación cuidadana, en la Guía de Ecotecnias (2006), una ecotecnia es un instrumento desarrollado para aprovechar eficientemente los recursos naturales y materiales y permitir la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales diversos para la vida diaria, estas se adecuan para atender las necesidades especificas de los diferentes entornos naturales y sociales. Dentro de las ventajas que ofrecen se mencionan las siguientes: a) Limitan el impacto humano sobre la biosfera, b) Mantienen el patrimonio biológico, c) Utilizan racionalmente los recursos naturales no renovables, d) Mejoran la salud de las personas, e) Hay reciclaje y manejo de desechos de forma adecuada, f) Ahorran agua y energía.

Los sistemas atrapanieblas proporcionan nuevos recursos de agua dulce en áreas específicas alrededor del mundo, con propósito de consumo humano, agrícola o ganadero. La mayoría de los atrapanieblas constan de una pantalla grande sostenida por postes o marcos, perpendicular a la dirección de la neblina. Con el tiempo se han usado diferentes diseños, pero en la actualidad el tipo de atrapanieblas tipo pantalla es el más común para producir significativas cantidades de agua para satisfacer diferentes necesidades (Figura 14). La pantalla está hecha de dos capas de malla hidrófoba. Las gotas capturadas se unen y descienden por gravedad a la parte inferior del atrapanieblas, donde el agua es recibida por un conducto y trasportada a un tanque de almacenamiento (Rivera, 2011).

Figura 14. Atrapanieblas convencionales.
Fuente: http://nosoloingenieria.com/atrapanieblas-desierto-atacama/

Se ha reportado que situados precisamente detrás de cada planta y orientados frente al viento dominante en los episodios nebulosos, los atrapanieblas pueden aportar un suplemento de agua a los árboles jóvenes multiplicando la superficie interceptada por las pequeñas gotas. Con su crecimiento por coalescencia, estas últimas crean un goteo sobre los captadores que se precipita seguidamente al suelo para abastecer a las plantas. Además, desde el estricto punto de vista de la optimización del recurso que ofrece la niebla, el éxito de esta vegetación sugiere efectuar plantaciones de reforestación con plantas que intercepten las gotitas de las precipitaciones horizontales (Gioda *et al*, 1993a).

Los estudios de observación han indicado que la deposición hídrica mediante atrapanieblas puede influenciar el desarrollo de la vegetación), sin embargo, ésta relación aún no han sido cuantificada. Y a pesar de su éxito en la cosecha de agua en países como Canadá, Perú y Chile, esta ecotecnia no ha sido reproducida en otros lugares de niebla abundante (Gioda *et al*, 1993b).

Dado que los estudios sobre las precipitaciones de la niebla han seguido principalmente tres enfoques: 1) medir las precipitaciones por medio de aparatos adecuados, 2) cosechar niebla por medio de redes para capturar este recurso hídrico en zonas áridas y 3) el estudio de los colectores naturales tales como los árboles y la vegetación en los bosques de niebla (Gioda *et al.*, 1993a). Este trabajo sigue dos de los enfoques anteriormente mencionados: 1) la medición adecuada de las precipitaciones y 2) la cosecha de niebla como recurso hídrico. Empleando la cosecha de agua para facilitar el establecimiento de árboles jóvenes de *Prosopis laevigata* en condiciones de campo utilizando sistemas atrapanieblas, una tecnología no contaminante. Atendiendo a la necesidad de reforestar las zonas perturbadas con vegetación de importancia económica, ecológica y capaz de interceptar niebla de manera natural una vez establecida.

4.- JUSTIFICACIÓN

Los ambientes áridos y semiáridos en la actualidad ocupan entre el 50 y 60% de superficie del país. Así mismo la creciente tasa de perturbación de estos ecosistemas y la pérdida de suelo por erosión, resulta en un efecto negativo sobre sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas. Esta problemática ha guiado a buscar nuevas herramientas y tecnologías para facilitar el establecimiento y desarrollo de especies clave en la restauración ecológica. El mezquite *Prosopis laevigata* es una especie de gran importancia económica en el centro de México, por lo que se ha propuesto su reintroducción en la rehabilitación de estas áreas, así como el uso de plantas previamente micorrizadas para favorecer su establecimiento y desarrollo vegetal.

En México no hay antecedentes del uso de atrapanieblas como herramienta que facilite la captación hídrica para el establecimiento vegetal. Por ello, en este estudio se analizó la cosecha de agua mediante este dispositivo y se determinó su influencia en el establecimiento de plantas micorrizadas y no micorrizadas de mezquite.

5.- PROBLEMÁTICA CIENTÍFICA

Este trabajo se diseñó para contestar las siguientes interrogantes:

¿La micorrización de las plantas de *Prosopis laevigata* es el determinante principal de su supervivencia en una parcela semiárida deteriorada?

¿La captación hídrica de los atrapanieblas en la época seca permitirá la supervivencia de plantas de *Prosopis laevigata* independientemente de su micorrización?

6.- HIPÓTESIS

Si la escasez de agua es el principal limitante para el establecimiento vegetal en las zonas áridas y semiáridas, entonces su captación mediante atrapanieblas colocados en una parcela semiárida, suministrará la cantidad suficiente del recurso para cubrir las necesidades hídricas de supervivencia de *Prosopis laevigata*, independientemente de su micorrización.

7.- OBJETIVOS

General

Determinar el desarrollo y supervivencia de plantas de *Prosopis laevigata,* micorrizadas y no micorrizadas, en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, durante un ciclo anual mediante el uso de atrapanieblas.

Particulares

- Determinar la supervivencia de las plantas de *Prosopis laevigata* micorrizadas y no micorrizadas, bajo la cobertura de sistemas atrapanieblas durante un ciclo anual.
- Determinar el desarrollo de las plantas de *Prosopis laevigata* micorrizadas y no micorrizadas durante un ciclo anual.
- Registrar la captación hídrica mensual y diaria de los atrapanieblas colocados en la parcela experimental.
- Determinar el climograma de la parcela experimental.

8.- ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Tezontepec de Aldama se asienta en la altiplanicie y el Valle del Mezquital a 2000 msnm, la parcela experimental se ubica en las coordenadas: 20° 12.045´ N, 99°16.875´ W. Este municipio colinda al noroeste con el municipio de Chapantongo; al norte con el municipio de Chilcuautla; al Oriente con el municipio de Mixquiahuala y Tlahuielilpan; al sur con Tlaxcoapan y Tula de Allende; y al poniente con Tepetitlán (Figura 15).

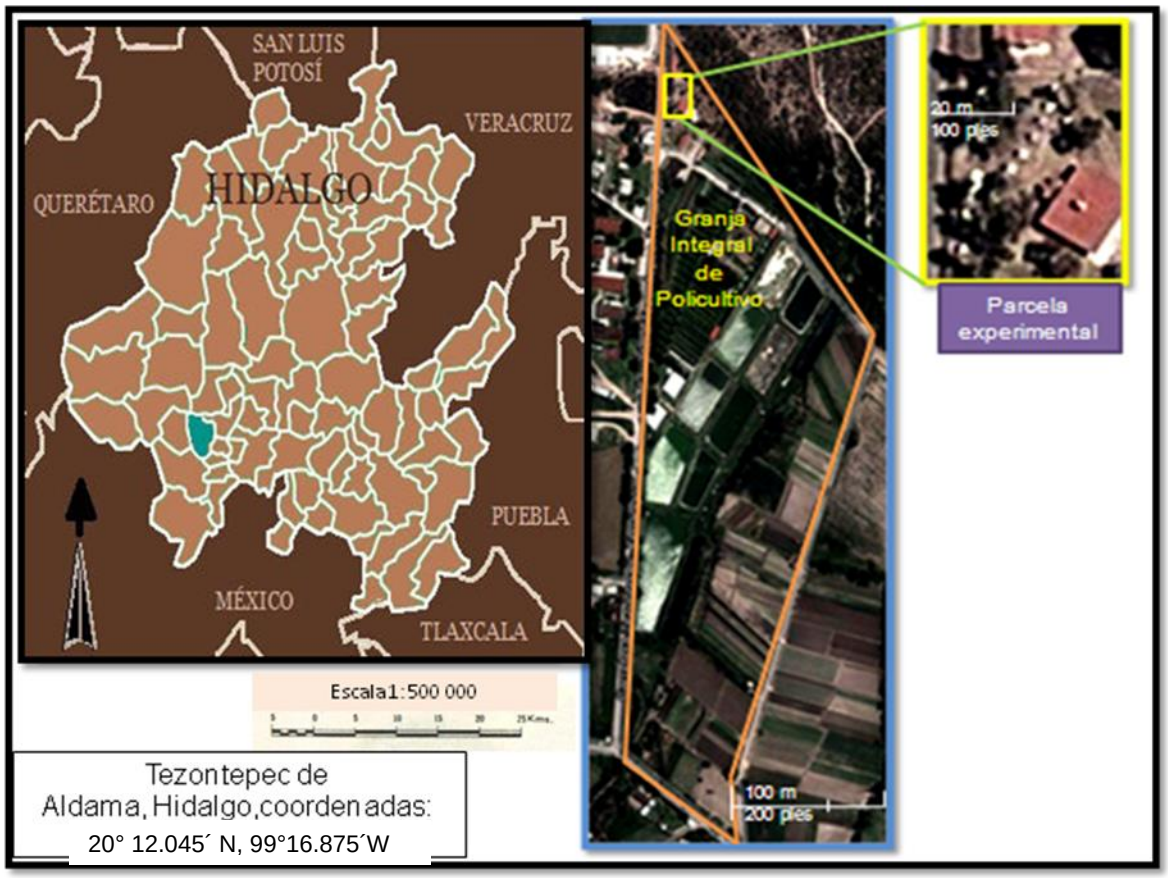


Figura 15. Ubicación de la zona de estudio. Fuentes: http://www.tageo.com/index-e-mx-v-13-d-m2394634.htm,https://maps.google.com.mx/.

El clima es determinado como BS1 wk´(i´) g, es decir: seco, el menos de los secos con un cociente P/T= 22.9; el régimen de lluvia de verano, por lo menos es diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco del

año, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y el 10.2 de la total anual; templado con un verano fresco, temperatura media anual entre 12 y 18 ºC y la del mes más caliente < 18 ºC, con poca oscilación térmica (5-7 ºC) (Pavón, 2009).

La precipitación promedio anual es de 462.7 mm y la temperatura promedio de 16.9 ºC. La época de lluvia ocurre de mayo a octubre, con presencia de canícula en el mes de agosto. El mes más húmedo es septiembre y el más seco es diciembre. Los análisis de tendencias indican decremento significativo de la precipitación total anual en la época seca (Pavón, 2009).

9.- METODOLOGÍA

9.1 Trabajo en campo

Organismos

Durante el ciclo anual correspondiente a esta investigación (2012-2013), los parámetros de registro mensual de cada organismo (Figura 16), fueron los siguientes:

- Altura.
- Cobertura vegetal.
- Número de ramas
- Número de pinnas.

Figura 16. Medición de parámetros de desarrollo de *P. laevigata*. Imagen tomada por la autora.

Sistemas atrapanieblas

Los parámetros de medición mensual de los atrapanieblas fueron los siguientes:

- Captación hídrica promedio diaria en mL.
- Captación hídrica promedio mensual durante un año en L.

La medición del agua se realizó con la ayuda de probetas de capacidad de 250 mL y 1 L respectivamente. Una vez medido el volumen de agua capturada de cada atrapanieblas por mes y por día, ésta se vertió en su micrositio correspondiente (Figura 20) en *P. laevigata* micorrizadas (M+) y *P. laevigata* no micorrizadas (M-).

En la Figura 17 se observan los atrapanieblas durante un episodio nebuloso sin precipitación pluvial; en las Figura 18 y Figura 19 se muestra la medición del agua capturada por atrapanieblas en un día después de un episodio nebuloso.

Figura 17. Atrapanieblas durante un episodio nebuloso. Imagen tomada por la autora.

Figura 18 (izq.) y Figura 19 (der.). Medición del volumen de agua capturada por atrapanieblas en un episodio nebuloso. Imágenes tomadas por la autora.

Figura 20. Riego de plantas de *P. laevigata.*Imagentomada por la autora.

