



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS



TESIS

**“Restauración en Campos Agrícolas Abandonados: Interacciones bióticas y aplicación de la teoría ecológica”.**

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
En Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

Presenta

**Romeo Méndez Estrella**

Ensenada, Baja California, México

Noviembre del 2007.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS

TESIS


**“Restauración en Campos Agrícolas Abandonados: Interacciones bióticas y  
aplicación de la teoría ecológica.”**

Que para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

Presenta

**Romeo Méndez Estrella**

Aprobado por:

  
Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas

Director de tesis

  
Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal

Sinodal

  
M.C. Juana Claudia Leyva Aguilera

Sinodal

Ensenada, Baja California, México

Noviembre del 2007.

## Agradecimientos

A Dios nuestro señor por permitirme siempre estar rodeado de las personas correctas, gracias a ti por mi vida y por todo lo que me has dado.

A mi amigo el Dr. Alejandro Emilio Castellanos Villegas a quien debo la mayor parte mi formación profesional. Un excelente asesor, sin duda el mejor.

A mis padres Romeo Méndez y Margarita Estrella cuyo ejemplo de amor, honestidad y trabajo han hecho de mí y mis hermanos hombres de bien. A mis padres quienes a costa de miles de sacrificios me ayudaron a sacar adelante mi carrera, a ustedes con amor y admiración infinita.

A mi novia Blanca Icela por su infinita paciencia y amor, sin cuyos consejos y ánimo no hubiese sido posible completar este difícil trecho de mi vida. Te amo mi flaquita.

A todas aquellas personas comprometidas con el conocimiento y avance de la restauración ecológica mis mas sincero respeto y admiración.

A don Goyo y doña Clara, reflejo de cientos de personas que con gozo vieron el esplendor del distrito de riego no. 51 la costa de hermosillo, pero quienes con tristeza y melancolía han sido testigos y sufrido su triste decadencia. Gracias amigos por su hospitalidad.

A mis sinodales la Dra. Martha Ileana Espejel y la M.C. Juana Claudia Leyva, gracias por sus comentarios y por las facilidades que me otorgaron para terminar mi tesis.

A mis hermanos del laboratorio No. 4 de Ecología Vegetal DICTUS: Deladier, Luz Amada, Ana Cecilia, José Raúl, José, Luis Carlos, Cruz Alfonso. Gracias por su apoyo y ayuda en las agotadoras jornadas de campo y gracias por sus consejos.

A mis compañeros de la Maestría por haber hecho de mi estancia en Ensenada una experiencia enriquecedora y muy divertida. Gracias a Fabiola, Israel, Romeo (Tocayo), Cesar, Berna, Jatzire, Ale (Roomis), Pedro (Tamaulipas) y José por su amistad y apoyo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico, sin lo cual no hubiese sido posible cursar mis estudios de maestría.

## RESUMEN

El abuso en el manejo de los recursos naturales ha tenido serios impactos en los ecosistemas del Desierto Sonorense. En el caso del Distrito de Riego No. 51 de la Costa de Hermosillo, la alta extracción de agua que ocasionó la intrusión salina en el acuífero, aunado a los altos costos de los insumos a ocasionado una disminución gradual en la superficie sembrada, lo cual se traduce a la fecha en el abandono de más de la mitad de los campos agrícolas que alguna vez fueron productivos en esta región. La restauración de estos sitios es todo un reto ya que se conoce muy poco acerca de esta en ecosistemas desérticos y aún menos en campos abandonados.

El presente trabajo propone utilizar en los proyectos de restauración el conocimiento de la teoría ecológica implícita en el ensamble de las comunidades vegetales, con el objetivo de buscar estrategias que aseguren el éxito en futuros proyectos de restauración.

Se hicieron dos experimentos de en donde se vieron tres aspectos muy importantes: el efecto de la herbivoría y la sequía en la sobrevivencia de transplantes, el nodricismo como estrategia para mejorar la germinación y establecimiento de especies y la promoción de las interacciones ecológicas positivas (facilitación) para aumentar el éxito en el establecimiento de transplantes.

La alta tasa de mortalidad que se presentó en el primer experimento de esta tesis fue el resultado de dos periodos críticos de sequía, uno de cinco meses desde Marzo a Junio del 2005 y otro de Octubre del 2005 a Junio del 2006. Aunado a estos eventos de sequía se tuvo evidencia que durante el periodo de otoño e invierno (Octubre a Febrero) el efecto de los depredadores aumenta considerablemente, debido a esto se determinó que la falta de agua se fue aún más dañino hacia los transplantes que entraron depredados a los periodos de sequía, lo que se reflejo al final del experimento en una alta tasa de mortalidad.

El utilizar el nodricismo para mejorar la germinación de *Cercidium microphyllum*, *Prosopis sp* y *Simmondsia chinensis* no resultó tener el efecto esperado ya que el mayor número de germinaciones se registro en los espacios abiertos, fuera de la influencia del dosel de plantas nodriza. Lo anterior se explica como una posible competencia por los recursos que afectó la germinación de las semillas.

Por el contrario, funcionó en una mejor forma el utilizar la estrategia de promover la facilitación entre las especies al agrupar individuos de distintas características funcionales, como la fijación de nitrógeno y redistribución hídrica de *Prosopis sp.* y la baja palatabilidad de *Cercidium microphyllum* lo que lo hace menos atractivo hacia los depredadores. Los resultados de este experimento demuestran que los individuos de *Prosopis sp.* que fueron agrupados tuvieron un mayor crecimiento, una mayor tasa de sobrevivencia y una menor depredación que aquellos que fueron colocados solos, se obtuvo evidencia de una interacción de facilitación.

En general, los resultados de este estudio sugieren que el conocimiento y la aplicación de la teoría ecológica puede ser un factor clave en la práctica de la restauración.

1. IMPORTANCIA DEL ESTRÉS HÍDRICO E INTERACCIONES BIÓTICAS (HERBIVORÍA), EN LA RESTAURACIÓN DE CAMPOS AGRÍCOLAS ABANDONADOS	1
.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Causas de abandono agrícola.....	1
I.2 Estudios referentes al estrés hídrico e interacciones bióticas (herbivoría), en la restauración de campos agrícolas abandonados	
.....	6
II. OBJETIVO.....	10
III METODOLOGÍA.....	10
III. 1 Sitio de estudio.....	10
III.2 Diseño de parcelas experimentales.....	12
III.4 Riegos.....	15
III.5 Humedad en el suelo.....	15
III. 6 Conductancia, transpiración y potencial hídrico.....	16
III.7 Tratamiento estadístico de los datos.....	18
IV RESULTADOS.....	19
IV.1 Sobrevivencia ("Sk" y "Bacc").....	19
IV.2 Depredación ("Sk" y "Bcc").....	21
IV.3 Sequía.....	22
IV. 4 Humedad en el suelo.....	23
IV. 5 Relaciones hídricas.....	24
IV. 6 Tratamiento de protección y tratamiento de bordos e hileras	
.....	30
V DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	33
2. USO DE PLANTAS NODRIZA PARA GERMINACIÓN.....	39
I. INTRODUCCIÓN.....	39

II. OBJETIVOS.....	40
III METODOLOGIA.....	41
III.1 Sitio de estudio .....	41
III.2 Exclusiones y siembra para germinación bajo nodrizas .....	41
III.3 Riegos .....	45
III.4 Mediciones de temperatura .....	45
III.5 Humedad en el suelo (Gravimetría y TDR).....	46
III.6 Mediciones fisiológicas .....	48
III.6.1 Medición de potencial hídrico en las plantas .....	48
III.6.2 Mediciones de porometría en las hojas de los árboles .....	49
IV. RESULTADOS.....	51
IV.1 Caracterización del microclima bajo dosel de plantas nodriza .....	51
IV. 1.1 Gravimetrías bajo dosel y fuera.....	54
IV. 1.2. Humedad por tratamiento en el perfil vertical del suelo.....	55
IV.2 Parámetros fisiológicos de las plantas nodriza y dominantes .....	60
IV.2.1 Potencial Hídrico .....	60
IV.2.2 Conductancia estomática y transpiración.....	61
IV.3 Germinación y sobrevivencia de plántulas .....	62
V. DISCUSIÓN .....	66
VI. CONCLUSIONES.....	71
3. USO DE LA FACILITACIÓN EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ZONAS ÁRIDAS.....	72
I. INTRODUCCIÓN.....	72
II OBJETIVOS .....	75
III. METODOLOGIA.....	76

III.1 Mejoramiento del terreno mediante aplicación de paja y remoción del suelo.....	76
III.2 Transplante de especies.....	77
III. 3 Tipos de riego.....	78
III.3.1 Tubos de PVC.....	78
III.3.2 Poliacrilamida.....	79
III. 3.3 Riegos.....	80
III.4. Mediciones de interacciones ecológicas.....	80
III.5 Temperaturas en los tratamientos de agrupación y en espacios abiertos.....	81
III. 6 Perfil de humedad del suelo en los tratamientos de agrupación y espacios abiertos.....	82
IV. RESULTADOS.....	83
IV.1 Temperatura en espacio abierto y en el tratamiento de tres grupos.....	83
IV.2 Perfil de humedad en los tratamientos de transplante.....	85
IV.3 Crecimiento, mortalidad y depredación de los trasplantes por tratamiento.....	87
IV.3.1 Crecimiento.....	87
IV.3.2 Mezquite.....	89
IV.3.3 Palo verde.....	91
IV.3.4 Tepehuaje.....	91
IV.4 Mortalidad.....	96
IV.5 Depredación.....	99
IV.6 Intensidad e Importancia de la competencia (en mezquite).....	102
V DISCUSION.....	105
V.1 Temperatura.....	105

V.2 Humedad en el perfil del suelo (transplantes y en espacio con y sin rastra).	106
V.3 Crecimiento, mortalidad y depredación de los transplantes	107
V.4 Intensidad e Importancia de la competencia (en mezquite)	110
VI CONCLUSIONES	113
Bibliografía general	115

## ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

### CAPÍTULO I: IMPORTANCIA DEL ESTRÉS HÍDRICO E INTERACCIONES BIÓTICAS (HERBIVORÍA), EN LA RESTAURACIÓN DE CAMPOS AGRÍCOLAS ABANDONADOS

Figura 1.1 Ubicación del Porvenir.....	12
Figura 1.2 Áreas diferenciadas en el sitio de estudio.....	12
Tabla 1.1 Diseño del transplante y número promedio de individuos por tratamiento .....	14
Figura 1.3 Fechas de transplante y muestreos de sobrevivencia, así como registros de precipitación y temperaturas durante el experimento.....	20
Figura 1.4 Porcentajes de sobrevivencia de plantas en las cuatro fechas de muestreo .....	20
Figura 1.5 Proporción de depredación registrado durante los muestreos de Octubre y Febrero del 2004 y 2005.....	22
Figura 1.6 Contenido gravimétrico de agua en el suelo en un perfil vertical, 0-175 cm .....	23
Figura 1.7 Potencial hídrico de las hojas en Baccharis, Prosopis y Salsola durante el lapso de Agosto del 2004 a Junio del 2005.....	26
Figura 1.8 Mediciones de potencial hídrico, transpiración y conductancia estomática tomadas el 20 de mayo del 2005.....	27
Figura 1.9 Mediciones de potencial hídrico, transpiración y conductancia estomática correspondientes al 25 de junio del 2005.....	28

Figura 1.10 Tasa de pérdida de agua de Baccharis, Prosopis y Salsola, en relación a la conductancia estomática.....29

Figura 1.11 Diferencias en mortalidad y depredación por fechas entre los tratamientos con y sin plástico protector.....31

Figura 1.12 Diferencias en mortalidad y depredación por fechas, entre los tratamientos surcos e hileras.....32

Tabla 1.3 Valores de p para la prueba de  $\chi^2$ .....32

## **CAPÍTULO II: USO DE PLANTAS NODRIZA PARA GERMINACIÓN**

Tabla 2.1 Diseño de los cuadros utilizados para colocar las semilla.....43

Tabla 2.2 Distribución de semillas sembradas bajo diferentes condiciones de nodricismo.....44