Estación meteorológica

La deposición de neblina depende de factores climáticos como la temperatura, la velocidad del viento horizontal, el contenido de agua en la atmósfera, la distribución del tamaño de gota en la neblina, así como las características específicas de los atrapanieblas. Para realizar la medición de tales factores ambientales se colocó una estación meteorológica en la parcela experimental con las siguientes características:

Estación Metereológica Vantage Pro2 Plus inalámbrica figura 21, que incluye sensor de rayos UV y radiación solar. Marca: Davis Instruments, modelo: 06162, que incluye consola Vantage Pro2 y Software: Weatherlink.

Figura 21. Estación meteorológica Vantage Pro2 Plus ubicada en la parcela de estudio. Fuente: Reséndiz (2014)

La cual hizo el registro cada hora de los siguientes parámetros:

- Dirección y velocidad del viento
- Humedad relativa
- Precipitación
- Temperatura

Las mediciones de la velocidad y dirección del viento fueron determinantes para ubicar los atrapanieblas al inicio del experimento.

9.2 Trabajo de Gabinete

Organismos

Se realizó un promedio de los datos registrados mensualmente de cada organismo durante un ciclo anual para cada uno de los parámetros:

- Altura.
- Cobertura vegetal.

- Número de ramas
- Número de pinnas.

Con las mediciones de la altura y cobertura vegetal de los organismos se calcularon los siguientes parámetros:

- Tasa de crecimiento relativo en altura TCR o RGR (por sus siglas en inglés):

TCR= [In (altura final en mm) - In (altura inicial en mm)]/ [tiempo (días)]

por lo que las unidades de la tasa de crecimiento son [(mm/mm)/d] o [d^{-1}].

- Cociente: altura final/ altura inicial

- Tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal = [In (cobertura vegetal final en cm^2) - In (cobertura vegetal inicial en cm^2)]/ [tiempo (días)]

por lo que las unidades de la tasa de crecimiento son [cm^2/ cm^2)/d] o [d^{-1}].

- Cociente: cobertura final/cobertura inicial

Al final del experimento de calculó el porcentaje de supervivencia de las plantas M+ y M- con relación al número de plantas vivas al inicio del experimento.

Atrapanieblas

Las mediciones obtenidas de la estación meteorológica se registraron en una base de datos con los que se realizaron los siguientes cálculos:

- Con los datos de humedad y precipitación se realizó el promedio de niebla capturada por los atrapanieblas mensualmente con la siguiente fórmula: Agua capturada total (mm)- Agua capturada de la precipitación (mm).
- Con los datos de la temperatura y la precipitación se realizó el climograma de la parcela de estudio.

9.3 Diseño Estadístico

Se realizó la prueba de Shapiro Wilks para determinar si los datos se ajustaban a una distribución normal; posteriormente se realizaron las pruebas correspondientes: t de Student para la comparación de las medias muestrales (paramétrica), o en su caso Mann-Whitney-Wilcoxon (no paramétrica), entre los datos de las plantas micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-). Estas pruebas se realizaron al inicio y al final del ciclo de estudio para las siguientes variables:

- Altura
- Cobertura vegetal
- Número de ramas
- Número de pinnas

También se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks y un análisis t de Student para la comparación de medias (paramétrica), a los datos obtenidos de la cosecha de agua de los atrapanieblas debido a que los datos registrados seguían una distribución normal. Las variables analizadas fueron:

- Cosecha promedio de agua mensual
- Cosecha promedio de agua por día

10.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Desarrollo de *Prosopis laevigata*

A continuación se muestran los resultados de las mediciones mensuales de cada variable:

Altura.- En la Figura 22 se muestran las gráficas de la altura promedio en plantas de *Prosopis laevigata* micorrizadas M+ y no micorrizadas M- durante un ciclo anual, se observa un aumento en la talla de las plantas durante las primeras mediciones; posteriormente un decremento la talla durante la temporada seca del año; al final del ciclo las plantas no micorrizadas aumentaron su altura promedio en comparación con su altura inicial, mientras que las plantas micorrizadas prácticamente mantienen su altura inicial promedio; de acuerdo al análisis estadístico en la primera medición, se encontró una diferencia significativa entre tratamientos de p= 0.003, no obstante, no existe diferencia significativa entre tratamientos al final del ciclo (p= 0.059).

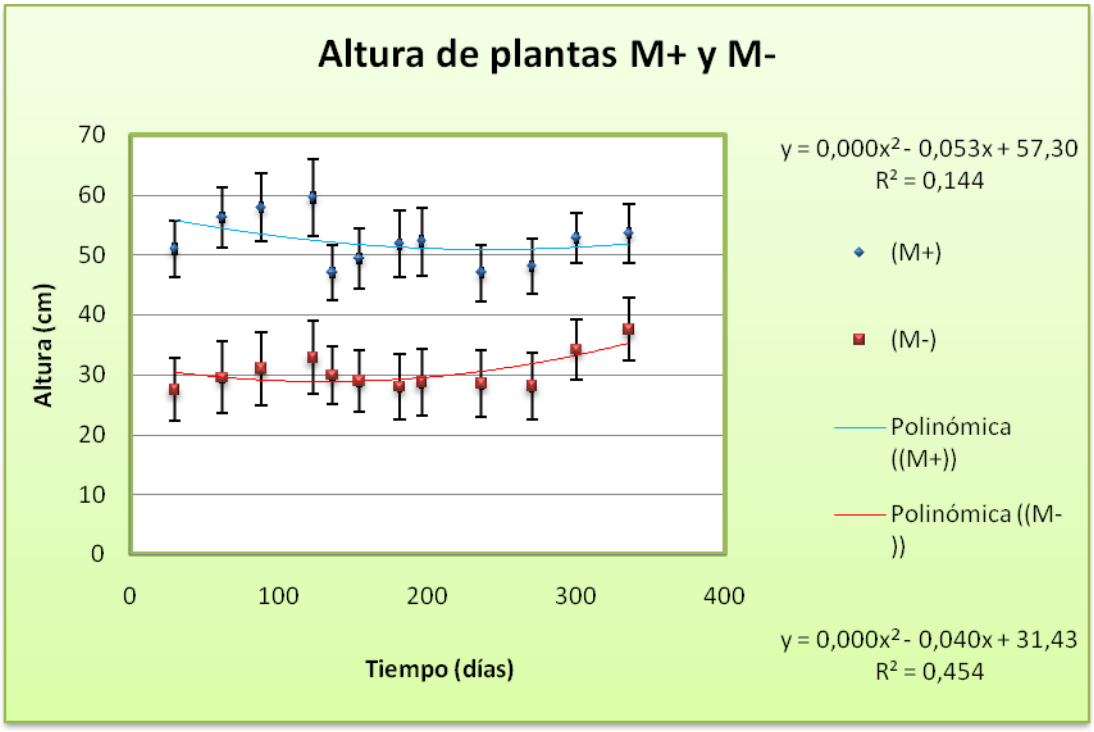


Figura 22. Altura promedio de plantas de *P. laevigata,* micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual.

Figura 23. Altura *P. laevigata* micorrizada (M+) (izq.) y Figura 24. Altura *P. laevigata* no micorrizada (M-) (der.). Imágenes tomadas por la autora.

Cobertura vegetal.- En la Figura 25 se presentan las gráficas de la cobertura vegetal promedio de las plantas de *P. laevigata* micorrizadas y las no micorrizadas durante un ciclo anual; en este caso la cobertura vegetal aumentó durante los primeros meses de medición; posteriormente disminuyó durante la temporada seca del año; y contrario a las mediciones de altura, todas las plantas aumentaron su área durante la temporada de lluvias. En la primera medición se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos de p= 0.004, al final del ciclo no hay diferencia significativa entre tratamientos (p=0.054).

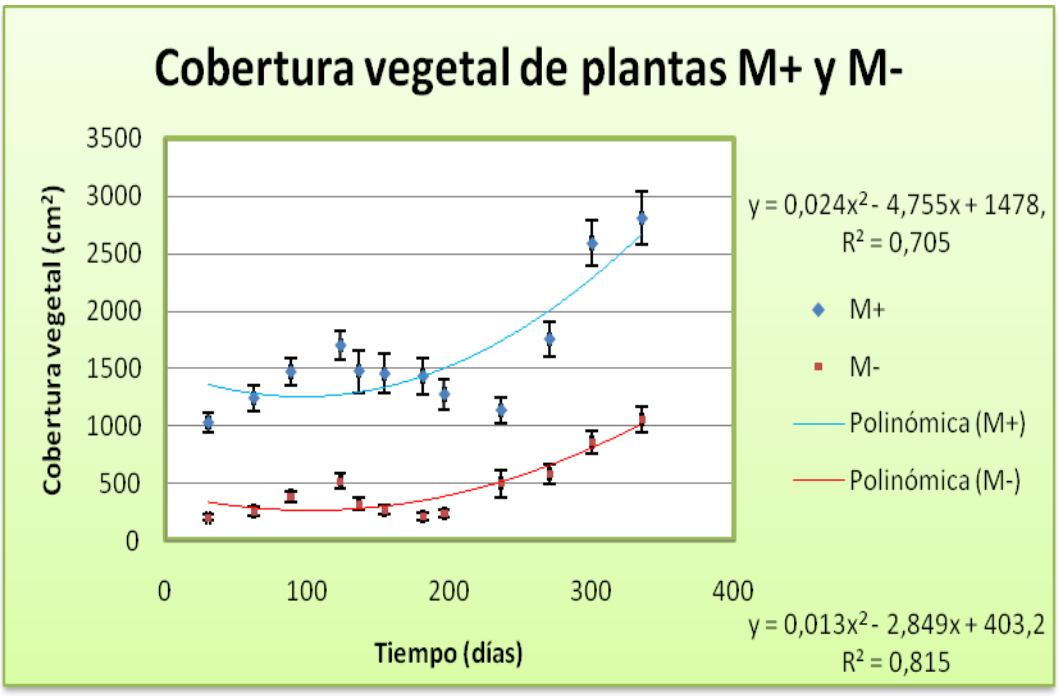


Figura 25. Cobertura vegetal promedio de plantas de *P. laevigata,* micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual.

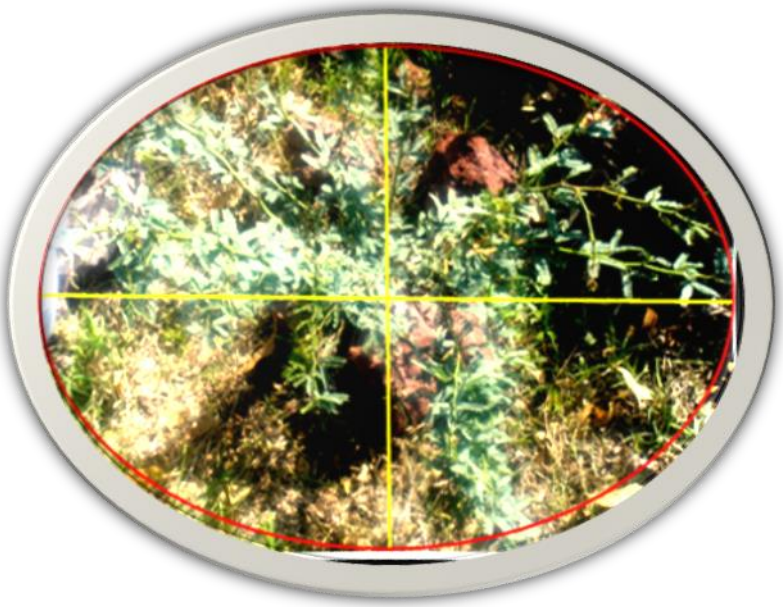


Figura 26. Medición de la cobertura vegetal de *P. laevigata.* Imagen tomada por la autora.

Número de ramas.- En la Figura 27 se muestran las gráficas del número promedio de ramas, el cual aumenta después de la temporada seca del ciclo y durante la temporada de lluvias. Ésta variable de desarrollo no presentó diferencia significativa entre tratamientos en la medición inicial p= 0.16 y tampoco durante la medición final con un valor de p= 0.13.

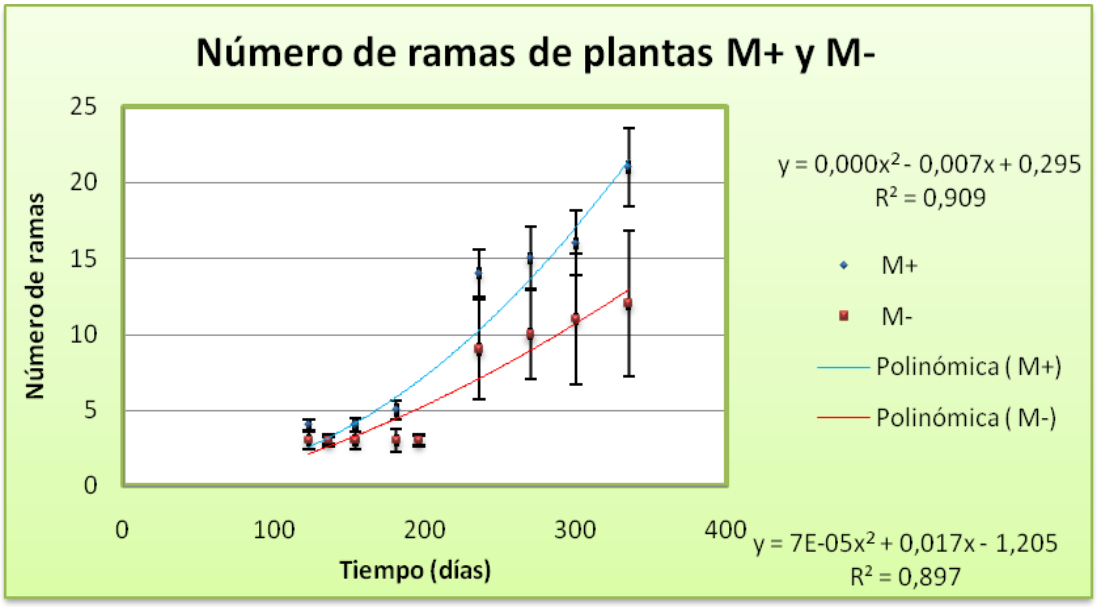


Figura 27. Número de ramas promedio de plantas de *P. laevigata,* micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-).

Figura 28. Ramas de plantas de *P. laevigata*. Imagen tomada por la autora.

Número de pinnas.- La Figura 29 representa las gráficas del número de pinnas promedio de las plantas de *P. laevigata* micorrizadas y no micorrizadas durante un ciclo anual; la variación del número de pinnas de las plantas durante el ciclo corresponde al comportamiento plantas caducifolias, que reducen su follaje durante la temporada seca **(**en este caso el número de pinnas promedio nunca llegó a cero**)** y aumenta durante la temporada de lluvias. En esta variable de desarrollo presentó una diferencia significativa al inicio del ciclo de p= 0.03 y al final del ciclo no se presentó diferencia significativa entre tratamientos con un valor de p= 0.08.

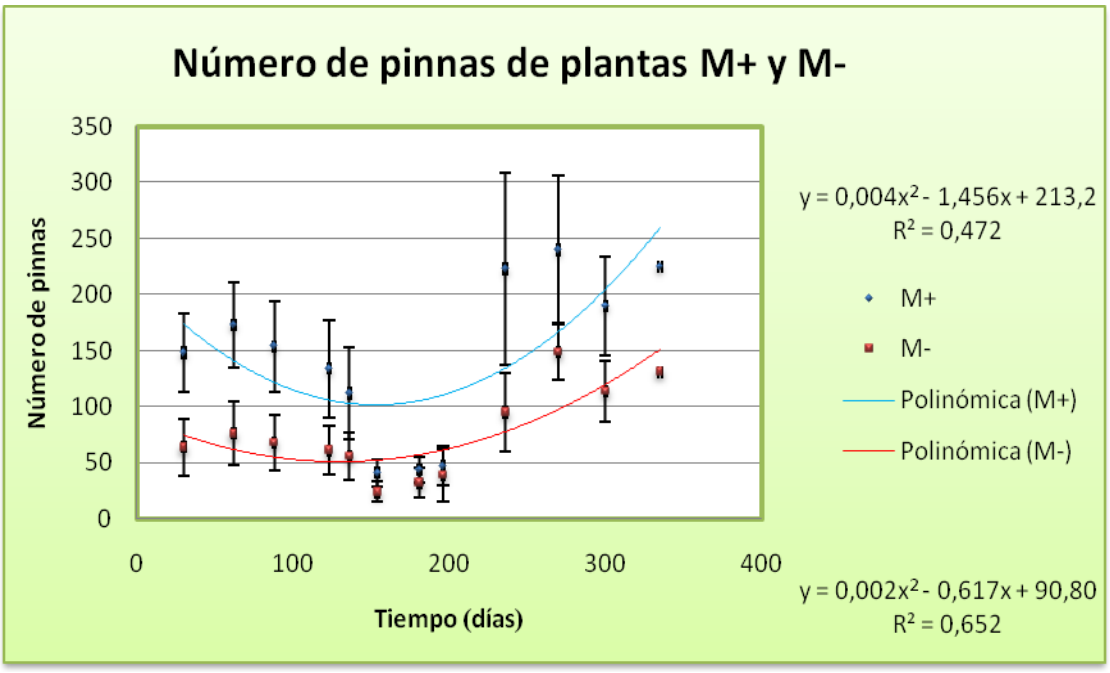


Figura 29. Número de pinnas promedio de plantas de *P. laevigata,* micorrizadas (M+) y no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual.

Figura 30. Pinnas de plantas de *P. laevigata.*

Las variables de desarrollo de *P. laevigata* micorrizadas y no micorrizadas siguen un patrón básico para las plantas caducifolias de zonas secas que se defolian en la temporada seca y recuperan su follaje durante la temporada de lluvias.

En cuanto a los tratamientos de micorrización y no micorrización de las plantas: al inicio de este estudio (año 2012) se encontraron diferencias significativas en tres variables de desarrollo (altura, cobertura vegetal y número de pinnas promedio); durante todo el ciclo anual los valores promedio de las variables en las plantas micorrizadas fueron mayores que los valores promedio de las plantas no micorrizadas. Sin embargo, al final del ciclo anual (año 2013) no hubieron diferencias significativas entre tratamientos de las variables de medición: altura, cobertura vegetal, número de ramas y número de pinnas promedio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resumen de resultados: Crecimiento vegetal (2012-2013).

Variable	Valor de p (2012)	Observaciones (2012)	Valor de p (2013)	Observaciones (2013)
Altura M+ y M-	0.003	Diferencias significativas entre tratamientos $p < 0.05$	0.059	No presentó diferencias significativas entre tratamientos $p > 0.05$
Cobertura vegetal M+ y M-	0.004	Diferencias significativas entre tratamientos $p < 0.05$	0.54	No presentó diferencias significativas entre tratamientos $p > 0.05$
Número de ramas M+ y M-	0.16	No presentó diferencias significativas entre tratamientos $p > 0.05$	0.13	No presentó diferencias significativas entre tratamientos $p > 0.05$
Número de pinnas M+ y M-	0.03	Diferencias significativas entre tratamientos $p < 0.05$	0.08	No presentó diferencias significativas entre tratamientos $p > 0.05$

M+: *P. laevigata* micorrizadas; M-: *P. laevigata* no micorrizadas.

En cuanto a las variables de crecimiento de las plantas de *P. laevigata*, se reportan comportamientos con características similares, que pueden estar influenciados no solo por el efecto de micorrización sino por aspectos como la herbivoría y las condiciones ambientales (Monroy *et al*., 2009).

Tasa de crecimiento relativo en altura y cobertura vegetal

Los valores de crecimiento relativo resultaron ser mayores en la cobertura vegetal que en la altura para ambos tratamientos, lo que indica que la que la estrategia de las plantas fue ramificarse y aumentar su número de pinnas para ampliar su cobertura vegetal en lugar de incrementar su altura. De acuerdo a Perreta y Vegetti (2005) este patrón refleja la adaptación local y temporal de las plantas a los factores abióticos.

Cuadro 4. Resumen de los resultados: Tasa de crecimiento relativo en altura, tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal.				
Tratamiento	**Tasa de crecimiento relativo en altura**	**p= 0.075**	**Tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal**	**p= 0.34**
(M+)	0.00015 d^{-1}	No presentó diferencia significativa entre tratamientos $p > 0.05$	0.0030 d^{-1}	No presentó diferencia significativa entre tratamientos $p > 0.05$
(M-)	0.00092 d^{-1}		0.0049 d^{-1}	

En el Cuadro 5 se presentan los cocientes altura final/ altura inicial y cobertura vegetal final/ cobertura vegetal inicial. Estos cocientes indican la proporción de crecimiento de las plantas al final de ciclo, en relación con sus medidas iniciales de altura y cobertura vegetal. Como se puede observar las plantas no micorrizadas tuvieron un mayor crecimiento en relación con sus medidas iniciales.

Cuadro 5. Resumen de los resultados: cocientes altura final/ altura inicial y cobertura vegetal final/ cobertura vegetal inicial.		
Tratamiento	Cociente: altura final/altura inicial	Cociente: cobertura final/cobertura inicial
(M+)	1.05	2.73
(M-)	1.36	5.26

A pesar de que hasta el año 2012 se presentan diferencias significativas entre tratamientos, para el año 2013 las plantas de *Prosopis laevigata* no micorrizadas (M-) comienzan a presentar un desarrollo similar a las plantas micorrizadas (M+), lo que es un indicio de su establecimiento en campo.

10.2 Porcentaje de supervivencia de *P. laevigata* (M+) y (M-).

Porcentaje de supervivencia: En relación con la pregunta inicial de este trabajo, se puede asegurar que la micorrización no fue el determinante principal de supervivencia de las plantas de *Prosopis laevigata* bajo la cobertura del sistema atrapanieblas. Los resultados muestran el 100% de supervivencia al final del ciclo, de los organismos en relación a su porcentaje inicial, lo que no se había reportado con anterioridad en investigaciones de restauración ecológica con esta especie.

Las Figuras 31 y 32 muestran el porcentaje de supervivencia de las plantas en campo micorrizadas y no micorrizadas respectivamente. En ellas se muestra que el 100% de las plantas que fueron trasplantadas en los micrositios de la parcela experimental se mantuvieron con vida durante todo el ciclo anual.

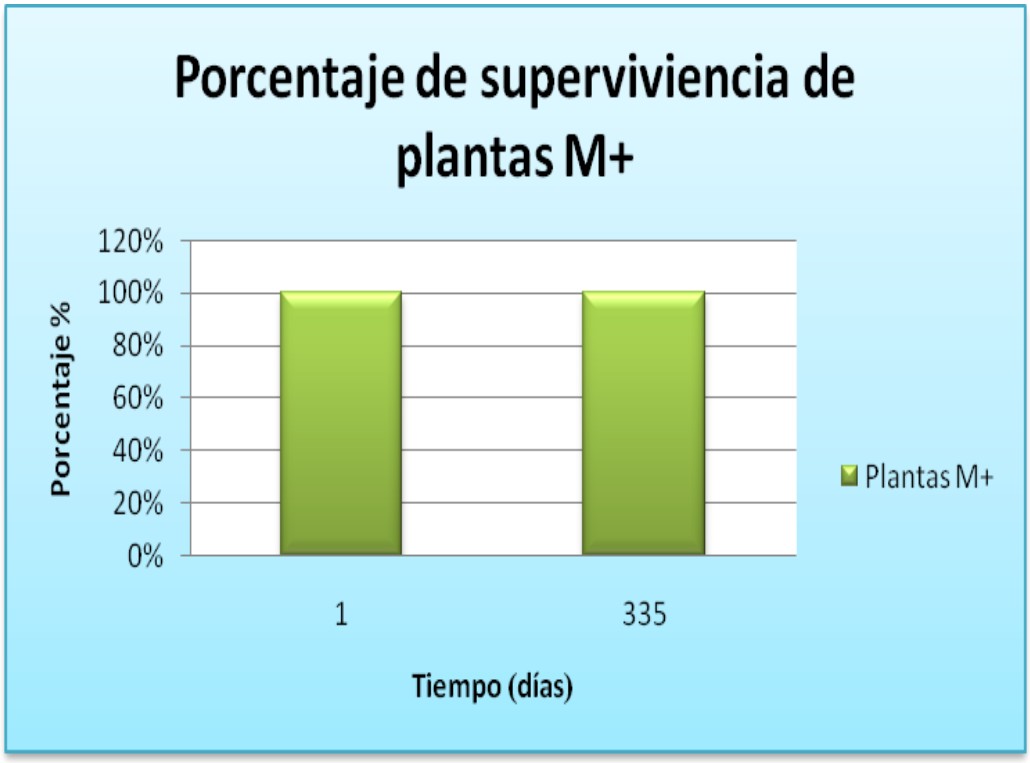


Figura 31. Porcentaje de supervivencia de plantas de *P. laevigata* micorrizadas (M+) durante un ciclo anual.