Figura 2.1 Construcción de exclusiones y colocación de semillas en cuadros .....44

Figura 2.2 Equipo para medir humedad en el suelo.....46

Tabla 2.3 Ubicación y profundidad de los tubos de acceso.....47

Figura 2.3 Mediciones con equipo TRIME - T3/T3C Tube Access Probe .....47

Figura 2.4 Temperaturas de Verano y Otoño bajo las plantas nodriza y en espacio abierto.....52

Tabla 2.4 Diferencia en temperatura °C entre nodrizas y espacio abierto .....52

Figura 2.5 Temperaturas de invierno y primavera en la nodriza Acacia y el espacio abierto.....53

Figura 2.6 Contenido Gravimétrico de agua en los primeros 20 cm del suelo bajo los tratamientos donde se colocaron las semillas.....54

Figura 2.7 Perfil de humedad por tratamiento en cada uno de las fechas de muestreo.....	58
Figura 2.8 Perfil de humedad por fecha de cada uno de los tratamientos .....	59
Figura 2.9 Potencial hídrico al amanecer y al medio día de las especies que estuvieron presentes en el sitio de restauración.....	61
Figura 2.10 Transpiración y conductancia estomática de las especies dominantes en el experimento de restauración. ....	62
Figura 2.11 Inventario de plántulas en total por fecha y tratamiento o nodriza .....	63
Tabla 2.5 Porcentaje de plántulas por fecha en relación al número de semillas colocadas en cada tratamiento.....	63
Figura 2.12 Inventario de plántulas por especie en cada fecha.....	64
Tabla 2.6 Numero de plántulas por especie en cada una de los tratamientos nodriza.....	65
Tabla 2.7 Precipitación total en Milímetros por período entre cada inventario de plántulas.....	70

### **CAPÍTULO III: USO DE LA FACILITACION EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ZONAS ÁRIDAS**

Figura 3.1 trabajos de mejoramiento del suelo.....	77
Tabla 3.1 Numero de trasplantes por especie utilizados en el experimento .....	77
Figura 3.2 Trasplante de plantas en el Tratamiento de riego PVC.....	78
Figura 3.3 Riego por tubos.....	79

Figura 3.4 Sistema de riego con poliacrilamida.....	80
Figura 3.5 Temperaturas promedio diarias de invierno y primavera para los tratamientos espacio abierto (IE) y 3 grupos PVC.....	84
Figura 3.6 Perfil vertical de humedad en el suelo, tomado durante tres fechas distintas. ....	87
Tabla 3.2 Diferencia en centímetros de la altura promedio de las especies por tratamiento de Diciembre del 2006 a Junio del 200.....	93
Figura 3.7 Tamaño promedio por especie en cada tratamiento durante cuatro fechas de muestreo.....	94
Tabla 3.3 Tamaño promedio en centímetros de las especies colocadas en diferentes tratamientos.....	95
Figura 3.8 Prueba de kolmogorov de las diferencias entre fechas para los tratamientos de irrigación agrupamiento.....	95
Figura 3.9 Prueba de kolmogorov de las diferencias mensuales entre tratamientos de irrigación y agrupamiento.....	96
Figura 3.10 Mortalidad de los trasplantes por tratamiento durante el experimento.....	98
Figura 3.11 Depredación en los trasplantes por tratamiento el experimento .....	102
Figura 3.12 Crecimiento en centímetros del mezquite creciendo solo y con vecinos.....	103
Tabla 3.4 Parámetros utilizados en las formulas de "Intensidad" e "Importancia" de la competencia.....	103
Tabla 3.5 Resultados por fecha de muestreo de "Intensidad" e "Importancia" de la competencia.....	104

## ANEXOS

Anexo 1. Promedio anual de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas alrededor del Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo..... 125

Anexo 2. Historia de 40 años de extracción de agua del acuífero de La Costa de Hermosillo en relación a la dotación autorizada y a la recarga natural ..... 125

Anexo 3. Comparación de la extracción del agua con la superficie sembrada durante 40 años en la Costa de Hermosillo..... 126

Anexo 4. Abatimiento en metros con respecto al nivel del mar del manto acuífero en la Costa de Hermosillo durante el período 1960-1992 ..... 126

# 1. Importancia del estrés hídrico e interacciones bióticas (herbivoría), en la restauración de campos agrícolas abandonados

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 Causas de abandono agrícola

Las decisiones que se han tomado en el transcurso de los años en cuanto al manejo de los recursos naturales, han traído consigo impactos ecológicos importantes a las comunidades vegetales sujetas a manejo. En Arizona, desde 1950 han sido abandonadas mas de 400,000 ha de tierras que alguna vez sirvieron para la agricultura de irrigación (Charney & Woodward 1990). La revegetación<sup>1</sup> de estas tierras es deseable, pero muy difícil (Roundy *et al.* 2001).

La implementación de praderas de la especie invasora *Cenchrus ciliare* (zacate buffel) con el fin de incrementar la productividad de los agostaderos, así como el establecimiento y posterior abandono de extensos campos agrícolas como es el caso de La Costa de Hermosillo, son dos ejemplos del uso del suelo que implican cambios en la estructura de la cubierta vegetal, los cuales afectan el ciclo de nutrientes y los patrones de uso de agua, promoviendo además el proceso de desertificación (Castellanos, 2003).

El modelo de desarrollo agrícola de la Costa de Hermosillo mostró desde su origen su insustentabilidad, entendida ésta en términos físicos, sociales y económicos (Murrieta *et al.* 1995; Moreno 2000; Halvorson *et al.* 2003) (Anexo 3). El acuífero No. 51 de la Costa de

---

<sup>1</sup>Se entiende por re vegetación repoblar con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, sectores desprovistos de vegetación, intervenidos y vulnerados por obras civiles o erosionados (<http://mitiga.cl/revegetacion.asp>).

Hermosillo inició su explotación en 1945 con 17 pozos, en el año 1965 alcanzó su máximo volumen de extracción, con alrededor de 900 pozos y 1100 hm<sup>3</sup> por año (Arregín *et al.*, 1968; Murrieta *et al.* 1995) (Anexo 2). La alta extracción de agua (sobre todo en la década 60's- 70's) ocasionó un abatimiento del manto acuífero de -10 metros bajo el nivel del mar en 1960 hasta alcanzar los -50 m en 1995. Todo esto, causó un problema de intrusión salina en el suelo en los campos de la zona sur del distrito de riego (Anexo 4). Debido a ello, en los primeros 20 años de operación (1947-1967), la salinidad avanzó inducida por la intrusión marina, provocada a su vez por el abatimiento regional, cuyos niveles piezométricos han alcanzado hasta 65 metros bajo el nivel del mar en el centro del acuífero (Rangel-Medina, 2003). Desde entonces la extracción de agua subterránea se ha reducido hasta un valor estimado en 550 hm<sup>3</sup> (Anexo 2).

En el caso del Estado de Sonora, el abandono de una gran parte de los campos agrícolas que alguna vez formaron el Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo, es sin duda alguna el resultado de los errores causados por malas decisiones en el manejo de los recursos naturales. Los problemas de intrusión salina, aunados a la problemática de los altos costos de los insumos (energía eléctrica principalmente) y a los bajos precios en el mercado de los cultivos tradicionales. Esto ha originado el abandono, a la fecha, de aproximadamente el 50 % de los campos de cultivo en el Distrito de Riego (Castellanos *com. pers.*). Esto ha creado un panorama desolador que afecta a las personas involucradas con la región.

Por otro lado, las políticas y las disposiciones normativas que buscaron mitigar la problemática existente, funcionaron como mecanismos de exclusión de los productores que contaban con menor acceso al agua y con menos recursos económicos para mejorar sus técnicas de riego y cultivo. En 1980, por ejemplo, el sector de los productores colonos que se localizaba cerca del litoral fue afectado por el decreto presidencial que identificó

105 pozos perjudicados por intrusión salina. El decreto indicaba que dichos pozos se tenían que re-localizar hacia el interior del distrito de riego, en un periodo no mayor a 11 años. Esta disposición gubernamental aceleró la crisis de las sociedades de productores colonos que se venía manifestando desde mediados de los años 70 (Moreno, 2000).

¿Cómo podemos reparar el daño causado a los ecosistemas naturales y manejados ya sea por sobreexplotación, desuso, contaminación y minería? ¿Cómo podemos cambiar un área degradada a un ecosistema funcional que pueda servir como hábitat o llevar a cabo servicios eco-sistémicos útiles? Estas son algunas preguntas formuladas por ecólogos de la restauración, quienes han abordado los problemas surgidos del incremento del uso (y desuso) de los ecosistemas del planeta (Tempereton y Hobbs, 2004).

Las ideas para enmendar los errores que se han cometido por años al momento de manejar los ecosistemas naturales se han abordado de distintas formas. Sin embargo, los esfuerzos mundiales en cuestiones de restauración de sitios impactados por actividades humanas han sido muy empíricos; es decir, no existe una teoría general ecológica que proporcione un método preciso a seguir para lograr la total recuperación de los ecosistemas degradados. Cada caso tiene que ser tratado de forma distinta según la historia del impacto. Por citar un ejemplo, se tiene que la mayoría de los intentos para reparar el daño causado por el disturbio antropogénico en tierras áridas y semi-áridas del oeste de Estados Unidos, han consistido históricamente en re-vegetar con monocultivos o simples mezclas de especies principalmente exóticas (Allen, 1995).

Han sido pocos los intentos por entender los procesos ecológicos implícitos en la restauración; así también, han sido pocos los estudios de las interacciones que ocurren entre las especies utilizadas en la restauración. Entre los esfuerzos que se han realizado por entender la teoría ecológica en la práctica de la restauración se tienen, entre otros, el libro de Tempereton (2004) “, el cual proporciona las bases para comprender cómo se

forma una comunidad de organismos y además, como se podría utilizar esta información aplicándola a la práctica de la restauración ecológica. Por otra parte, existe el antecedente del estudio de Gómez-Aparicio *et al* 2003, en donde se muestra la experiencia de utilizar plantas nodriza buscando mejorar el establecimiento de especies vegetales. Este último fue un buen esfuerzo por documentar las interacciones positivas (facilitación) entre especies utilizadas en una práctica de restauración.

El desarrollo de esquemas silvo-pastorales y agro-silvo-pastorales ha sido poco favorecido en los esquemas de desarrollo nacional y local, Según Ffolliot *et al.* (1995) estas practicas son una alternativa a la regeneración natural, la rehabilitación de terrenos degradados y perturbados en hábitat desérticos porque permite en menor plazo, no solo la reversión de procesos de erosión y degradación de la cubierta vegetal (Jackson *et al.* 1991), sino que mediante prácticas agro-silvo-pastorales se logra una mayor productividad del ecosistema manejado (Ffolliot *et al.* 1995). No obstante, todavía no se ha documentado el funcionamiento fisiológico y las interacciones bióticas implícitas en el uso de los recursos por parte de las especies utilizadas en la restauración.

El desarrollo de investigaciones que busquen comprender las interacciones bióticas, así como el funcionamiento fisiológico de las especies utilizadas en sistemas agroforestales con miras de rehabilitación de la cubierta vegetal, serán de gran importancia, ya que se tendrán evidencias ecológicas del éxito o fracaso de los proyectos propuestos, y de esta forma se podrán sugerir técnicas de rehabilitación y restauración más exitosas.

En este trabajo de investigación se busca entender como el efecto conjunto de las condiciones abióticas y las interacciones bióticas determinan el éxito o fracaso de la restauración. En este sentido, también se propone aplicar la teoría ecológica de ensamble de las comunidades vegetales, tomando ventaja de las interacciones bióticas positivas

(facilitación), con el objetivo de mejorar el establecimiento de especies nativas, para mejorar las posibilidades de éxito en los trabajos de restauración en zonas áridas.