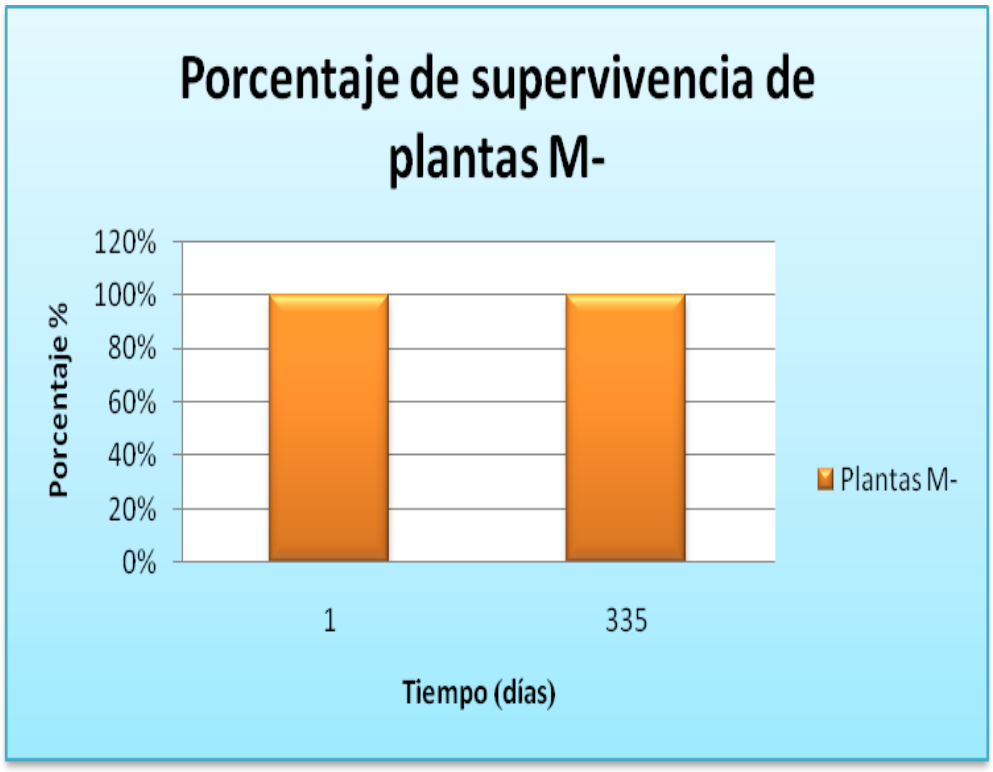


Figura 32. Porcentaje de supervivencia de plantas de *P. laevigata* no micorrizadas (M-) durante un ciclo anual.

La supervivencia de *P. laevigata* llega a ser muy variable en condiciones de campo, siendo las plantas micorrizadas las que alcanzan mayor porcentaje que las plantas no micorrizadas (Cuadro 6). Esto sugiere que además de la micorrización en las plantas, existen factores intrínsecos a las condiciones de campo, que influyen el comportamiento y supervivencia de *P. laevigata.* La mayoría de los estudios reportan el mayor índice de mortalidad durante la temporada seca del año. Por otra parte, de acuerdo a Monroy *et al*. (2009), el cuidado de las plantas en campo es necesario después del trasplante y dado que la supervivencia de *P. laevigata* micorrizadas y no micorrizadas en este estudio fue del 100 % (Figura 33 y Figura 34), se considera que el uso de atrapanieblas es favorecedor para lograr su establecimiento en condiciones de campo.

Figura 33. Supervivencia de *P. laevigata* no micorrizada (M-). Imagen tomada por la autora.

Figura 34. Supervivencia de *P. laevigata* micorrizada (M+). Imagen tomada por la autora.

Cuadro 6. Supervivencia de *P. laevigata* M+ y M- en condiciones de campo.		
Estudios	**Supervivencia M+**	**Supervivencia M-**
P. laevigata trasplantadas en matorral xerófilo del Valle de Actopan, Hidalgo (Barragán, 2003).	83.3 %	11.66%
P. laevigata bajo *Condalia mexicana* (Monroy *et al.,* 2007).	60%	50%
P. laevigata bajo *Karwinskia humboldtiana* (Monroy *et al.,* 2007).	80%	50%
P. levigata bajo *Flourensia resinosa* y sistema de riego prehispánico (Monroy *et al*., 2009).	30%	26.6%
P. laevigata bajo sistema atrapanieblas	100%	100%

10.3 Cosecha de agua

En la Figura 35 se representan las gráficas de la cosecha de agua promedio al día de los atrapanieblas durante el ciclo de estudio, que disminuye durante la temporada seca y aumenta en la temporada de lluvias, sin embargo sus valores nunca llegan a ser cero. El análisis estadístico no mostró diferencia significativa de la cosecha de agua al día entre los atrapanieblas de plantas micorrizadas y no micorrizadas p= 0.99, lo que indica que todas las plantas estuvieron bajo las mismas condiciones de riego.

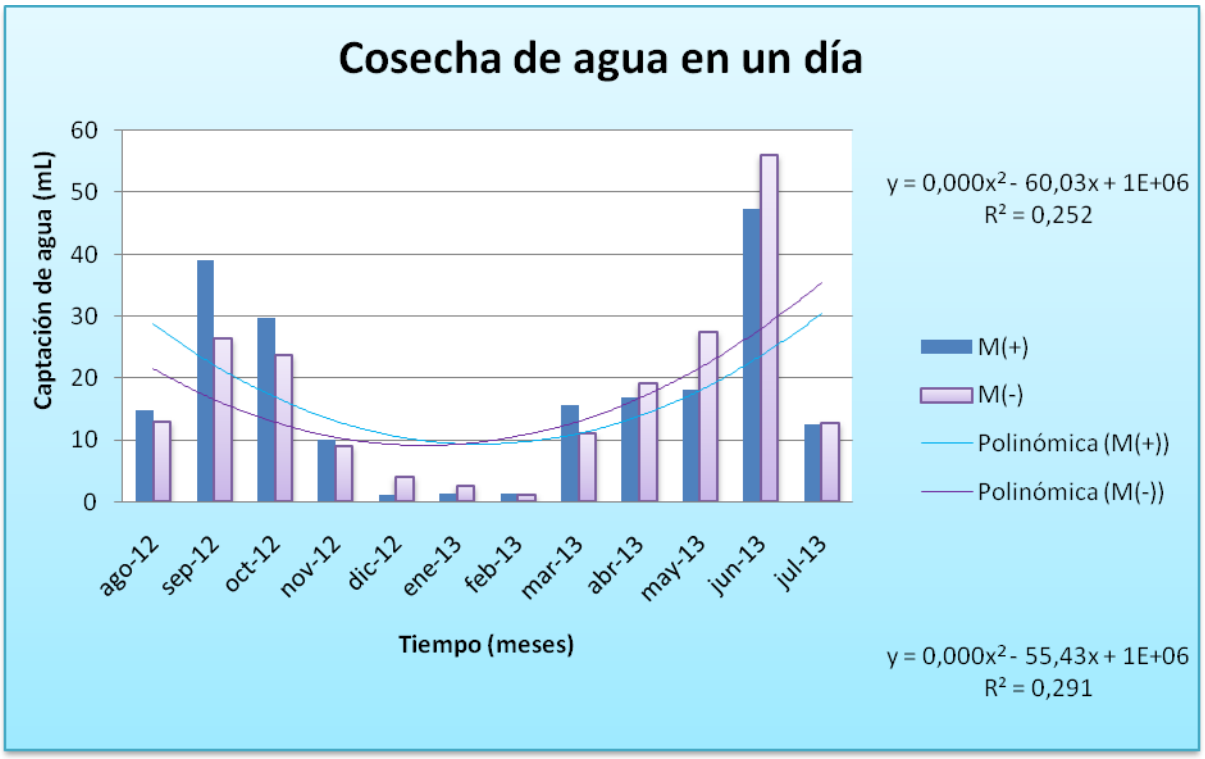


Figura 35. Cosecha de agua al día promedio en mL durante un ciclo anual.

En la Figura 36 se muestra la cosecha de agua mensual promedio de los atrapanieblas durante un ciclo anual, las líneas de tendencia muestra un comportamiento similar al de la Figura 37. Comparando ambas Figuras se puede observar con mayor claridad que efectivamente hubo cosecha de niebla durante los meses secos en los que se registran datos de precipitación pluvial igual a cero mm (octubre y diciembre); en los meses más secos que comprenden de octubre a marzo hubo cosecha de agua, a excepción del mes de febrero, donde se capturó el menor volumen de agua por los atrapanieblas, así mismo, esto corresponde a la temporada más seca donde se grafica la disminución de la humedad relativa en la Figura 35. No se reportan diferencias significativas en el volumen de agua cosechada mensualmente por los atrapanieblas, todas las plantas tuvieron las mismas condiciones de riego ($p= 0.58$).

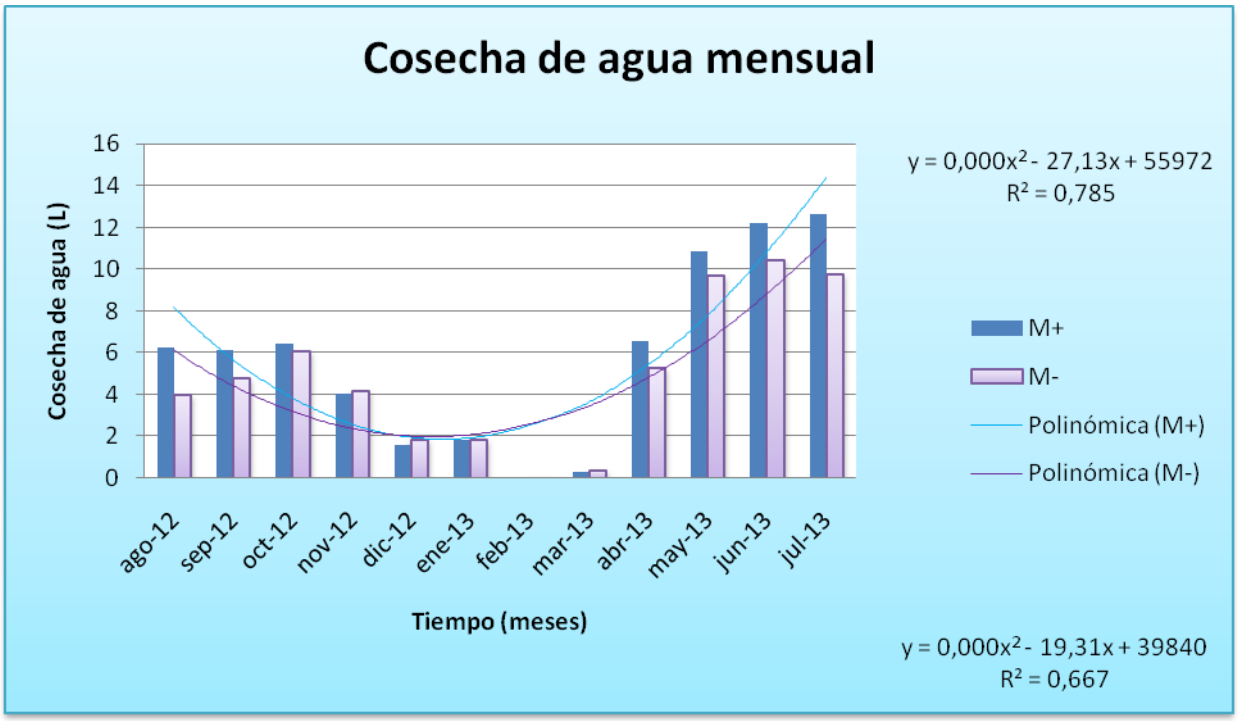


Figura 36. Cosecha de agua al mes promedio durante un ciclo anual en L.

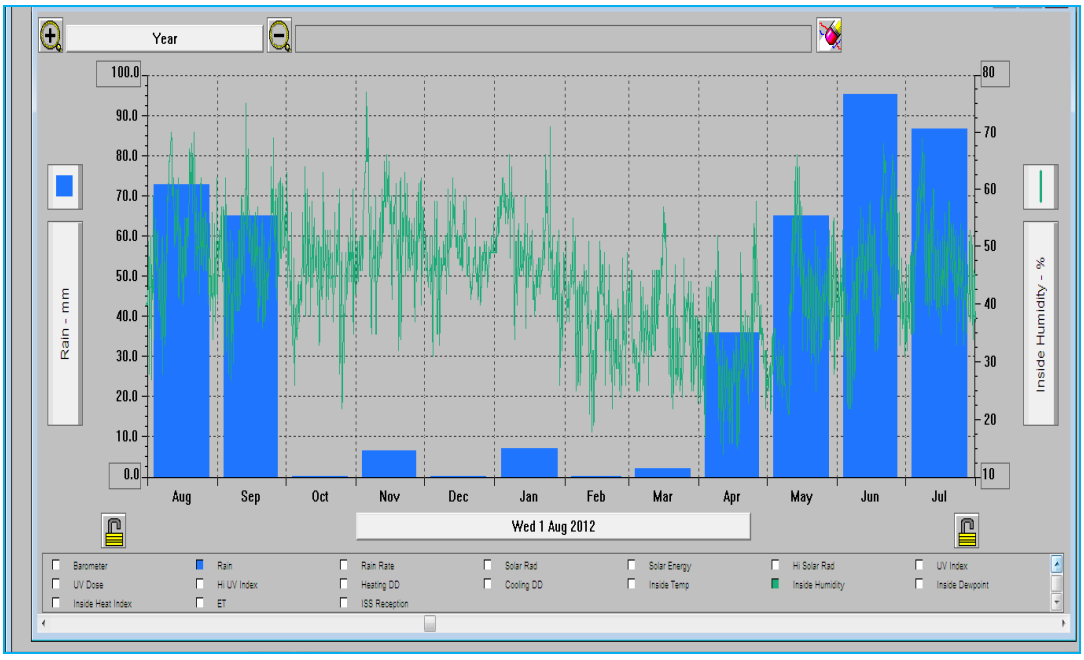


Figura 37. En esta Figura se representan los datos obtenidos de la estación meteorológica de la zona de estudio: las barras representan los mm de precipitación pluvial y la línea representa los datos del porcentaje de humedad relativa, la estación hizo el registro de los datos diarios y en la figura se representan los promedios mensuales durante el ciclo anual del experimento.

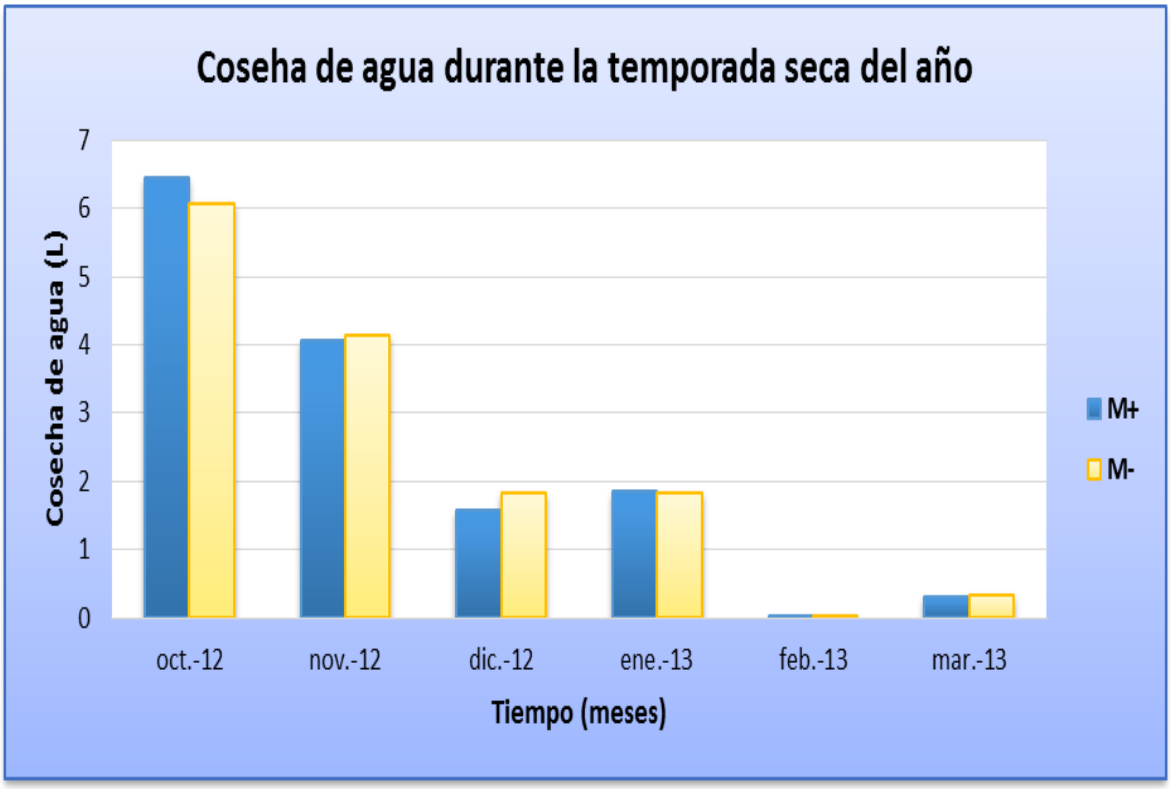


Figura 38. Gráficas de cosecha de agua durante la temporada seca.

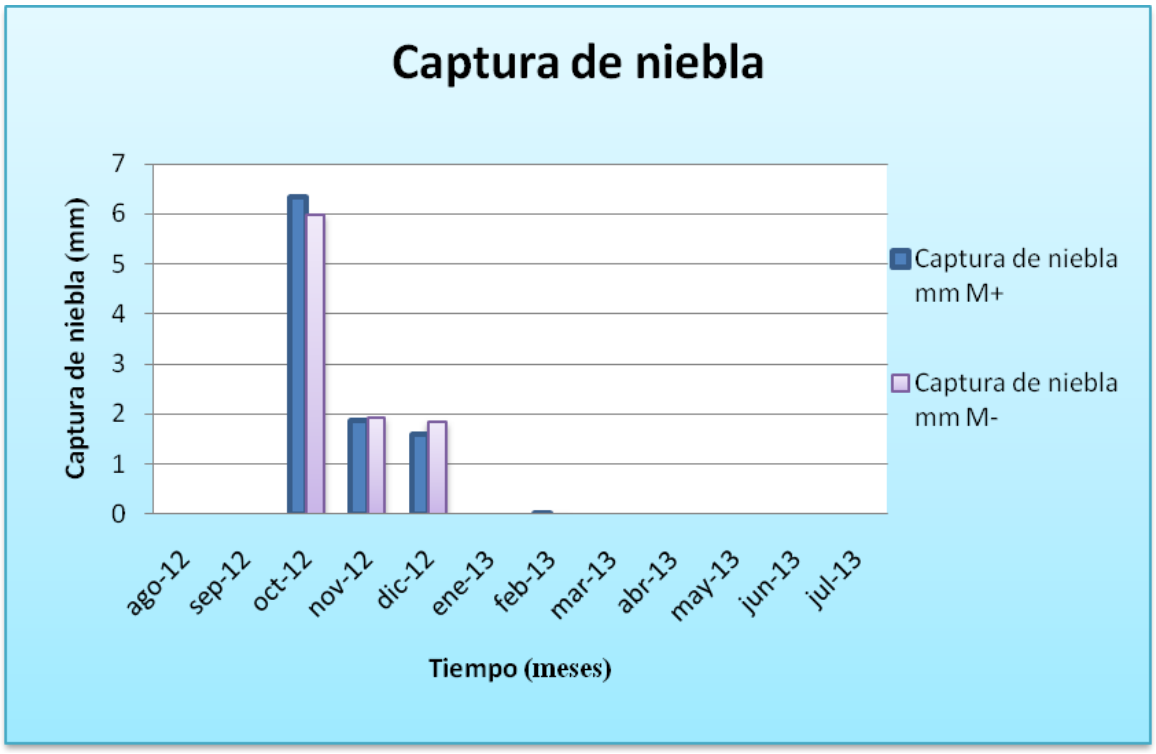


Figura 39. Captura mensual de niebla en mm durante un ciclo anual.

En la Figura 38 se muestran las gráficas del agua cosechada durante la temporada seca del año y en la Figura 39 se muestran las gráficas del agua correspondiente a la niebla capturada. De acuerdo a los datos de precipitación pluvial de la estación meteorológica, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la captura de niebla durante el ciclo anual, haciendo la siguiente diferencia: Cosecha de agua mensual promedio de los atrapanieblas en mm menos la precipitación pluvial mensual registrada en mm (tomando en cuenta que 1 L = 1 mm de lluvia). Comparando ambas Figuras se observa que la mayor parte de agua cosechada durante los meses de sequía corresponde a la captura de niebla.

La Figura 40 muestra la medición del agua cosechada durante la temporada seca; en la Figura 41 y Figura 42 se observa el riego de *P. laevigata* con el agua cosechada de los atrapanieblas, las plantas de *P. laevigata* mantienen sus ramas y algunas de sus pinnas a pesar de la estar en la temporada seca del año.

Figura 40. Medición de agua cosechada durante la temporada seca. Imagen tomada por la autora.

Figura 41.

Figura 42. Riego de *P. laevigata* durante la temporada seca del año. Imágenes tomadas por la autora.

10. 4 Atrapanieblas

La adopción de una ecotecnia requiere la combinación de distintas áreas para hacer una validación científica, así como evaluar su impacto económico, ecológico y social. En este estudio se comprobó que los atrapanieblas cosecharon importantes cantidades de agua durante el ciclo anual del experimento. La cosecha de agua durante la temporada seca del año demuestra la efectividad de la captura de niebla en un ambiente semiárido. Durante el ciclo de estudio se observó que los sistemas atrapanieblas, además de condensar y almacenar el agua proveniente de la niebla, también almacenan el agua de las precipitaciones, funcionando en general como un sistema de captación hídrica. La cosecha de agua (lluvia más neblina) registrada por cada atrapanieblas, en el ciclo anual fue de 63.5 L, la mensual de 5.29 L y la diaria de 176.3 mL

Dado que no se encontraron reportes cuantitativos del uso de atrapanieblas para el establecimiento vegetal, en el Cuadro 7 se muestra una comparación con un sistema de riego prehispánico para el establecimiento de plantas de *P. laevigata* micorrizadas y no micorrizadas en una zona semiárida deteriorada (Monroy *et al.*, 2009).

En cuanto a la segunda pregunta planteada en esta investigación, se encontró que la captación hídrica de los atrapanieblas no sólo permite la supervivencia de plantas de *Prosopis laevigata* durante la temporada más seca del año, sino que además favorece su crecimiento al proveer recurso hídrico extra.

Las ventajas que presentaron los sistemas atrapanieblas ante el sistema de riego prehispánico fueron los siguientes: la cosecha de agua a partir de la humedad relativa; la supervivencia del 100 % de plantas micorrizadas y no micorrizadas; no fue necesario usar plantas nodrizas para facilitar el establecimiento vegetal; el ensamblaje de los atapanieblas es sencillo; otra ventaja de usar este sistema resulta de los materiales empleados para su construcción, ya que son resistentes a las condiciones climáticas de las zonas semiáridas.