## **I.2 Estudios referentes al estrés hídrico e interacciones bióticas (herbivoría), en la restauración de campos agrícolas abandonados**

La relación del concepto restauración con el proceso ecológico de sucesión es esencial, debido a que la restauración puede ser vista como un intento de apresurar la sucesión hacia etapas serales tardías (Contreras, 1998). El entendimiento de las variables que determinan la sucesión (competencia por recursos, herbivoría, características del suelo, microorganismos, microclima y patrones de disponibilidad temporal y espacial de recursos) es útil al momento de diseñar estrategias de restauración.

En la mayoría de los trabajos se ha reportado la importancia del agua como elemento clave en el éxito o fracaso en la restauración; sin embargo, algunos componentes de interacciones bióticas como la herbivoría, ha sido un tema poco discutido.

Se pueden mencionar varios trabajos que se enfocan a la problemática del suministro de agua en proyectos de restauración en zonas áridas, entre estos Banerjee *et al.* (2006) mencionan que en algunos estudios se han establecido exitosamente plantas nativas en tierras desérticas que presentan algún grado de disturbio, en estos casos se ha usado siembra directa e irrigación, incluso con agua de baja calidad (Ries *et al.* 1988; Hall y Anderson 1999). Anderson y Ostler (2002) reportaron buenos resultados en el establecimiento de plantas en suelos degradados no agrícolas ubicados en el Desierto del Mohave con y sin irrigación. Roundy *et al.* (2001) concluyeron que las plantas nativas del Desierto Sonorense pueden establecerse en verano con una irrigación de 210 mm., más la precipitación normal. Sin embargo, estos estudios no fueron desarrollados en campos agrícolas abandonados.

Varios factores pueden retardar o evitar la regeneración en áreas degradadas, las actividades agrícolas pueden conducir a la erosión del suelo y a la pérdida de nutrientes

(Uhl *et al.* 1982; Aide y Cavelier 1994) como por ejemplo limitar el rebrote de tocones y agotar el banco de semillas debido a eventos de fuego e inundación (Uhl *et al.* 1985; Nepstad *et al.* 1996). Además, las plantas que contribuyen con semillas pueden estar distantes o ser escasas y los dispersores frugívoros pueden no ser atraídos hacia las áreas degradadas. Incluso, si existe un banco de semillas disponible en algún área degradada, tal vez la regeneración no proceda exitosamente, debido a las condiciones microambientales poco favorables que se presentan en estos sitios.

Dentro de los estudios llevados a cabo en campos agrícolas abandonados en desiertos, Banerjee (2006) señala que la principal aportación de su proyecto fue que la siembra directa, incluso aplicando irrigación, puede ser un método poco exitoso para el establecimiento de cobertura vegetal en campos agrícolas abandonados de zonas áridas.

Contradictoriamente, varios estudios han mostrado que el transplantar e irrigar plántulas en forma individual puede ayudar de manera confiable al establecimiento de arbustos nativos en el primer verano (McKell 1986; Call y Roundy 1991; Lash *et al.* 1999; Glenn *et al.* 2001; McKeon *et al.* 2005).

En un estudio realizado en el desierto de Arizona (Redhawk site), la estrategia de usar riego por goteo para *Atriplex canescens*, *A. polycarpa*, y *A. lentiformis* permitió altas tasas de sobrevivencia y crecimiento en un plazo de tres años (Gerhart 2005). El utilizar técnicas de concentración de agua tales como microcuencas y bordos han resultado también ser prácticas efectivas al momento de establecer vegetación en climas áridos (Eldridge *et al.* 2002; Gerhart 2005).

No obstante la importancia y cuidado que se le ha dado al suministro de agua en la mayoría de los proyectos de restauración, no se ha alcanzado un éxito constante. Esto puede ser consecuencia de haber dejado de lado los factores de interacciones bióticas

como la herbivoría, cuyas consecuencias han sido poco estudiadas en experimentos de restauración.

El efecto de la depredación en condiciones naturales puede manifestarse de forma distinta según la especie bajo estudio. Castellanos y Molina (1990) en un estudio de sobrevivencia y establecimiento de *Simmondsia chinensis* reportaron una mortalidad del 70%, de la cual el 27% estuvo asociada a depredación (en sitios con acceso a herbívoros). Por otro lado, la mortalidad en plántulas de *Prosopis velutina* arriba del 50% durante el primer año en condiciones naturales puede deberse a la depredación (Paulsen, 1950). Para *Cercidium microphyllum*, (McAuliffe 1986) se reportó que a 209 días después de iniciado su experimento donde estudio el efecto de la herbivoría en el establecimiento de esta especie, el 80.3% de todas las plántulas habían sido depredadas, en la mayoría de los casos a menos de un centímetro por encima de la superficie del suelo.

Existen pocos documentos que reportan la importancia de la herbivoría en el éxito o fracaso de la restauración, tal vez por que se considera que los experimentos de restauración poco exitosos no son dignos de publicarse<sup>2</sup>.

Después del transplante, la protección contra herbívoros, estrés hídrico y viento han sido prácticas que han ayudado al establecimiento de las especies vegetales utilizadas en la restauración. Sin embargo, la herbivoría en particular puede ser un factor crítico en el establecimiento de plantas en ambientes áridos y semiáridos (Bainbridge y Virginia, 1990; Romney *et al.*, 1987; McAuliffe, 1986), y en campos agrícolas abandonados la depredación de semillas y plántulas puede ser extremadamente alta (Nepstad *et al.* 1996). Gutiérrez *et al* (2007) menciona que la restauración en matorrales y bosques bajos es un constante reto, como consecuencia del bajo éxito en el establecimiento de plántulas en

---

<sup>2</sup> Varios ponentes en el Congreso de Restauración Ecológica en Zaragoza España, 2005

estos sitios, debido al estrés hídrico y a la herbivoría. En el mismo trabajo, Gutiérrez (2007) probó la hipótesis de que el éxito en el establecimiento de plántulas (en este caso *Prosopis chilensis*) se puede mejorar acoplando el control de la herbivoría a años lluviosos asociados a los eventos de El Niño. También se demostró que, incluso en sitios bien irrigados pero sin protección contra herbívoros, el efecto de la herbivoría resultó ser tan importante que la sobrevivencia de plántulas fue del 45% en áreas protegidas contra herbívoros, contra sólo 0.6% de sobrevivencia en sitios sin protección (tres de cada 500 plantas).

En otro estudio (Grantz 1998) menciona, que una vez retirada la protección contra herbívoros en plántulas de "mezquite" el efecto de la depredación puede ser catastrófica y difícil de predecir.

Estos son algunos de los pocos ejemplos que se pueden encontrar en la literatura acerca de la importancia de la herbivoría en un experimento de restauración. Incluso Bainbridge uno de los más activos ecólogos restauradores de ecosistemas de Norteamérica, en sus trabajos menciona muy poco acerca de la importancia de la herbivoría en la restauración y en México Arriaga et al., (1994) presentan un vasto documento sobre el tema pero en cuyo contenido no se menciona la importancia de la herbivoría en las prácticas de reforestación.

La hipótesis de este trabajo plantea que la herbivoría bajo ciertas circunstancias puede ser un factor muy importante en el sentido de restringir el éxito de las prácticas de restauración. De esta forma, se propone que el aprovechamiento de algunas estrategias naturales como la redistribución hídrica y el uso plantas nodriza, de los arbustos dominantes *Salsola kali* y *Baccharis sarathroides* en el sitio de estudio, pueden facilitar el establecimiento de especies durante la restauración.

## II. OBJETIVO

Realizar un experimento de restauración para observar el efecto de la herbivoría, la estructura de la vegetación y la disponibilidad de agua en la sobrevivencia de transplantes.

## III METODOLOGÍA

### III. 1 Sitio de estudio

En la zona central del estado de Sonora en el municipio de Hermosillo, entre los paralelos 28° 22' y 29° 45' latitud norte y los meridianos 111° 00' y 112° 25' longitud Oeste se encuentra localizado el Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo (anexo 1) (Martínez, 1998). El área cubre cerca de 833 km<sup>2</sup> y ha sido uno de los más importantes distritos de riego agrícolas en México (Halvorson *et al.* 2003). La Costa de Hermosillo se encuentra dentro de la zona de planicies costeras del Desierto Sonorense y tiene una temperatura media anual de 22 °C y una media mensual máxima de 30 °C en Julio y Agosto, con temperaturas diarias por encima de los 47 °C durante los meses de verano. Las temperaturas medias mensuales de invierno son de 12 °C (Enero y Febrero), sin presentarse heladas. El monto de lluvia anual varía de 100 a 225 mm con dos períodos de lluvia, verano (80-90%) e invierno (por arriba del 20%). Los meses más secos son del final de Marzo a la mitad de Junio (Anexo 1). El tipo de suelo predominante es Yermosol. Se distribuye principalmente en la zona central de la Costa y noroeste de la misma (Martínez, 1998). Estos suelos son extensos depósitos aluviales con una estructura mixta de arcilla, limo y arena (45%, 35% y 20% respectivamente).

Dentro del Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo hacia la región sur-oeste, coordenadas 28° 35' 14" 110° 30' 29" se localiza "El Porvenir" (Figura 1.1), el cual es un campo agrícola con un tiempo de abandono de seis años antes de iniciar el estudio. Este sitio se encuentra en el borde de la zona de veda declarada desde 1951, la cual se amplió en los años 1954, 1963 y 1967; sin embargo, la principal causa de abandono de este campo fue el aumento de los costos de la energía eléctrica para la extracción de agua de pozos profundos (DDR-51 1993; CNA 1997; Halvorson *et al.* 2003). El último cultivo desarrollado en el sitio fue el maíz.

Los datos de precipitación y temperatura en el sitio de estudio (Fig. 1.3), son registros del primero de Enero del 2004 al 22 de Agosto del 2006, cuando se realizaron los experimentos de esta tesis.

Como parte de las actividades de "pro-campo ecológico" el dueño del lugar solicitó un fondo para la construcción de bordos o curvas de nivel, cuyo objetivo fue la retención de agua y su posterior uso para prácticas de restauración, de tal manera que para el inicio de nuestras actividades ya se contaba con dicho trabajo. El sitio presentaba una característica especial; se podían observar dos áreas distintas, una cuya especie dominante era *Baccharis sarathroides* y otra área dominada por *Salsola kali* (Fig. 1.2). En ambos sitios se repitieron todos los tratamientos utilizados en el estudio. Las diferencias en cuanto la estructura de la vegetación entre sitios se debió a que estos presentan distintos tiempos de abandono.

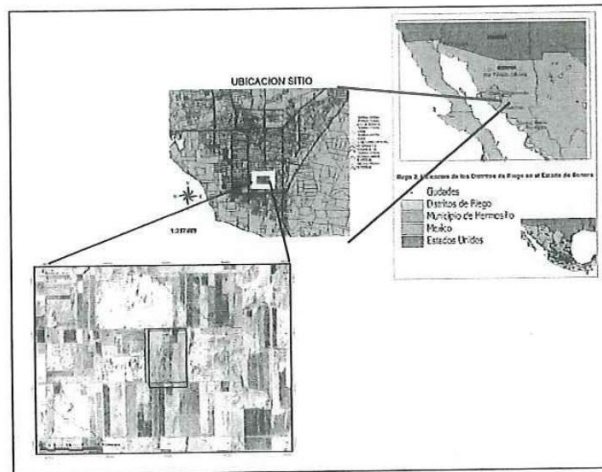


Figura 1.1 Ubicación del Porvenir

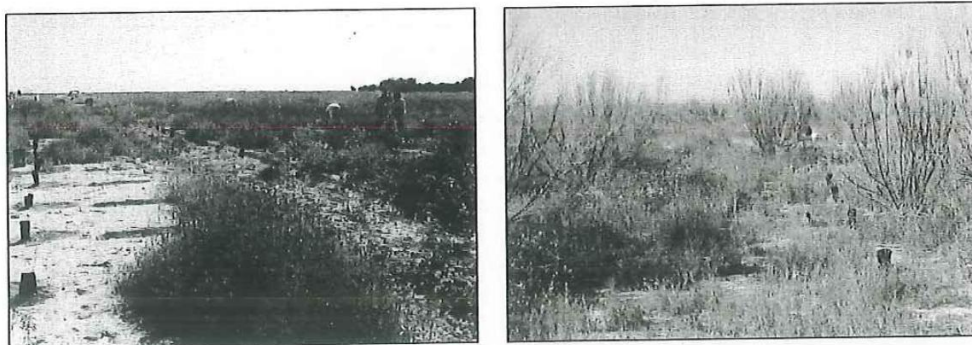


Figura 1.2 Áreas diferenciadas en el sitio de estudio, a la izquierda se observa el sitio dominado por *Salsola kali* a la derecha el área dominada por *Baccharis sarathroides* (en esta Figura se nota el surco al centro).