Cuadro 7. Comparación de sistemas de riego de *P. laevigata* en condiciones de campo.		
	Sistema prehispánico	**Atrapanieblas**
Cosecha de agua	Agua suministrada (7 L cada mes)	Captura de agua (hasta 10 L en un mes)
Supervivencia de plantas M+	30 %	100 %
Supervivencia de plantas M-	26.6 %	100 %
Nodizaje	*Flourensia resinosa*	No se usó planta nodriza, el atrapanieblas fungió como protección y sombra (Nodriza artificial).
Suelo y vegetación	No perjudicial	No perjudicial
Materiales	Naturales	Artificiales
Colocación	Se reporta esfuerzo elevado	Ensamblaje sencillo
Costo	Bajo (No especificado)	$ 2000.00 MN por cada atrapanieblas.

10.5 Climograma de la parcela de estudio

La Figura 43 representa el climograma de la parcela de estudio, se muestra mediante barras la precipitación pluvial promedio registrada por la estación meteorológica en mm y mediante una línea la temperatura en °C promedio de la parcela de estudio durante un ciclo anual. Mientras la Figura 44 representa la radiación solar W/m^2 registrada en la parcela de estudio durante un ciclo anual. Los meses con mayor temperatura, precipitación pluvial y radiación solar representan las estaciones de primavera y verano, mientras que los meses con menor temperatura, precipitación pluvial y radiación solar corresponden a las estaciones de otoño e invierno.

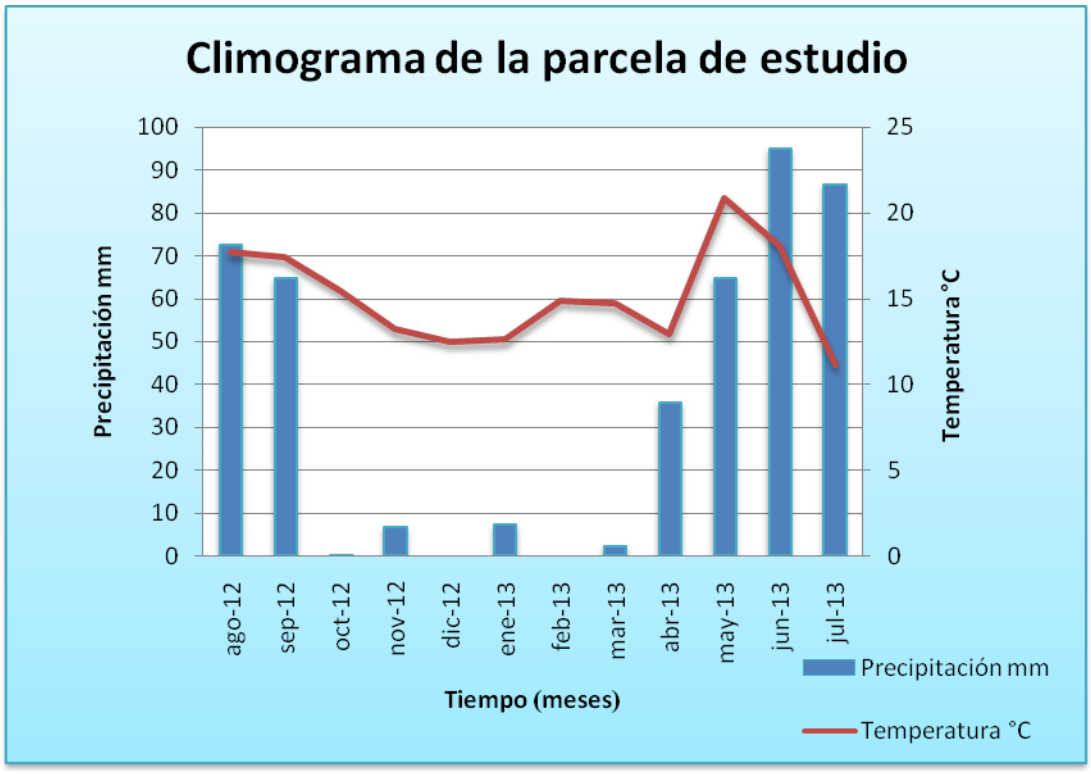


Figura 43. Climograma de la parcela de estudio durante un ciclo anual.

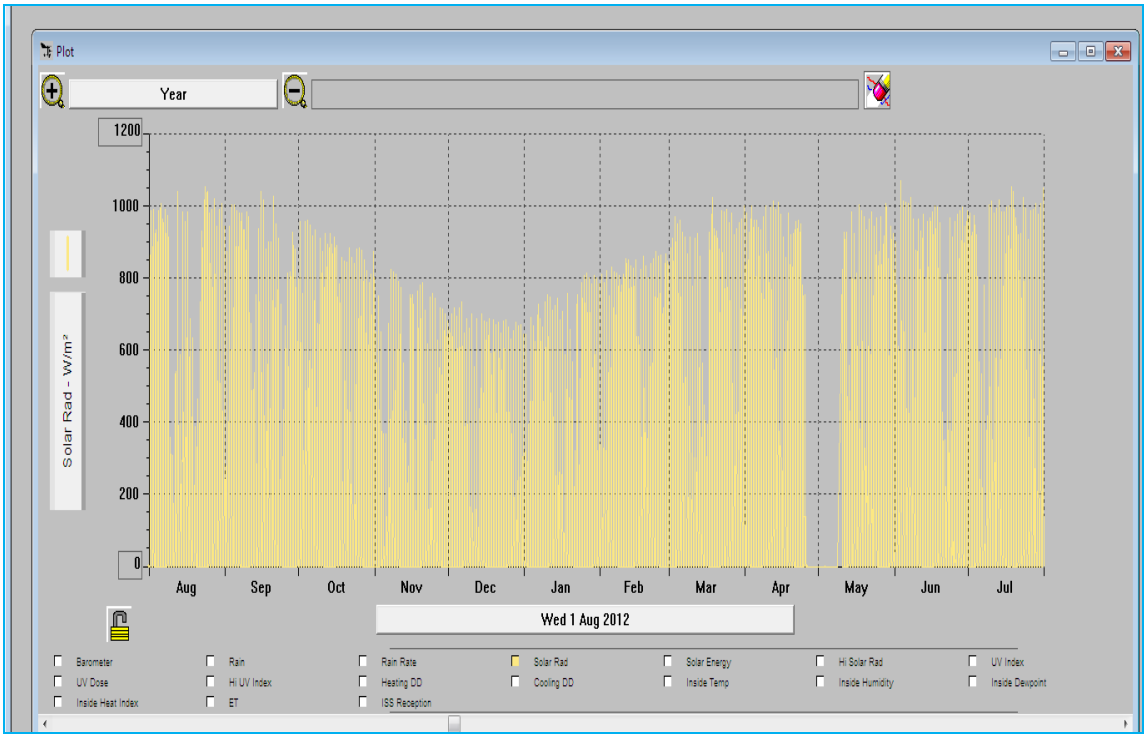


Figura 44. Radiación solar W/m^2 registrada en la parcela de estudio durante un ciclo anual.

10.5 Atrapanieblas como "Nodriza artificial" y HMA.

Atrapanieblas

El efecto de nodrizaje es una relación de facilitación vegetal que provee sombra, agua, hojarasca, nutrimentos y en general forma un micrositio adecuado para el establecimiento vegetal bajo el dosel de las plantas nodrizas. Sin embargo, en una reciente revisión de estudios realizados en diferentes zonas áridas y semiáridas del mundo, se ha encontrado que bajo condiciones de alto estrés ambiental las interacciones de competencia son más importantes que las de facilitación. La escasez de recursos limitantes (principalmente el agua) determina que las plantas nodriza compitan por éstos con las plantas protegidas, fenómeno que en algunas partes del mundo se ha denominado "sombra seca" (Ramírez, 2011).

Bajo este tipo de escenarios, los "objetos nodriza" como las rocas pueden desempeñar un rol facilitador similar al de las plantas nodrizas (a excepción de la deposición de hojarasca) permitiendo un ambiente con pocas variaciones de temperatura y humedad, evitando pérdidas de agua por evaporación y con la ventaja de que no compiten con las plantas protegidas por los escasos recursos (Ramírez, 2011).

La calidad de los micrositios acondicionados en la parcela experimental bajo la cobertura de los atrapanieblas resulta ser el factor determinante del establecimiento exitoso de las plantas de *Prosopis laevigata.* Ya que además de proveer agua en temporadas secas, brinda sombra y protección durante todo el año; el albedo del atrapanieblas disminuye la radiación solar que llega a las plantas protegiendo a los fotosistemas, permitiendo el desarrollo de pinnas durante todo el año; disminuye la evapotranspiración de las plantas y el suelo y proporciona recurso hídrico, contrarrestando los diferentes factores ambientales estresantes para el establecimiento vegetal (Figura 45).

Figura 45. Micrositio debajo de atrapanieblas que provee sombra y protección a *P. laevigata.* Imagen tomada por la autora.

HMA

En el Cuadro 8 se muestra la comparación de densidad de esporas en 100 g de suelo y morfotipos de HMA: a) en el suelo de la parcela experimental (Trejo, 2012), b) en el inóculo de las plantas de *P. laevigata* trasplantadas en la parcela experimental (Chimal *et al*., 2009) y c) en el suelo no perturbado de Tezontepec de Aldama, Hidalgo (Serrato, 2012). En la parcela experimental deteriorada se reporta un número muy reducido de esporas; en el suelo del inóculo utilizado para las plantas se reporta mayor número de esporas por 100 g de suelo, la mayoría de estas esporas corresponden a los géneros *Glomus y Acaulospora*; en el suelo no deteriorado de Tezontepec de Aldama, se reporta el mayor número de esporas y el género más abundante es *Glomus*.

Cuadro 8. Comparación de densidad de esporas y morfotipos de HMA.			
	a) Suelo de la parcela experimental (Trejo, 2012)	**b) Inóculo de P. laevigata micorrizadas (Chimal, 2009)**	**c) Suelo no perturbado de Tezontepec de Aldama, Hidalgo (Serrato, 2012)**
Densidad de esporas por 100 g de suelo.	Número máximo de 20 esporas	286 esporas	552 esporas
Morfotipos	No reportado	Esporas (aff. *Acaulospora* sp1)	*Acaulospora spinosa*
		Acaulospora sp2	*Entrophospora infrequens*
		Acaulospora sp3	*Glomus sp*
		Gigaspora aff. *ramisporophora*	*Glomus caledonium*
		Glomus sp1 (aff. *mosseae*)	*Glomus mosseae*
		Glomus sp2	*Glomus afin clarum*
		Glomus sp3	*Passispora sp*
		Glomus sp4	*Racocetra gregaria*
		Glomus sp5 aff. *geosporum*	*Sclerocystis rubiforme*
		Glomus sp6	

De acuerdo a Monroy (2007), la inoculación de plántulas con hongos micorrícicos arbusculares nativos, es recomendable en la restauración de ecosistemas semiáridos deteriorados. Dado que *Glomus* es el género más abundante en el suelo de Tezontepec, el inóculo utilizado para las plantas fue adecuado ya que aumentará el número de esporas y diversidad de HMA en la parcela experimental.

Cabe mencionar que las leguminosas arbustivas leñosas como los mezquites no solo crean islas de fertilidad bajo su cobertura, sino que también promueven la actividad microbiana fijadora de nitrógeno y la producción de propágulos micorrícicos, los cuales juegan un papel muy importante en la movilización de nutrimentos en el suelo como P, K, Ca, S, Mg, Na y F (Cross y Schlesinger, 1999; Whitford, 2002).

Las esporas de HMA (que son dispersadas por el viento) podrían colonizar las raíces de la vegetación circundante, incluyendo a las plantas no micorrizadas del experimento. Esto podría explicar que no se hayan encontrado diferencias significativas al final del ciclo de estudio (2012-2013):

- Las plantas de *Prosopis laevigata* micorrizadas M+ y no micorrizadas M- que fueron trasplantadas en campo en 2011, presentaron diferencias significativas entre tratamientos en el año 2012. Sin embargo, para el año 2013 no se encontró ninguna diferencia significativa en las variables de desarrollo, presentando diferentes desviaciones estándar a lo largo del ciclo 2012- 2013 y tasas de crecimiento relativo similares al final de este.

No se tienen datos concretos de la colonización endomicorricica de las plantas de *P. laevigata* en campo debido al número tan reducido de la muestra en este estudio. Por lo tanto, no se puede asegurar que las plantas que no fueron micorrizadas en condiciones de laboratorio, continúen sin colonización micorricica en las condiciones de campo actualmente.

“Atrapanieblas como nodriza artificial de *P. laevigata* y HMA”

De acuerdo a Ramírez (2011) las rocas consideradas “objetos nodriza” pueden ser degradadas en fragmentos más pequeños por bacterias endofíticas de cactáceas, estas bacterias son capaces de segregar compuestos orgánicos y protones (reduciendo el pH); fijar nitrógeno atmosférico y además meteorizar la roca dejando disponible elementos como P, K, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn. Siendo también una fuente de nutrimentos.

En este trabajo se propone considerar a los atrapanieblas como “Nodriza artificial”, por todos los atributos anteriormente mencionados y considerar el estudio de la calidad del agua recolectada para el riego (con el fin de saber si existe algún aporte de nutrimentos). Así como la replicación del experimento con plantas micorrizadas que faciliten la absorción de los nutrimentos presentes en el suelo (con un mayor número de muestras para corroborar la colonización micorrícica en las raíces de las plantas en condiciones de campo).

Finalmente, la Figura 46 muestra el esquema “Atrapanieblas como nodriza artificial de *P. laevigata* y HMA”. Este esquema representa los factores que favorecieron la supervivencia y desarrollo de las plantas de *P. laevigata* para lograr su establecimiento en una parcela semiárida deteriorada en el municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo.

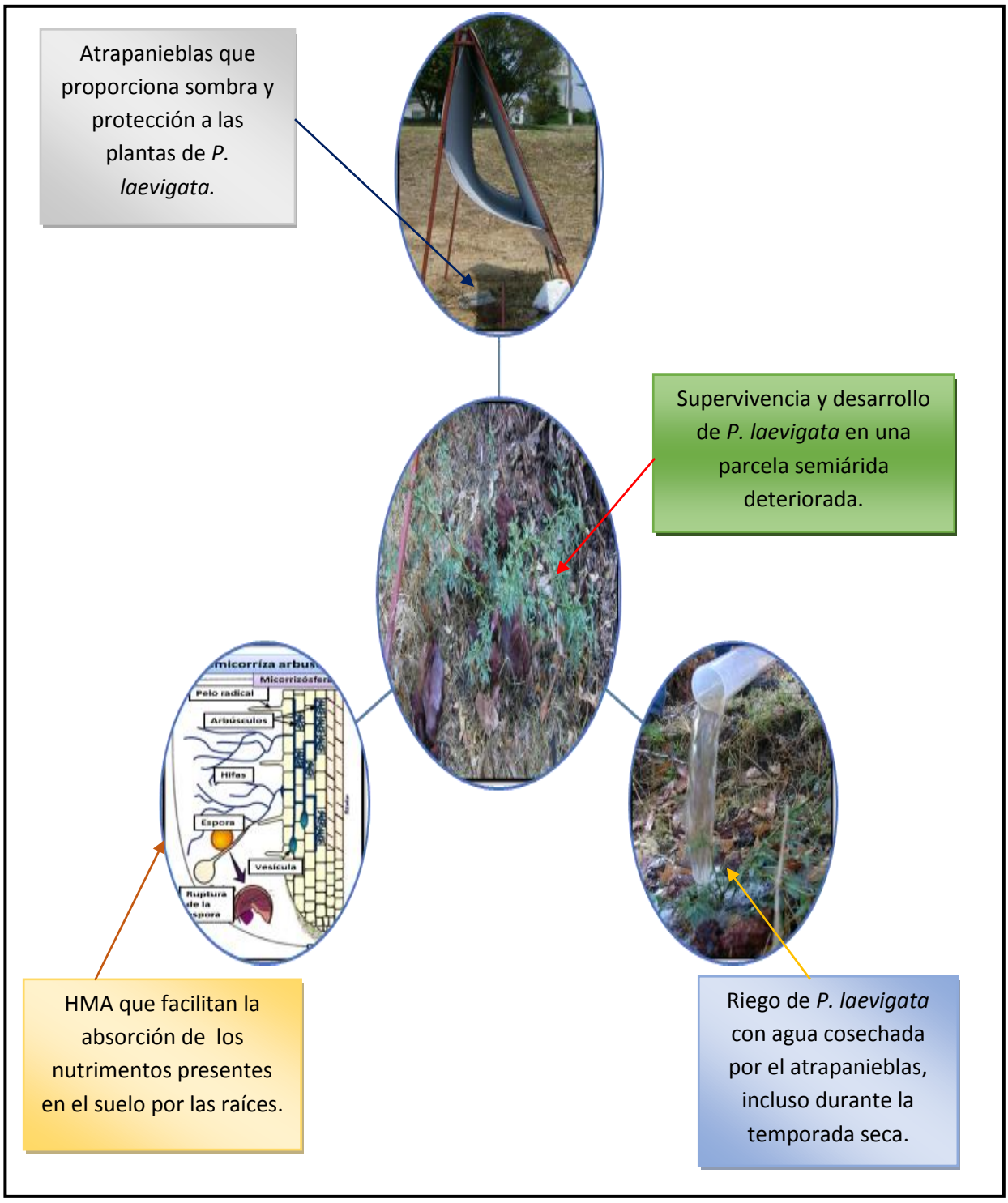


Figura 46. Esquema "Atrapanieblas como nodriza artificial de *P. laevigata* y HMA".

11.- CONCLUSIONES

- El uso de atrapanieblas fue el factor determinante para lograr el 100 % de supervivencia de plantas de *P. laevigata* en condiciones de campo indistintamente de su tratamiento inicial de micorrización.

- Los sistemas atrapanieblas son eficientes en la cosecha de agua durante la temporada seca en el ambiente semiárido de estudio y proveen recurso hídrico durante todo el año.

- Se obtuvieron datos que cuantifican la captación hídrica de los atrapanieblas, validando científicamente esta ecotecnia como herramienta para lograr el establecimiento vegetal de *P. laevigata.*

- Se propone considerar a los atrapanieblas como “Nodriza artificial” en el establecimiento vegetal de especies clave para lograr la restauración ecológica.

13.- RECOMENDACIONES

- Es importante el seguimiento y monitoreo de los proyectos de restauración ecológica, ya que las respuestas de desarrollo vegetal en condiciones de campo llegan a ser muy variables durante la etapa de establecimiento.
- Se recomienda dar seguimiento al desarrollo vegetal de las plantas de *P. laevigata* establecidas en la parcela experimental para determinar el tiempo necesario que se requiere usar los atrapanieblas para mantener la supervivencia del 100 %, debido a su patrón de crecimiento arbóreo o arbustivo.
- Se propone reproducir el experimento con un mayor número de muestras para corroborar la colonización micorrícica de las plantas en campo.
- Se recomienda hacer el estudio del suelo de parcela experimental para comprobar si el inóculo micorrícico empleado aumentó la diversidad y número de esporas.
- Se recomienda hacer el estudio de la calidad del agua cosechada a fin de conocer si existe algún aporte nutrimental a las plantas.
- Se recomienda hacer el estudio del microclima de los atrapanieblas.
- Finalmente, dado que las ecotecnias se constituyen como alternativas tecnológicas que pueden contribuir al desarrollo sustentable mediante el uso eficiente de los recursos naturales, es importante evaluar el impacto social y la adopción de esta ecotecnia, así como innovar en su tecnología y economizar su reproducción.

14.- REFERENCIAS

Barea J. M. *et al*. 2011. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. Journal of Arid Environments 75 (2011) 1292-1301.

Barragán V, E. A. 2003. Inoculación micorrícica de *Prosopis laevigata* L. (mezquite) en condiciones de invernadero y su efecto al trasplante en condiciones de campo. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.

Barrios T., R. 1985. Caracterización nutricional del mezquite "*Prosopis laevigata* (H& B ex Willd) M.c. Jonhnston" en tres épocas de corte. Tesis profesional para obtener el título de Biologo. ENEP "Zaragoza" UNAM.

Boreal Research Instutute. 2014. Site Disturbance Effect on Vegetation Establishment and succession.

Caravaca, F., Barea, J. M., Figueroa, D., Roldán, A. 2002. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reaforestation with *Olea europaea* subsp. sylvestris through changes in soil biological and physical parameters. Appl. Soil Ecol. 20, 107-118.

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.

Chimal, S., E., López M. L, García S. R. 2009. Obtención de inóculos de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) nativos en el Valle del Mezquital Hidalgo. Monroy A. A., García S.R. Plantas y Hongos micorrizas arbusculares: un mutualismo esencial en zonas semiáridas. México. D.F.

Comisión Nacional Forestal. 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. México.

CONABIO y SEMARNAT. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB).Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.

Cross, A.F. and W.H. Schlesinger. 1999. Plant regulation of soil nutrient distribution in the northern Chihuahuan desert. Plant Ecology 145: 11-25.

Dirección de Concertación y Participación Ciudadana. 2006. Guía de Ecotecnias.

FAO. "EL GÉNERO PROSOPIS "ALGARROBOS" EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. DISTRIBUCIÓN, BIOECOLOGÍA, USOS Y MANEJO." <<http://www.fao.org/docrep/006/ad314s/ad314s07.htm>> Consultado en mayo, 2013.

Gioda, A., Acosta B., A., Fontanel, P., Hernández M., S., Santos A. 1993a. *Árbol fuente.* Mundo científico Nº 132 volumen 13. 126-134.

Gioda, R. Espejo G., A. Acosta B. 1993. FOG COLLECTORS IN TROPICAL AREAS. Alfred Becker, Boris Sevruk & Milan Lapin (eds.) Evaporation, water balance & Deposition. Proceedings of the International Symposium on Precipitation and Evaporation, Bratislava, 1993b.*Vol. 3.*

González R., A. R. 2013. Establecimiento de *Yucca filifera* mediante el uso de micorrizas y de microclimas generados por nodrizas en una parcela de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. Tesis para obtener el título de Biólogo. FES Zaragoza. UNAM.

IDCR. 2002. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002. ESTUDIO COMPLEMENTARIO DEL CASO MEZQUITAL, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO.

Jackson L. L., Loupounike., D.Hillyard d. 1995. Comentary ecological restoration: A definition and comments. Restoration ecology. The Journal of Society for Ecological restoration. 3(2): 71-75 pp.

Jiménez, P. J., O. Aguirre C., E. Treviño G., E.J. Garza, S. Medellín., G. Alanis F. y E. Canales. 2002 Priorización: grados de riesgo y daño en el área y vegetación. En: Curso de restauración de áreas quemadas para ONG´S conservacionistas. Fondo mexicano para la Conservación de la naturaleza. Agencia para el desarrollo Internacional de Estados Unidos. 20 p.

Katata G., Haruyasu N., Kajino M., Hiromasa U., Hozumi Y. 2010. Numerical study of fog deposition on vegetation for atmosphere-land interactions in semi- arid and arid regions. Elsevier. 150 (2019) 340-353.

Maestre G., F. T. 2003. La restauración vegetal en zonas semiáridas en función del patrón especial de los factores bióticos y abióticos. Tesis doctoral. Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente.

Mikola Peitsa. "Forestación de zonas razas" <http://www.fao.org/docrep/87903s/87903s08.htm> Consultado en Junio 2013.

Monroy-Ata A. 2012. La cosecha de agua. Una forma de abatir la Sequía en el Norte de México. RE- incidente Historia, Economía, Sociología, Ciencias y otras cosas… Año III, número 27. pág.4.

Monroy-Ata A., Estevez-Torres, J., García Sanchez R., Ríos-Gómez 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) 49-57.

Monroy-Ata A. y García S., R. 2009. Los hongos micorrizógenos arbusculares en prácticas de restauración de vegetación semiárida. Unidad de investigación en ecología vegetal. FES Zaragoza. UNAM. México, DF.

Monroy- Ata A., Paz C. I., García S.R. 2009. Establecimiento de plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*) inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares bajo un sistema prehispánico de riego por goteo en una zona semiárida deteriorada. Álvarez S., F. J. Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Perreta, M. G. y Vegetti, A.C. 2005. Patrones estructurales en las plantas vasculares: una revisión. Gayana Bót. pp 9-19.