### III.2 Diseño de parcelas experimentales

En este experimento la idea consistió en utilizar dos estructuras sucesionales distintas para el establecimiento de plántulas de *Prosopis sp.*, con el fin de documentar diferencias en sobrevivencia y herbivoría entre los dos sitios; uno dominado por la especie *Salsola kali* y otro sitio cuya especie dominante fue *Baccharis sarathroides*. Además de los dos sitios con estructura sucesional distinta se utilizaron otros dos tratamientos: uno estableciendo transplantes con y sin protección contra la herbivoría y un último

tratamiento, el cual consistió en colocar transplantes sobre bordos e hileras, la diferencia entre estos fue que sobre bordos los transplantes estuvieron mas aislados de la vegetación existente, y los que se colocaron en hileras se plantaron entre la vegetación. Cabe mencionar que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) utiliza bordos en sus prácticas de reforestación con el objetivo de tener una mayor retención de agua.

En el sitio denominado como "El Porvenir" en el mes de Septiembre del 2004, se transplantaron alrededor de 1500 plantas de mezquite (*Prosopis velutina*) con rango de altura entre 35 y 70 cm, distribuidas en un área de cinco hectáreas. El diseño se llevó a cabo utilizando tres tratamientos: para el primer tratamiento los transplantes fueron colocados en dos áreas nombradas "sitio Salsola" y "sitio Baccharis" conforme a la especie dominante al comenzar el estudio. De aquí en adelante cada sitio será nombrado con la clave "Sk" para el "sitio Salsola" y "Bcc" para el "sitio Baccharis". Cada sitio fue subdividido en sur y norte (tabla 1.1).

Para un segundo tratamiento en cada una de las dos partes mencionadas anteriormente se colocaron a los individuos sobre bordos (ya existentes) y en hileras, obteniéndose un total de dos sub-tratamientos en bordos y dos en hileras para "Sk" y "Bcc" respectivamente. Dentro de cada sitio los tratamientos consistieron de siete hileras y tres bordos con un promedio de 34 y 24 mezquites cada uno (tabla 1.1). Los transplantes se colocaron dejando un espacio de tres metros entre cada planta y dejando un espacio de tres metros entre hileras la distancia entre bordos fue variable.

Para contrarrestar el efecto de la herbivoría se probó un tercer tratamiento el cual consistió en colocar hule de color negro alrededor de la planta. Este tratamiento se aplicó a la mitad de los transplantes.

Tabla 1.1 Diseño experimental para el transplante y número promedio de individuos de mezquite.

<b>Tratamiento</b>	<b>Sub-tratamiento</b>	<b>Hileras</b>	<b>Individuos Promedio por hilera</b>	<b>Bordos</b>	<b>Individuos Promedio por Bordo</b>
Baccharis	Sur	7	34	3	18
	Norte	7	34	3	24
Salsola	Sur	7	34	3	24
	Norte	7	30	3	37

### **III.4 Riegos**

Con el objetivo de reducir el estrés de transplante y buscando que este no fuera el factor que determinara la mayor mortalidad en este experimento, se aplicaron tres riegos auxiliares calendarizados dentro de los primeros meses consecuentes al transplante: Septiembre, Octubre y Noviembre del 2004. Los riegos se aplicaron manualmente planta por planta aplicándose aproximadamente de 5 a 8 litros de agua por cada transplante, el agua fue transportada por automóvil en un contenedor de 700 litros desde un pozo ubicado a un kilómetro y medio del sitio experimental.

### **III.5 Humedad en el suelo**

El contenido de humedad en el suelo se midió mediante gravimetría, para lo cual, se tomaron muestras de tierra en el sitio de estudio y se llevaron al laboratorio para determinar el contenido volumétrico de agua en el suelo. El procedimiento llevado a cabo en el laboratorio fue el siguiente:

1. Se registra el peso del recipiente limpio y seco, que contendrá la muestra de suelo.
2. Se deposita el suelo que se desea analizar en el recipiente y registra el peso.
3. Se deposita el recipiente con la muestra en el horno a 105 °C dejando la muestra hasta el día siguiente.
4. Una vez seca se retira el recipiente con la muestra del horno y se deja enfriar a temperatura del laboratorio. Una vez que el recipiente se enfría, se obtiene y se registra su peso.
5. Se vacía y limpia el recipiente y la balanza.

Los datos de humedad en el suelo se realizaron durante dos fechas:

El 23 de marzo del 2005 se realizaron dos perfiles de humedad en el suelo en ambos sitios. a 0-30, 30-50, 50-100, 100-150 y 150-175 centímetros de profundidad haciendo un perfil de humedad en dichas profundidades, comparando hileras y bordos. El 23 de Abril del 2005 el muestreo se hizo como un promedio entre ambos sitios y se tomaron muestras a los diferentes perfiles de profundidad. Asimismo se realizó un último perfil de humedad a 0-30, 30-50, 60-80 y 90-120 centímetros.

### **III. 6 Conductancia, transpiración y potencial hídrico.**

El uso de agua por las plantas y su eficiencia en el continuo suelo-planta-atmósfera es afectado por las condiciones ambientales que afectan la física del proceso y las condiciones biológicas de las especies. La utilización y efecto de las fuentes de humedad en el suelo sobre las especies se mide mediante el análisis del potencial hídrico, la conductancia estomática y tasas de transpiración de las especies.

Como resultó difícil medir estos parámetros en los trasplantes debido a su tamaño, se tomaron medidas en los individuos que se encontraban presentes en el sitio al inicio del experimento (*Salsola kali*, *Baccharis sarathroides* y juveniles de *Prosopis sp.*). Las condiciones de estrés hídrico y de flujo estomático proporcionan una buena aproximación sobre el uso del agua.

Para este objetivo, se realizaron muestreos durante el día de las relaciones hídricas de las especies como son conductancia estomática y transpiración. Ambas fueron registradas mediante el porómetro (instrumento para medir el intercambio del CO<sub>2</sub> de las hojas con la atmósfera), en un intervalo de 1 a 2 minutos promedio por lectura. El Porómetro LI-1600,

registra diversos parámetros fisiológicos en las especies como son: temperatura de la hoja ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura externa ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%), conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ), transpiración ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y radiación solar ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Para la medición de los parámetros, se toma una hoja de la planta y se coloca en el Porómetro, la lectura se toma hasta que la conductancia estomática se comporta estable.

Comúnmente el status hídrico en plantas es medido en términos de potencial hídrico, el cual es una medida de la energía libre disponible para hacer un trabajo. Este es particularmente relevante en estudios de movimiento de agua, aunque en ciertas situaciones, tales como donde no existe una membrana semipermeable en el sendero de flujo, un componente (en este caso potencial de presión) puede ser más útil (Jones, 1983). Se dice que el potencial hídrico en hojas no es una medida totalmente útil de estatus hídrico, sin embargo, especialmente sirve cuando se trata de estudios de flujo de agua, o como un indicador de un componente tal como presión de turgor. La técnica con la cual se midió el potencial hídrico (estrés hídrico) en hojas fue la de la máquina de presión de Scholander (PMS Instrument, Co.), que mide el potencial hídrico en unidades de presión (Bares) en el campo. (Scholander y Cols 1965). El funcionamiento del sistema de Scholander es el siguiente: una vez que se lleva la cámara de presión al lugar donde se realizan las mediciones, se toman muestras de hojas o pequeñas ramas de cada especie cortándolas, de tal forma que al sellarlas en la cámara de presión sale el corte del tallo o del pecíolo del hueco sobre la cámara. Una vez hecho lo anterior, se aplica presión hacia el interior de la cámara hasta que aparezca el agua en el extremo seccionado del tallo o el pecíolo. Se interpreta que la presión positiva aplicada a la hoja corresponde a la presión que equilibra la tensión o presión negativa con la cual el agua estaba retenida en el interior del tallo antes de cortarse (Azcon-Bieto y Talon, 2000).

Las mediciones se hicieron una antes del amanecer cuando el estado hídrico del suelo

esta en equilibrio con el de la planta, y otra medida al medio-día cuando las especies están sometidas al mayor estrés hídrico.

### **III.7 Tratamiento estadístico de los datos**

Para probar el efecto de los tratamientos utilizados para el transplante sobre la mortalidad y depredación de mezquite, se realizó un análisis de frecuencias utilizando tablas de contingencia de 2 x 2 para datos no paramétricos (utilizando el programa "Statistica"), con el cuál se obtuvieron los valores de P de la prueba de chi- cuadrada para cada tratamiento.

## IV RESULTADOS

### IV.1 Supervivencia ("Sk" y "Bcc")

En la figura 1.3 se muestran en los cuadros los datos de precipitación y temperatura, previos a las fechas donde se reportó mayor mortalidad después del transplante (Agosto 2005 y Junio 2006). Durante los dos primeros muestreos se registraron altos porcentajes de supervivencia de plantas (Figura 1.4).

En lo que respecta a las diferencias entre los tratamientos de "Sk" y "Bcc", se puede observar que en los meses de Febrero y Agosto del 2005, los porcentajes de supervivencia fueron mayores para el sitio de "Sk" (Figura 1.4); mientras que en las demás fechas (al comienzo y al final del experimento), el tratamiento de "Bcc" mostró los registros mayores. De las diferencias en porcentaje de supervivencia que se presentan en la figura 1.4, en el mes de febrero esta diferencia fue estadísticamente significativa con un valor de  $p=0.012$  ( $\chi^2=6.34$ ) (Tabla 1.3) y en Agosto los valores fueron de  $p=0.000$  ( $\chi^2=22.15$ ). De esta forma podemos inferir que en ambas fechas, el sitio de "Sk" representó una mejor estrategia ya que se presentó una mayor supervivencia que en "Bcc".

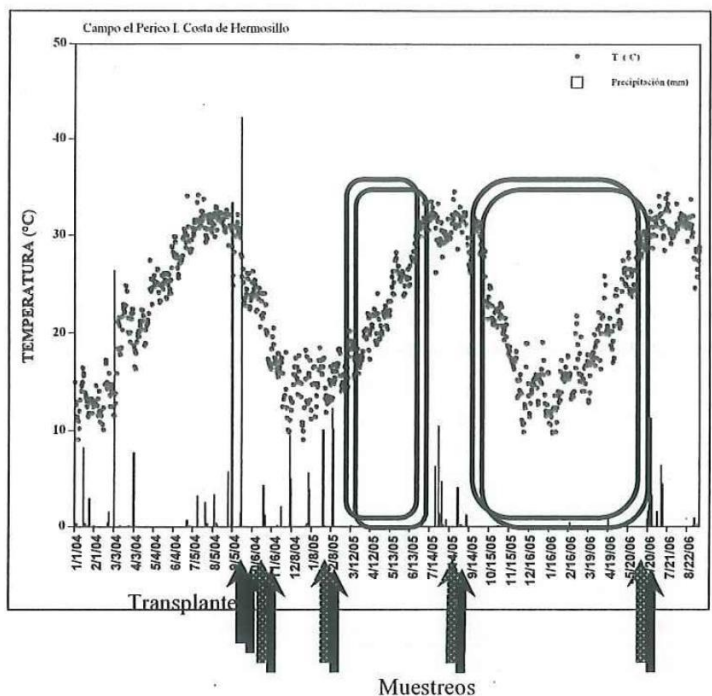


Figura 1.3 Fechas de transplante y muestreos de supervivencia, así como registros de precipitación y temperaturas durante el experimento. La flecha en negro muestra la fecha del transplante y las flechas moteadas las fechas de los muestreos de supervivencia

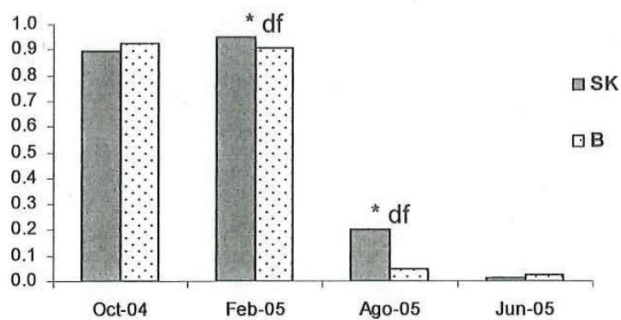


Figura 1.4 Porcentajes de supervivencia para plantas de mezquite en las cuatro fechas de muestreo. Se ilustra en gris los datos para el sitio "SK" y la barra de puntos corresponde a los datos del sitio "Bcc"

#### IV.2 Depredación (“Sk” y “Bcc”)

No obstante los altos porcentajes de sobrevivencia en los primeros dos muestreos, el efecto de la depredación era evidente. En la primera fecha (Octubre, 2004) se registraron porcentajes de depredación de 21.7 y 47.2 % para los sitios de “Sk” y “Bcc” respectivamente, aumentando los valores para el segundo muestreo (Febrero, 2004) a 66.7 y 64.7 % en el orden antes mencionado (figura 1.5). Durante el lapso de un mes entre el transplante inicial y Octubre del 2004, se encontraron diferencias significativas entre sitios en lo que se refiere a depredación ( $p= 0.0000$ ,  $\text{Chi}^2=58.77$ ), lo anterior sugiere que el efecto de la depredación fue más evidente para el sitio “Bcc” que para “Sk”. Para el mes de Febrero del 2005 las diferencias entre sitios en el porcentaje de plantas depredadas no resultó ser estadísticamente significativa, obteniéndose un valor de  $P=0.573$  y  $\text{Chi}^2=0.32$  (Figura 1.5 y Tabla 1.3).

Dentro del lapso de Otoño a Invierno el porcentaje de depredación aumentó considerablemente (Figura 1.5, recuadro). El aumento en la depredación fue más evidente en el sitio “Sk” que en “Bcc”, esto puede ser el resultado de que los transplantes eran mas visibles a los depredadores, ya que *Salsola Kali* se seco durante este lapso de tiempo; además, es un arbusto mucho mas pequeño que *Baccharis sarathroides*.

Sitio	Otoño - 04	Invierno - 05
Bcc	0.472	0.647
Sk	0.217	0.667

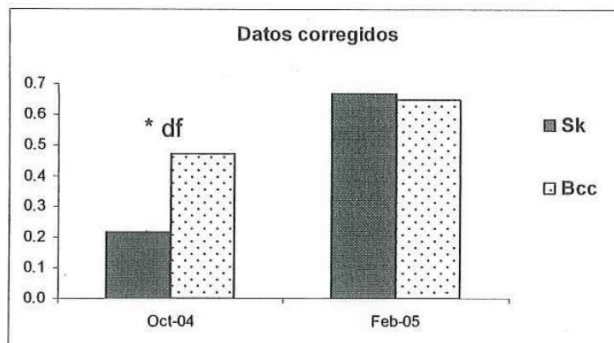


Figura 1.5 Proporción de depredación en los trasplantes de mezquite registrado durante los muestreos de Octubre y Febrero del 2004 y 2005 respectivamente. Se muestran en gris los datos para el sitio "Sk" y la barra de puntos corresponde a los datos del sitio "Bcc"

### IV.3 Sequía

Durante el experimento de restauración se presentaron dos eventos de sequía, uno de cinco meses a partir de Marzo hasta Julio del 2005 y otro de ocho meses, desde Octubre del 2005 a Mayo del 2006 (Figura 1.3 recuadros). A diferencia del periodo favorable entre el trasplante y los dos primeros registros de sobrevivencia donde se registraron pulsos de precipitación de Agosto del 2004 hasta Febrero del 2005 (7 meses), el lapso de nueve meses entre Octubre del 2005 y Junio del 2006 fue el más seco durante los 20 meses del experimento (Figura 1.3). El efecto combinado de ambos factores, la extrema sequía y la evidencia de que la depredación aumenta considerablemente durante el lapso de otoño a invierno, parecen ser los principales causantes de la alta mortalidad registrada en este experimento de restauración; de tal forma que, para la última fecha de muestreo realizada el 6 de Junio del 2006 (a 20 meses del trasplante) los porcentajes de sobrevivencia fueron de 1.48 % para el sitio "Sk" y 2.68 % para el sitio Bcc.

#### IV. 4 Humedad en el suelo

El contenido de humedad en el perfil vertical del suelo tomado en el mes de Marzo, siempre fue mayor a todas las profundidades en el sitio "Sk" (Figura 1.6, izq.); con esta gráfica podemos explicar dos cosas: por un lado durante este período había pocos individuos de *Salsola kali* activos, por lo que al no utilizarse el agua producto de las precipitaciones del mes anterior el porcentaje de humedad en el sitio "Sk" fue mayor en casi todos los niveles. Sin embargo, a la profundidad de 0 a 30 cm. esta diferencia en humedad se redujo significativamente. Tal vez la evaporación en el sitio de "Sk", el cual presentaba un suelo más desnudo, pudo haber influido a que la diferencia en humedad entre sitios no fuera tan evidente en esta profundidad. El gráfico también nos puede explicar que *Baccharis sarathroides* probablemente esté utilizando el agua dentro del perfil de 100 a 175 cm. de profundidad, esto debido a que la diferencia en humedad entre los dos sitios en ese perfil es mas marcada (Figura 1.6 izq.).

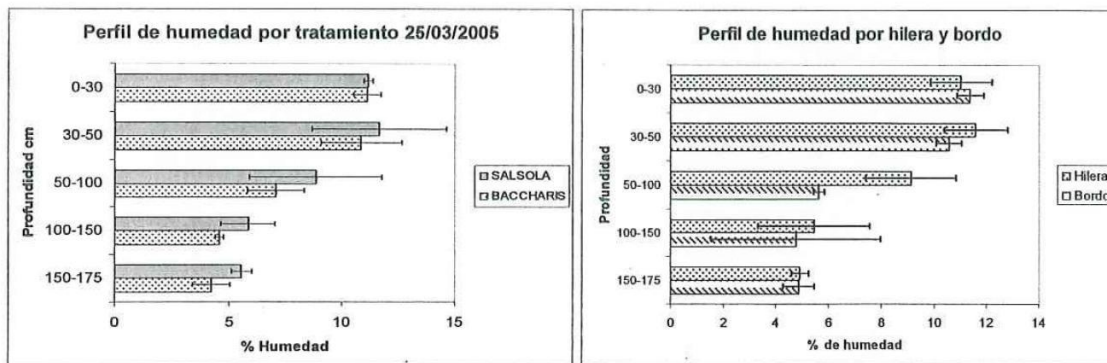


Figura 1.6 Contenido gravimétrico de agua en el suelo en un perfil vertical. El gráfico muestra el contenido de humedad en el suelo en un profundidad de 0 a 175 cm., los datos corresponden al 25 de Marzo del 2005, un mes después de las últimas lluvias invernales registradas en Febrero. El gráfico de la izquierda corresponde a la diferencia entre sitios "Sk" y "Bcc", mientras que el de la derecha a la diferencia entre hileras y bordos.

#### IV. 5 Relaciones hídricas

Los datos de potencial hídrico se muestran en la figura 1.7. En cada una de las fechas de muestreo, *Salsola kali* presentó los valores más negativos de potencial hídrico al amanecer con registros entre -2.5 y -3 MPa; por otro lado, en lo que respecta a los datos tomados al medio día, solo en Agosto *Prosopis sp* registró al medio día el valor más negativo de potencial hídrico con -4.3 MPa, mientras que en los demás meses *Salsola kali* fue la especie que presentó este comportamiento, con valores hasta de -4.5 MPa (Figura 1.7).

En los meses de mayo y Junio del 2005, dentro del primer período de sequía se tomaron datos de conductancia estomática, transpiración y potencial hídrico. Se tuvieron dos grupos de datos para *Salsola Kali*, *Baccharis sarathroides* y *Prosopis sp.*, uno al amanecer y otro cuando las condiciones de temperatura y humedad eran más adversas, aproximadamente a las dos de la tarde. En ambas fechas de muestreo se presentó la misma tendencia, los valores más altos de conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ) y transpiración ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) se registraron al amanecer mientras que al medio día los valores disminuían notablemente; del mismo modo, los valores de potencial hídrico se comportaron menos negativos al amanecer, tornándose más negativos hacia el medio día cuando la temperatura aumenta y la humedad relativa disminuye (Figuras 1.7, 1.8 y 1.9).

En el muestreo de Junio se presentaron las condiciones ambientales más desfavorables, las cuales se tradujeron en una respuesta de menor conductancia estomática y transpiración, así como un aumento en el potencial hídrico con respecto al mes de Mayo. De Mayo a Junio del 2005 la conductancia estomática y la transpiración de las tres especies al amanecer se redujeron casi a la mitad mientras que el potencial hídrico se

comportó constante (Figuras 1.7, 1.8 y 1.9 a la izquierda). Los valores de conductancia y transpiración al medio día, de Mayo a Junio se mantuvieron más constantes para *Salsola kali* que para las otras dos especies, con registros de conductancia estomática de  $0.17 \text{ cm s}^{-1}$  en Mayo y  $0.18 \text{ cm s}^{-1}$  para Junio y de transpiración de  $7.45 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y  $8.5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en el orden antes indicado. Mientras *Salsola kali* se mantenía constante en los parámetros fisiológicos mencionados anteriormente, *Baccharis sarathroides* y *Prosopis sp* experimentaron cambios mas importantes, la conductancia estomática cambió de  $0.26 \text{ cm s}^{-1}$  en Mayo a  $0.06 \text{ cm s}^{-1}$  en Junio para *Baccharis sarathroides* y en el mismo orden de  $0.23$  a  $0.04 \text{ cm s}^{-1}$  para *Prosopis sp*.

Con base a los datos de conductancia estomática y transpiración se obtuvo la tasa de pérdida de agua de *Salsola kali*, *Prosopis sp* y *Baccharis sarathroides* para los meses de Mayo y Junio del 2005 (Figura 1.10). De manera general la tasa de pérdida de agua al amanecer ya al medio día disminuyó para todas las especies de Mayo a Junio, de la misma manera en cada fecha de muestreo este valor disminuyó del amanecer al medio día.

De las tres especies, *Salsola kali* fue la que presentó la mayor tasa de pérdida de agua como consecuencia a su mayor conductancia estomática, a excepción del muestreo de Mayo al medio día donde presentó la menor pérdida de agua. Las especies *Baccharis sarathroides* y *Prosopis sp* tuvieron un comportamiento similar; sin embargo, en el muestreo de Junio al amanecer se pueden diferenciar claramente la tasa de pérdida de agua para cada una de las especies (Figura 1.10, abajo izquierda). En el mes de Junio, aún y cuando las condiciones ambientales en cuanto a humedad y temperatura fueron más adversas y la conductancia estomática fue menor para todas las especies *Salsola kali* presentó la mayor pérdida de agua.

Los muestreos de potencial hídrico correspondientes a los meses de Marzo, Mayo y Junio se realizaron dentro del primer lapso de sequía (Figuras 1.3 y 1.7), de esta manera se pudo relacionar los valores tan negativos de potencial hídrico en las tres especies sobre todo de Mayo y Junio, con la limitante de agua y aumentos de la temperatura en estos meses secos.