P. Pavón, N., Meza S., M. 2009. Cambio climático en el estado de Hidalgo: clasificación y tendencias climáticas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

Peña-Becerril, J.C., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F. J., Orozco-Almanza, Ma. S. 2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 8(2):91-98.

Ramírez C., D. A. 2011. Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los Andes. Ecología aplicada. Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima- Perú.

Randell B., J. 2005.Modelo de restauración ecológica en la microcuenca “El Porvenir”, Santiago de Anaya, Hidalgo, México.

Ren, H., Yang, L., Lui, N. 2008. Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. Elsevier. Science Direct. Progress in Natural science 18 (2008) 137-142.

Reséndiz V., O. E. 2011. Comentario personal.

Reséndiz V., O. E. 2014. Comentario personal.

Reyes-Reyes B. Gabriel, Zamora Villafranco Erika; Reyes Reyes Ma.de la Luz; Frías-Hernández Juan T.; Olalde-Portugal Victor y Dendooven Luc (2003). Decomposition of leaves of huisache (*Acacia tortuoso*) and mesquite (*Prosopis spp.*) in soil of the central highlands of México. *Plant and Soil* 256:359-370.

Rhodes, D. and P. Felker. 1987. Mass screening *Prosopis* (mesquite) seedlings for growth at seawater salinity. For. Ecol. Manage. 24:169-176.

Rivera, J. D. 2011. Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. Elsevier. Atmospheric research 102 (2011) 335-342.

Ruiz T. G., S.R. Zaragoza, R.F. Cerrato. 2008. Fertility islands around Prosopis laevigata and Pachycereus hollianus in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. Elsevier. Journal of Arid Environments 72 (2008) 1202–1212.

Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición Digital, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.

Serrato G., S., A. 2012. Reporte de Servicio Social: Morfotipos y densidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares en el suelo proveniente de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.

SIRE: CONABIO-PRONARE. Sire: Paquetes tecnológicos *Prosopislaevigata.*<<*http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/988Prosopis%20laevigata.pdf*>> *Consultado 10 de Junio 2013.*

Sol S., A., Zenteno R., C. E., Zamora C., L.F., Torres R., E. *Modelo para la restauración ecológica de áreas alteradas*. Kuxulkab´ Revista de divulgación. Vol VII Número 14 (2004) 48-60.

Tapia P., F., Mercado-Ruaro P., Monroy A., A. 1999. *Cambios en la longitud cromosómica en tres poblaciones de Prosopis laevigata (Fabaceae). Implicaciones genecológicas y evolutivas.* Serie Botánica 70(1): 13- 28.

Trejo G., R. (2012) Comentario personal.

Varma A., Hock B. 1998. Mycorrhiza structure, function, molecular biology and biotechnology.2° Ed. Springer.

Whitford, W.G., 2002b. Ecology of Desert Systems. Academic Press, London.

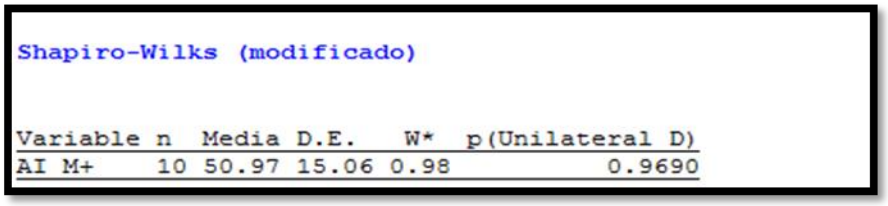
<<http://www.tageo.com/index-e-mx-v-13-d-m2394634.htm>> Consultado 13 de Junio 2013.

<<http://swbiodiversity.org/imglib/seinet/ASU/ASU0024/ASU0024710.jpghttp://fm2.fieldmuseum.org/vrrc/details/FABA-pros-laev-557545.jpg>> Consultado 20 de Julio 2013.

15.- ANEXOS

Pruebas estadísticas de datos iniciales de plantas (2012)

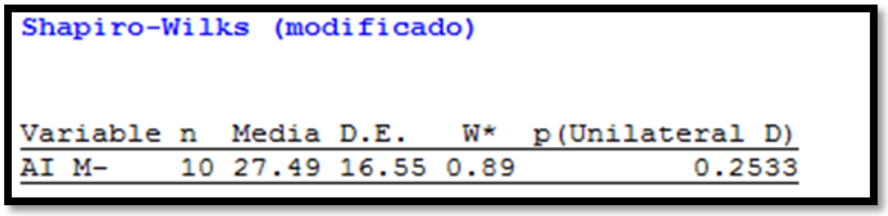
Anexos 1-3. Pruebas estadísticas de altura inicial



Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AI M+	10	50.97	15.06	0.98	0.9690

Anexo 1. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en altura inicial de plantas micorrizadas M+.



Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
AI M-	10	27.49	16.55	0.89	0.2533

Anexo 2. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en altura inicial de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	(M+)	*(M-)*
Media	50.97	27.49
Varianza	226.7423333	273.8587778
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	3.318579209	
P(T<=t) una cola	0.00191064	
Valor crítico de t (una cola)	1.734063592	
P(T<=t) dos colas	0.003821279	
Valor crítico de t (dos colas)	2.100922037	

Anexo 3. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales altura inicial.

Anexos 4-6. Pruebas estadísticas de cobertura vegetal inicial

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CvI M+	10	1027.29	872.29	0.86	0.1340

Anexo 4. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cobertura vegetal inicial de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CvI M-	10	200.30	257.27	0.75	0.0029

Anexo 5. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cobertura vegetal inicial de plantas no micorrizadas M-.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes											
Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
CVI M+ M-	CV I	M-	M+	10	10	200,3	1027,29	257,27	872,29	67	0,0041

Anexo 6. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes de cobertura vegetal inicial.

Anexos 7-9. Pruebas estadísticas de número de ramas inicial.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Ramas I M+	10	4.00	1.89	0.89	0.2449

Anexo 7. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de ramas inicial de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Ramas I M-	10	2.90	1.10	0.93	0.6272

Anexo 8. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de ramas inicial de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	(M+)	*(M-)*
Media	20.5	12.4
Varianza	230.5	69.82222222
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	1.478057347	
P(T<=t) una cola	0.080767626	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310115	
P(T<=t) dos colas	0.161535252	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786681	

Anexo 9. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales número de ramas inicial.

Anexos 10-12. Pruebas estadísticas de número de pinnas inicial.

Shapiro-Wilks (modificado)

/

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
PI M+	10	148.30	110.74	0.86	0.1193

Anexo 10. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de pinnas inicial de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
PI M-	10	64.50	80.19	0.76	0.0030

Anexo 11. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de pinnas inicial de plantas no micorrizadas M-.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes											
Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
P I M+ M-	Pinnas Inicial	M-	M+	10	10	64,5	148,3	80,19	110,74	76,5	0,0311

Anexo 12. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes de número de ramas inicial.

Pruebas estadísticas de datos finales de plantas (2013)

Anexos 13-15. Pruebas estadísticas de altura final

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A M+	10	53,60	15,69	0,94	0,6830

Anexo 13. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en altura final de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
A M-	10	37,55	19,68	0,90	0,3201

Anexo 14. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en altura final de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	(M+)	*(M-)*
Media	53.6	37.55
Varianza	246.0444444	387.4694444
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	17	
Estadístico t	2.01649415	
P(T<=t) una cola	0.029914777	
Valor crítico de t (una cola)	1.739606716	
P(T<=t) dos colas	0.059829554	
Valor crítico de t (dos colas)	2.109815559	

Anexo 15. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales de altura final.

Anexos 16-18. Pruebas estadísticas de cobertura vegetal final

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CV M+	10	2812,21	2371,98	0,90	0,3533

Anexo 16. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número cobertura vegetal final de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CV M-	10	1053,63	1132,18	0,85	0,0961

Anexo 17. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número cobertura vegetal final de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	(M+)	*(M-)*
Media	2812.211	1053.627
Varianza	5626281.596	1281834.887
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	13	
Estadístico t	2.115842282	
P(T<=t) una cola	0.027114543	
Valor crítico de t (una cola)	1.770933383	
P(T<=t) dos colas	0.054229086	
Valor crítico de t (dos colas)	2.160368652	

Anexo 18. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales cobertura vegetal final.

Anexos 19-21. Pruebas estadísticas de número de ramas final

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
R M+	10	20,50	15,18	0,78	0,0080

Anexo 19. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de ramas final de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
R M-	10	12,40	8,36	0,86	0,1242

Anexo 20. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de ramas final de plantas no micorrizadas M-.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes											
Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
R M+ M-	Ramas final	M-	M+	10	10	12,4	20,5	8,36	15,18	85,5	0,1397

Anexo 21. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes de número de ramas final.

Anexos 22-24. Pruebas estadísticas de número de pinnas final

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
P M+	10	225,00	138,74	0,90	0,3592

Anexo 22. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de pinnas final de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
P M-	10	131,10	85,43	0,85	0,0863

Anexo 23. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en número de pinnas final de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	(M+)	*(M-)*
Media	225	131.1
Varianza	19250	7298.766667
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	1.822398784	
P(T<=t) una cola	0.0441949	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050325	
P(T<=t) dos colas	0.088389801	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131449536	

Anexo 9. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales número de pinnas final.

Tasa de crecimiento relativo en altura

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
TRC M+	10	2,60	9,18	0,81	0,0208

Anexo 25. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en tasa de crecimiento relativo en altura de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
TCR M-	10	10,06	9,12	0,92	0,5082

Anexo 26. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en tasa de crecimiento relativo en altura de plantas no micorrizadas M-.

Prueba de Wilcoxon para muestras independientes											
Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
TCR M+ M-	TCR	M-	M+	10	10	10,06	2,6	9,12	9,18	128,5	0,075

Anexo 27. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes de tasa de crecimiento relativo en altura.

Tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
TCR CV M+	10	1784,93	1840,93	0,94	0,6832

Anexo 28. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal de plantas micorrizadas M+.

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
TCR CV M-	10	853,32	934,74	0,84	0,0723

Anexo 29. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal de plantas no micorrizadas M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	M+	*M-*
Media	334842,7302	853,3239
Varianza	1,11042E+12	873738,4852
Observaciones	10	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	1,002277379	
P(T<=t) una cola	0,171196975	
Valor crítico de t (una cola)	1,833112933	
P(T<=t) dos colas	0,342393949	
Valor crítico de t (dos colas)	2,262157163	

Anexo 30. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales tasa de crecimiento relativo en cobertura vegetal.

Pruebas estadísticas cosecha de agua durante el ciclo de estudio

Cosecha de agua mensual durante el ciclo de estudio

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CAM M+	12	5,73	4,41	0,88	0,1637

Anexo 31. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cosecha de agua mensual M+.

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CAM M-	12	4,82	3,60	0,89	0,1841

Anexo 32. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cosecha de agua mensual M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	M(+)	*M(-)*
Media	5,726333333	4,824583333
Varianza	19,40930315	12,93885408
Observaciones	12	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	21	
Estadístico t	0,549227155	
P(T<=t) una cola	0,294321412	
Valor crítico de t (una cola)	1,720742871	
P(T<=t) dos colas	0,588642824	
Valor crítico de t (dos colas)	2,079613837	

Anexo 33. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales cosecha de agua mensual.

Cosecha de agua por día durante el ciclo de estudio

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CAD M+	12	17,25	14,75	0,88	0,1440

Anexo 34. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cosecha de agua por día M+.

Shapiro-Wilks(modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CAD M-	12	17,20	15,18	0,87	0,1023

Anexo 35. Prueba Shapiro Wilks de normalidad en cosecha de agua por día M-.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	M(+)	*M(-)*
Media	17,25	17,20416667
Varianza	217,6131818	230,3711174
Observaciones	12	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	22	
Estadístico t	0,007501371	
P(T<=t) una cola	0,497041218	
Valor crítico de t (una cola)	1,717144335	
P(T<=t) dos colas	0,994082435	
Valor crítico de t (dos colas)	2,073873058	

Anexo 36. Prueba t de Student para la comparación de las medias muestrales cosecha de agua por día.