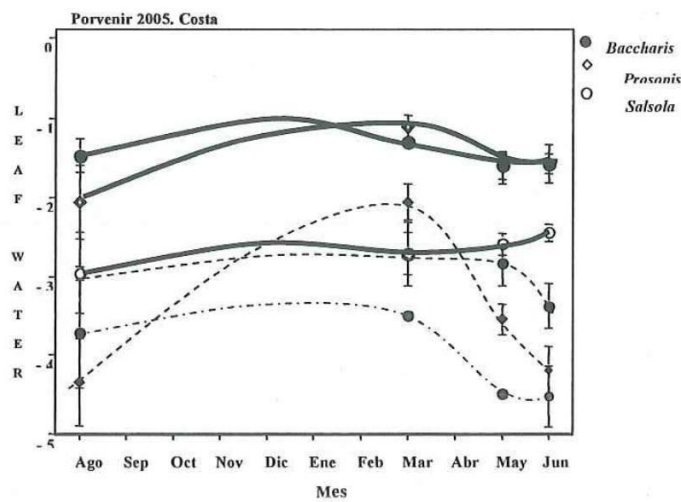


Figura 1.7 Potencial hídrico de las hojas en Baccharis, Prosopis y Salsola durante el lapso de Agosto del 2004 a Junio del 2005. Las líneas sólidas representan los datos tomados al amanecer y la línea de puntos corresponden a los datos tomados al medio día

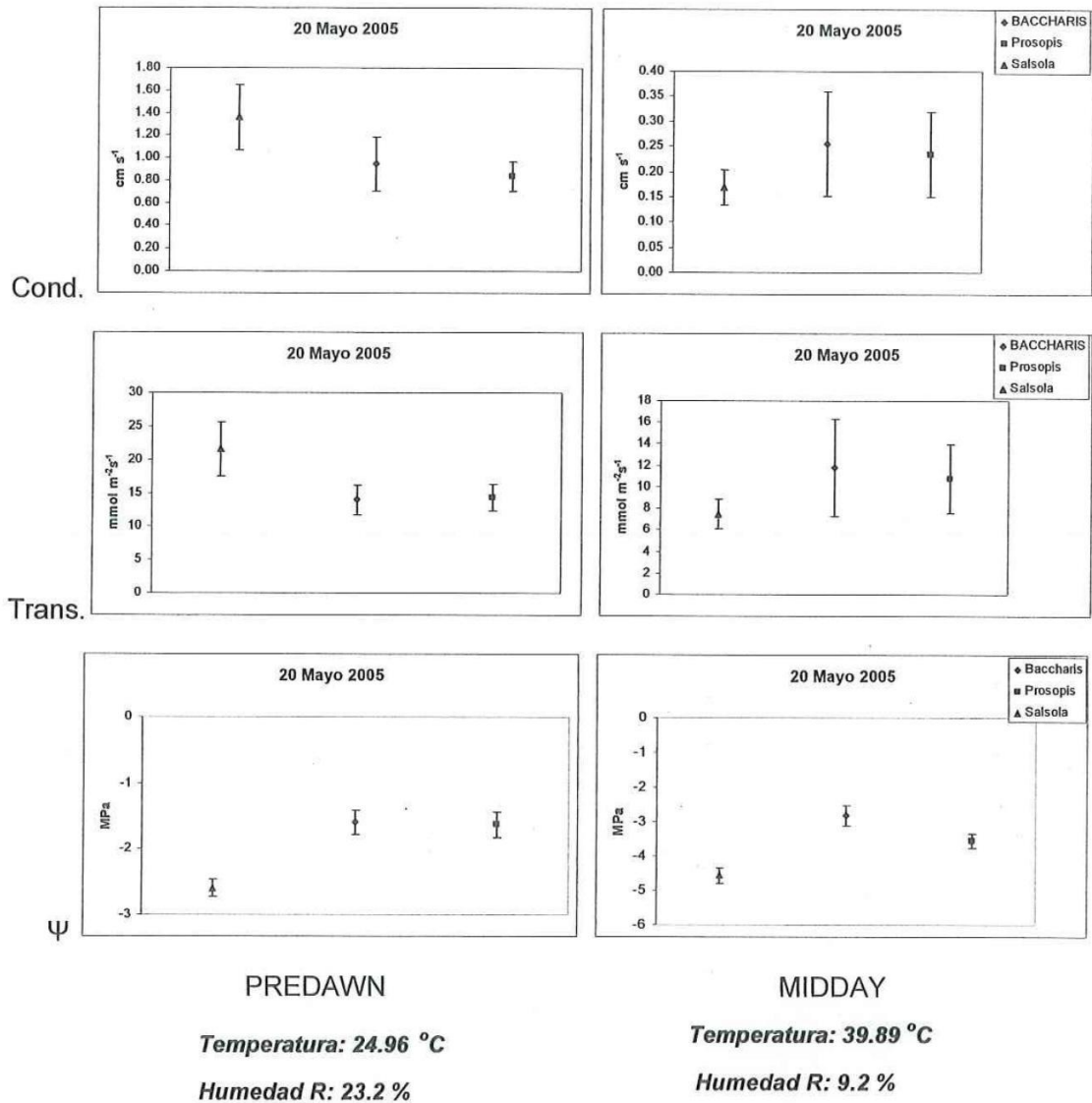


Figura 1.8 Mediciones de potencial hídrico, transpiración y conductancia estomática tomadas el 20 de mayo del 2005, los datos se tomaron al amanecer y al medio día. Debajo de cada grafico se muestran los datos de temperatura y humedad.

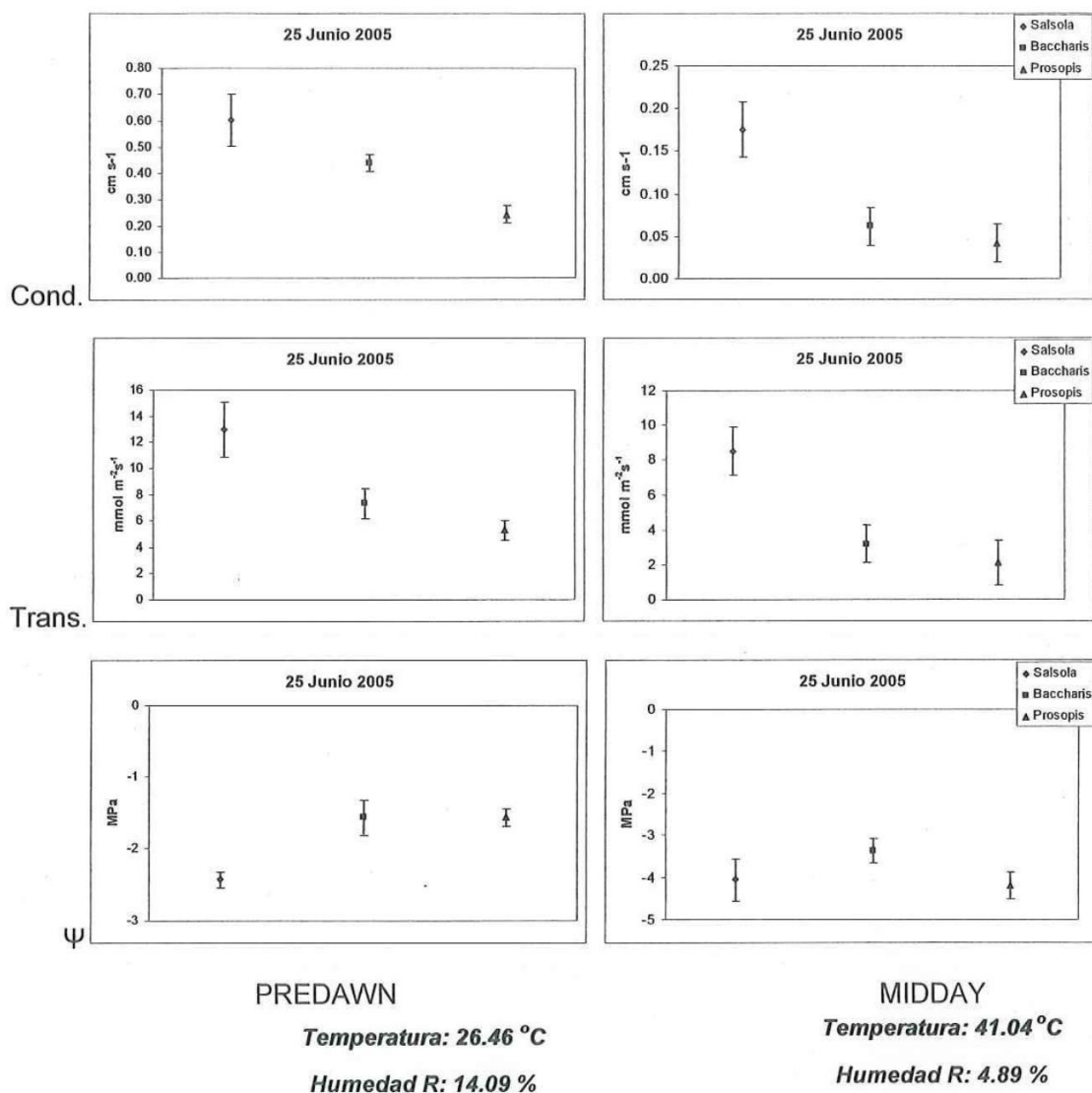


Figura 1.9 Mediciones de potencial hídrico, transpiración y conductancia estomática correspondientes al 25 de junio del 2005, los datos se tomaron al amanecer y al medio día. Debajo de cada grafico se muestran los datos de temperatura y humedad.

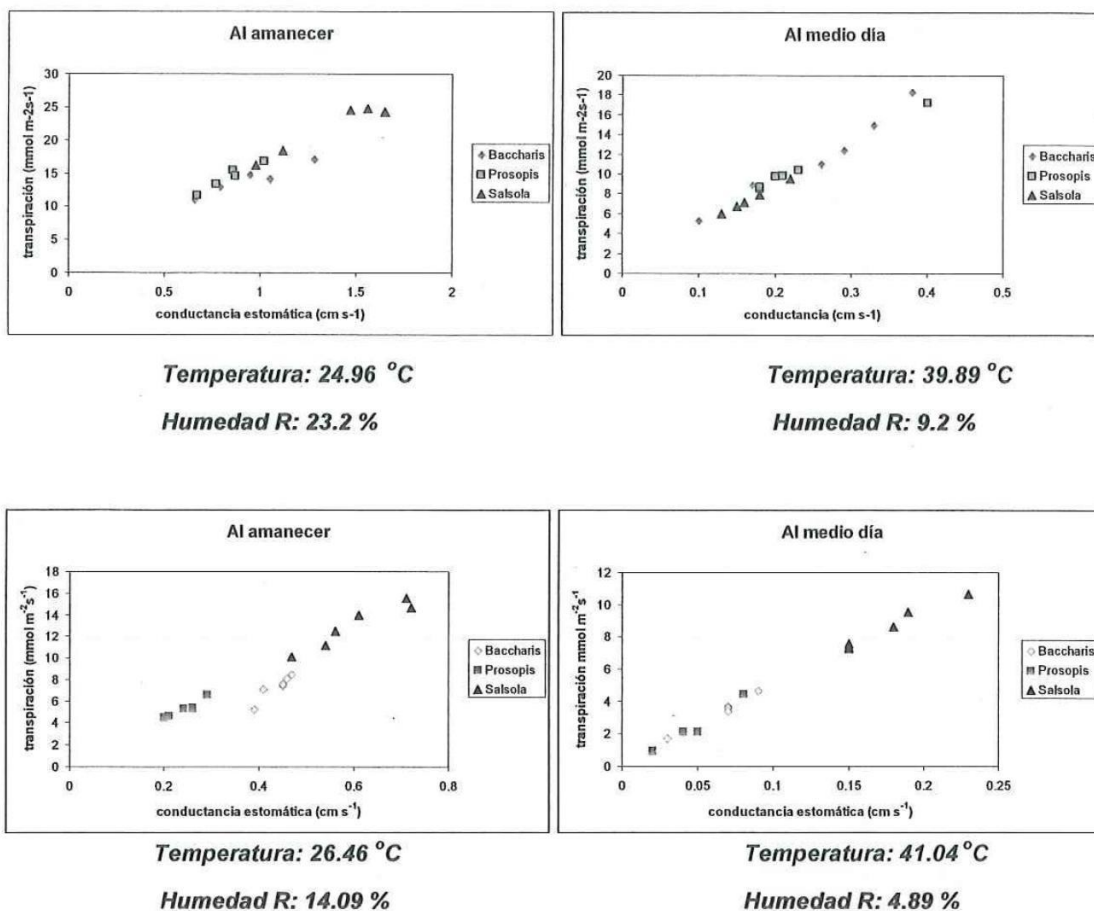


Figura 1.10 Tasa de pérdida de agua de *Baccharis*, *Prosopis* y *Salsola*, en relación a la conductancia estomática, arriba se muestran los datos del 20 Mayo del 2005, abajo los datos del 25 Junio del 2005.

#### IV. 6 Tratamiento de protección y tratamiento de bordos e hileras

A excepción del mes de Octubre del 2004, en los siguientes muestreos se registraron menores porcentajes de mortalidad para el tratamiento de plantas protegidas con plástico (Figura 1.11, izquierda). De esta forma, se detectaron diferencias significativas en mortalidad entre tratamientos con y sin protección, con un valor de  $P < 0.05$  para los meses de Febrero ( $p = 0.0012$ ,  $\text{Chi}^2 = 10.45$ ), Agosto ( $p = 0.0003$ ,  $\text{Chi}^2 = 13.31$ ) y Junio ( $p = 0.0003$ ,  $\text{Chi}^2 = 13.04$ ) del 2005, demostrándose que el uso de esta estrategia disminuyó la mortalidad en plantas (Figuras 1.11 izquierda y Tabla 1.3). Probablemente esto se debió a que la estrategia disminuyó la depredación durante Octubre; además, la sombra proyectada por el plástico pudo haber tenido un efecto de retención de humedad y aminorar el efecto de las bajas temperaturas durante el invierno.

En lo que respecta al porcentaje de plantas depredadas, se detectó una diferencia significativa para el mes de Octubre del 2004 ( $p = 0.0002$ ,  $\text{Chi}^2 = 13.43$ ). Se pudo observar que el proteger a las plantas con plástico tuvo un efecto positivo en cuanto a la disminución de la depredación, al menos al principio del experimento. Para el mes de febrero el porcentaje de depredación fue ligeramente mayor en plantas protegidas; sin embargo, esto no representó una diferencia significativa ( $p = 0.466$ ,  $\text{Chi}^2 = 0.53$ ) (Figuras 1.11 derecha y Tabla 1.3). Lo anterior sugiere nuevamente que durante el invierno la depredación aumenta en forma intensa, incluso sin diferenciar plantas que cuentan o no con protección de plástico; es decir, el efecto fue homogéneo entre tratamientos. Sin embargo, el cambio en el porcentaje de depredación de Octubre del 2004 a Febrero del 2005 fue mayor para el tratamiento con protección contra herbívoros yendo de 22.51% a 63% (Figura 1.11 derecha). Lo anterior indica que el usar la estrategia de bolsas de

plástico para protección contra depredación resultó ser una estrategia parcialmente exitosa, ya que solo funcionó durante el primer mes de establecidos los trasplantes.

Plantar en bordos e hileras tuvo una incidencia en el porcentaje de mortalidad del mes de Febrero. Se detectó una diferencia significativa para la fecha antes mencionada ( $p=0.0346$ ,  $\text{Chi}^2=4.47$ ) (Figuras 1.12 y Tabla 1.3), de tal forma que podemos decir que la estrategia de utilizar hileras fue mejor en términos de disminución de la mortalidad en esta fecha. Por otra parte, el utilizar bordos resultó ser una mala estrategia en lo que respecta al problema de la depredación. La depredación fue mayor en bordos que en hileras en los dos muestreos, sin embargo, sólo para el mes de Febrero del 2005 se observaron diferencias significativas entre estos tratamientos ( $p=0.0097$ ,  $\text{Chi}^2=6.69$ ) (Figuras 1.12 y Tabla 1.3), lo cual indica que la depredación fue significativamente mayor en bordos que en hileras. Esto pudo haber sido debido al fácil acceso por los depredadores a los trasplantes colocados en bordos, ya que a diferencia de los trasplantes colocados en hileras, no estaban protegidos por la vegetación presente.

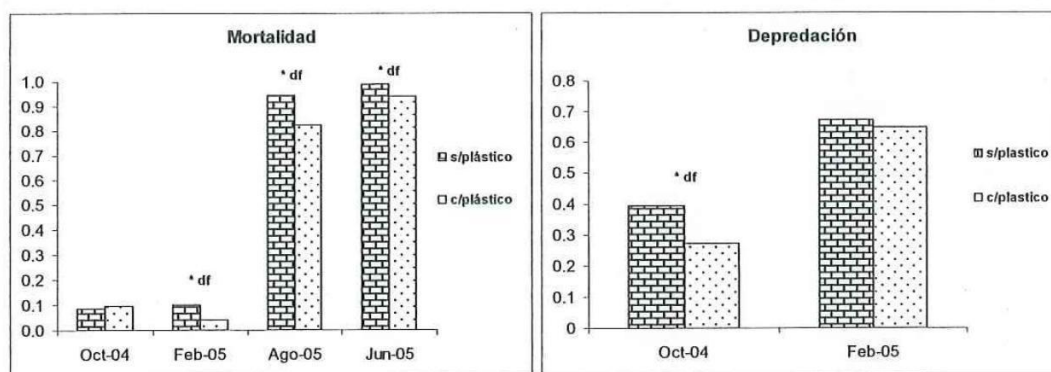


Figura 1.11 Diferencias en mortalidad y depredación por fechas entre los tratamientos con y sin plástico protector.

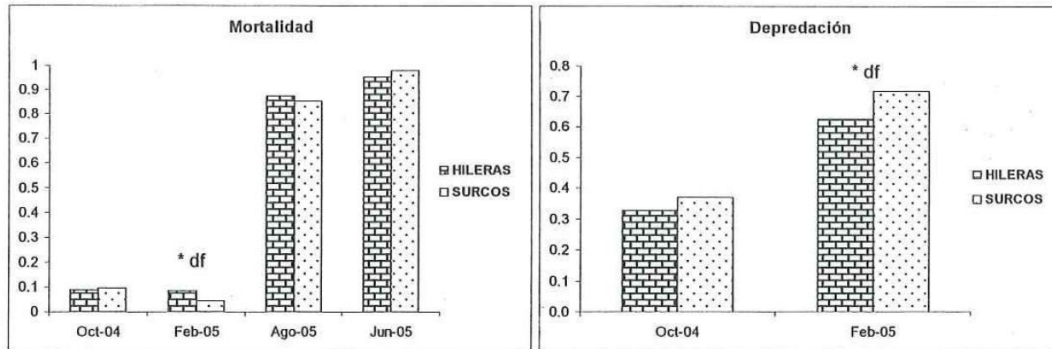


Figura 1.12 Diferencias en mortalidad y depredación por fechas, entre los tratamientos bordos e hileras.

Tabla 1.3 Valores de p para la prueba de chi- cuadrada de las diferencias entre tratamientos en mortalidad y depredación de mezquite. Los valores en negritas representan aquellos tratamientos por fechas cuyas diferencias resultaron significativas. El signo\* representan ausencia de datos.

FECHA	TRATAMIENTO	MORTALIDAD		DEPREDACION	
		Chi <sup>2</sup> (df=1)	P	Chi <sup>2</sup> (df=1)	P
Oct-04	Protección	0.33	0.5641	<b>13.43</b>	<b>0.0002</b>
Feb-05	Protección	<b>10.45</b>	<b>0.0012</b>	0.53	0.4660
Ago-05	Protección	<b>13.31</b>	<b>0.0003</b>	*	*
Jun-05	Protección	<b>13.04</b>	<b>0.0003</b>	*	*
Oct-04	hileras y surcos	0.24	0.6208	1.49	0.2229
Feb-05	hileras y surcos	<b>4.47</b>	<b>0.0346</b>	<b>6.69</b>	<b>0.0097</b>
Ago-05	hileras y surcos	0.35	0.5518	*	*
Jun-05	hileras y surcos	3.68	0.0551	*	*
Oct-04	Bcc y Sk	2.88	0.0897	<b>58.77</b>	<b>0.0000</b>
Feb-05	Bcc y Sk	<b>6.34</b>	<b>0.0118</b>	0.32	0.5730
Ago-05	Bcc y Sk	<b>22.15</b>	<b>0.0000</b>	*	*
Jun-05	Bcc y Sk	1.81	0.1788	*	*

## V DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal logro de este estudio, fue el documentar que la depredación, y no solamente la limitante de agua es un elemento importante en la restauración en zonas áridas.

Durante los primeros cinco meses de este experimento se tuvieron altos porcentajes de sobrevivencia (Figura 1.4). Esto pudo haber sido motivado gracias a las condiciones de pulsos de precipitación y temperaturas moderadas registradas entre el lapso del trasplante y las dos primeras fechas de muestreo, de hecho los primeros cinco meses después del trasplante fueron los mejores en cuanto a precipitación durante todo el experimento (Figura 1.3).

Contrario a la mayoría de los estudios donde se le da un mayor peso a la importancia del agua que al efecto de las interacciones abióticas en la restauración, en este caso los resultados muestran que las interacciones bióticas, como la depredación y el uso de los recursos juega un papel muy importante, al restringir el establecimiento de los trasplantes. Por citar un ejemplo McAuliffe, (1986) encontró en su estudio que la herbivoría resultó ser una limitante importante en el establecimiento de plántulas de *Cercidium microphyllum*, ya que sólo el 8.5% de los individuos muertos reportados en su artículo no presentó daños por herbivoría.

En este caso, las consecuencias de la depredación también se manifestaron fuertemente, sobre todo en el primer invierno después del trasplante; de tal manera que, a cinco meses del trasplante inicial se tenía una depredación de aproximadamente el 60% del total de las plantas, lo cual trajo como consecuencia que el 60% de los trasplantes de *Prosopis velutina* entraran en una condición poco favorable al primer período de sequía, el cual duró cinco meses. Durante los periodos de verano, el estrés debido a las altas temperaturas y baja humedad relativa, aunado a los largos plazos de sequía parecieron

ser los principales detonantes en la mortalidad de los trasplantes; sin embargo, el resolver sólo la problemática del agua sin atender la depredación hace los esfuerzos vanos tanto en tiempo como financieramente.

La diferencia estructural entre sitios pudo haber favorecido al aumento de la depredación de plántulas en "Bcc" con respecto al sitio "Sk" al principio del experimento. El sitio "Bcc" debido a su mayor estructura de altura y cobertura vegetal pudo haber representado un sitio más seguro para los depredadores (liebres), teniendo como consecuencia una mayor incidencia en la depredación de plántulas durante el primer mes del experimento. Por otro lado, *Salsola kali* al principio pudo haberse protegido contra la depredación porque es espinoso, y posteriormente, durante el invierno, cuando *Salsola kali* se seca, las plantas de mezquite quedan más expuestas. Como cambia la estructura del cultivo se afecta todo el sitio y por esto es más evidente el efecto de la depredación en el sitio de "Sk" en el periodo de Octubre del 2004 a Febrero del 2005. La escasez de alimento a nivel local durante los meses de invierno, así como la vulnerabilidad y disponibilidad de los trasplantes como único alimento, parecen ser los causantes del alto índice de depredación en ambos tratamientos.

Aunque el aumento en la depredación de Otoño a Invierno se manifestó de una forma más evidente en el sitio "Sk" que en "Bcc" los muestreos nos muestran un mayor porcentaje de sobrevivencia en el sitio "Sk" para el muestreo de Febrero, durante este lapso de tiempo la especie *Salsola kali* se encuentra sin actividad, mientras que *Baccharis sarathroides* continua activa. De esta forma podemos atribuir la diferencia en sobrevivencia entre sitios a la posible presión de competencia ejercida por parte de *Baccharis sarathroides* hacia los trasplantes de *Prosopis sp.*

La literatura sugiere que durante los meses de períodos secos cuando las herbáceas asociadas a una alta disponibilidad de agua son menos frecuentes, el Mezquite es una

alternativa de dieta para los herbívoros de talla media (Mares *et al.* 1977) tomado de Portillo *et al.*, 1996). Los resultados de alta depredación parecen coincidir con los de McAuliffe (1986) quién en un estudio desarrollado en un periodo de siete meses reportó un 80.3% de depredación en plántulas de *Cercidium microphyllum* bajo condiciones naturales.

La propuesta de utilizar la estructura sucesional como estrategia de restauración tiene ventajas y desventajas:

A once meses del trasplante, aún y con la presión a la que se encontraban sujetas las plantas en cuanto a depredación y sequía se tuvo aproximadamente el 18% de sobrevivencia en todo el experimento (Figura 1.4).

En los meses de Febrero y Agosto del 2005, el sitio "Sk" resultó ser el que tuvo mayor sobrevivencia (Figura 1.4). ¿Por qué se presentó una menor sobrevivencia durante este periodo en el sitio Baccharis? Es posible que la mayor actividad en uso de agua de la especie *Baccharis sarathroides* durante el invierno, y el hecho de que *Salsola kali* no esta activa durante este período podría explicar parte de estos resultados de sobrevivencia.

No obstante, al final del experimento el tratamiento "Bcc" fue la mejor estrategia entre los dos sitios propuestos (figura 1.4), probablemente como consecuencia a las diferencias estructurales entre sitios, ya que como se explicó anteriormente al parecer las condiciones microclimáticas pudieron ser más favorables en el sitio "Bcc". Del mismo modo, la evidencia de una mayor tasa de pérdida de agua y estrés observada en *Salsola kali* cuando esta se encontraba activa, sugiere que probablemente los trasplantes colocados en este sitio estuvieron sujetos a una menor disponibilidad de agua. Aunado a la depredación, el comportamiento fisiológico de *Salsola kali* parece haber contribuido al resultado final de 1.48% de sobrevivencia de trasplantes de *Prosopis velutina*.

El status hídrico de las especies dominantes proporciona una idea del estrés al que estuvieron sometidos los trasplantes durante este periodo del experimento.

Los muestreos de potencial hídrico, conductancia estomática y transpiración hacen posible catalogar a *Salsola kali* como una competidora muy agresiva por el recurso agua (Figuras 1.7, 1.8, 1.9 Y 1.10). De esta forma, la mayoría de los trasplantes entraron debilitados debido a la depredación a los periodos de sequía, y aunado a que *Salsola Kali* presentó los valores más negativos de potencial hídrico, sugiere el nivel de estrés a la que se sometieron los trasplantes durante el estudio, reflejándose esto en una mayor mortalidad de los trasplantes de *Prosopis sp.* al final del experimento.

Si el sitio hubiera estado desnudo, probablemente los resultados serían aún más adversos ya que se perdería la protección ofrecida por la estructura de la vegetación en cuanto a herbivoría y microclima.

Aún con sólo el 2.68% de sobrevivencia al final del experimento, esta cifra fue mayor a otros experimentos de restauración. Gutiérrez *et al.* 2007 reportó sólo el 0.6% de sobrevivencia de *Prosopis chilensis* en sitios abiertos a la depredación y sin suministro de agua y un 1.48% de sobrevivencia para sitios abiertos a la depredación y con suministro de agua, mismo resultado que se obtuvo para el sitio "Sk" en este experimento.

La estrategia de utilizar bolsas para disminuir el efecto de los depredadores parece estar relacionado con la diferencia en depredación entre tratamientos que se dio durante el mes de Octubre 2004, la cual fue significativamente mayor ( $P < 0.0002$ ,  $\text{Chi}^2 = 13.43$ ) para los trasplantes no protegidos (Figura 1.11 y Tabla 1.3). Al parecer, el plástico protector funcionó como un dispositivo de engaño para los depredadores, lo cual ocasionó que estos no llegaran a los trasplantes protegidos sobre todo durante el inicio del experimento. Con el tiempo este efecto se redujo, ya que para Febrero (4 meses después)

no hubo diferencias significativas entre tratamientos, e incluso, hubo ligeramente una mayor depredación en los trasplantes protegidos.

El tratamiento de proteger con bolsas de plástico negro a los trasplantes tuvo un efecto significativamente positivo en la sobrevivencia de plantas durante la mayor parte del estudio. Este efecto se notó de forma evidente para los meses de febrero, agosto y junio del 2005, donde en los trasplantes protegidos se redujo la mortalidad en relación con los trasplantes desprotegidos (Figura 1.11). Además de la protección contra herbívoros, el plástico también permitió una menor pérdida de humedad por evaporación en la base de los trasplantes y mantuvo una mayor temperatura durante los meses de invierno.

En lo que se refiere a los trasplantes colocados en bordos e hileras, el efecto de la mortalidad se manifestó fuertemente durante Febrero del 2005 ( $p=0.0346$ ,  $\text{Chi}^2=4.47$ ) para los trasplantes colocados en hileras (Tabla 1.3). La evidencia de que *Salsola kali* es un activo competidor por el agua pudo haber afectado a los trasplantes colocados entre la vegetación (hileras). En cuanto a la depredación, dentro del lapso de Octubre del 2004 a Febrero del 2005, el efecto de esta fue significativamente mayor ( $P<0.0097$ ,  $\text{Chi}^2=6.69$ ) para los trasplantes colocados en bordos. De esta forma se puede concluir que colocar a los trasplantes entre la vegetación existente resulta ser una estrategia más exitosa para reducir la depredación que el utilizar bordos (Figura 1.12 y Tabla 1.3). Aparentemente, aunque la depredación fue mayor en bordos que en hileras, no se vio reflejada en la mortalidad. Posiblemente, el hecho de que en los bordos hay mayor humedad en los primeros 30 cm. del suelo (Figura 1.6 derecha) pudo haber influido en la tolerancia de las plantas transplantadas a la depredación.

El que la competencia afectara más a los trasplantes colocados en hileras, y la depredación a los trasplantes colocados sobre bordos, fue factor importante para que en el último muestreo no se encontraran diferencias significativas en la mortalidad entre

tratamientos ( $P>0.05$ ), resultando en 94.24% de mortalidad en hileras y 98.27% en bordos (Figura 1.12 y Tabla 1.3 ).

El hecho de utilizar bordos tal vez pueda funcionar de una mejor forma en sitios que cuenten con una menor sequía interestival. En lo que respecta a utilizar bordos como una estrategia de restauración en campos agrícolas abandonados de la Costa de Hermosillo puede tener desventajas, a menos que se disminuya efectivamente el efecto de la depredación.

Por todas las razones antes mencionadas se considera que utilizar la estructura sucesional de la vegetación en campos agrícolas abandonados puede ser una buena estrategia de manejo para prácticas futuras de restauración. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta un adecuado suministro de agua a los trasplantes durante las etapas de mayor estrés hídrico; de igual forma, se tiene que tomar en cuenta la protección de las plantas en contra de la herbivoría, sobre todo en etapas críticas como el período entre otoño e invierno.

La consideración de estas observaciones, el estudio de interacciones abióticas y bióticas inter e intraespecíficas, así como probar nuevas técnicas de restauración a partir de pequeños experimentos en el sitio de interés antes de comenzar el proyecto a una escala mayor, podrán ayudar a aumentar el éxito de futuros intentos de restaurar campos agrícolas abandonados.

## 2. USO DE PLANTAS NODRIZA PARA GERMINACIÓN

### I. INTRODUCCIÓN

El síndrome de planta nodriza (Franco y Nobel, 1988) se puede definir como el proceso mediante el cual algunas plantas adultas de una especie facilitan el establecimiento de plántulas de otras especies. El síndrome de planta nodriza parece ser clave en ambientes secos.

El efecto de facilitación de las plantas nodriza durante la temporada de crecimiento en ambientes áridos puede ser causado por diferentes mecanismos interrelacionados. Primero, la sombra puede proteger en contra de la alta temperatura e irradianza (Franco y Nobel 1988,1989; Valiente-Baunet y Ezcurra 1991; Vetaas 1992; Callaway 1992; Suzán *et al.* 1996). Segundo, como una consecuencia de la baja radiación y temperatura, la humedad del suelo debajo de las plantas nodriza es usualmente mayor y la transpiración más baja, mejorando el estatus hídrico de las plantas bajo el dosel (Soriano y Sala 1986; Aguilar y Sala 1994; Pugnaire *et al.* 1996; Wied y Galen 1998); además, las plantas nodriza pueden mejorar la disponibilidad de agua gracias al fenómeno de "levantamiento hídrico" (Richards y Caldwell 1987; Caldwell y Richards 1989; Dawson 1993). Tercero, las plantas nodriza pueden incrementar la disponibilidad de nutrientes en la zona radicular gracias a una acumulación de hojarasca y humedad (Franco y Nobel 1989; Callaway *et al.* 1991; Belsky 1994; Schlesinger 1996; Moro *et al.* 1997; Bisigato y Bertiller 1999), lo cual acelera el ciclo de nutrientes (Mazzarino *et al.* 1991)

Recientemente, se ha descrito el fenómeno de predistribución del agua en el suelo por las plantas. Este comportamiento fisiológico se presenta cuando las raíces de plantas freatofitas alcanzan el manto freático y elevan el agua a los lugares de crecimiento de las raíces localizadas en zonas de menor disponibilidad de agua en el suelo (Caldwell *et al.*

1998; Cadwell y Richards 1989; Richards y Cadwell 1987). Esta distribución del agua por las raíces de las plantas hacia diferentes zonas del subsuelo, no sólo permite la actividad y sobrevivencia de ciertas especies durante épocas de sequía prolongada, sino que pueden aumentar la probabilidad de establecimiento de las plántulas de especies desérticas (Castellanos *et al.* 2003a).

En el presente capítulo se planteó el tomar ventaja de los beneficios del efecto nodriza. En este sentido se diseñó un experimento para comparar la germinación de semillas de *Prosopis sp*, *Cercidium sp* y *Simmondsia chinesens* bajo dos especies nodriza, *Prosopis sp* y *Acacia sp*. La germinación en ambos tratamientos se comparó con los resultados observados en espacios abiertos. Para complementar la información del inventario de germinaciones se obtuvieron mediciones de humedad en el perfil vertical del suelo, así como la temperatura debajo de las plantas nodrizas.

La hipótesis que en este experimento se intenta probar se refiere al efecto microambiental que ofrecen las plantas nodrizas, así como la redistribución del agua en el suelo por especies de árboles, facilita el establecimiento de especies arbustivas.

## II. OBJETIVOS

### General

Analizar el efecto de las nodrizas en la germinación de especies utilizadas en la restauración ecológica (especies nodriza más importantes de los campos abandonados del desierto Sonorense: mezquite (*Prosopis sp.*), palo verde (*Cercidium sp.*) y jojoba (*Simmondsia chinesens*).

#### Específicos

1. Determinar el papel de la redistribución de agua en el suelo y de las especies con este comportamiento.
2. Efectuar el análisis y comparación de atributos fisiológicos como: potencial hídrico, conductancia estomática, tasas de transpiración y fluorescencia de las especies

### III METODOLOGIA

#### III.1 Sitio de estudio

Este estudio se realizó en los campos de cultivo abandonados, en el departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Estos campos tienen más de 30 años de abandono por falta de agua para su riego. El campo experimental se encuentra en el kilómetro 20 de la carretera Hermosillo – Bahía de Kino en las coordenadas 29° 01' 22.23" latitud norte 111° 08' 11.85" longitud Oeste.

#### III.2 Exclusiones y siembra para germinación bajo nodrizas

En el verano del 2006 se establecieron parcelas experimentales en la Escuela de Agricultura de la Universidad de Sonora. Las parcelas experimentales, fueron ubicadas debajo de árboles nodriza, mezquite (*Prosopis sp.*) y acacia (*Acacia sp.*). En estas parcelas se determinó el uso y redistribución del agua, de las plantas nodriza así como dos plantas anuales dominantes en verano después de las lluvias las cuales fueron *Cenchrus ciliaris* y *Portulaca oleracea* (verdolaga) se midió la humedad en el suelo y la

temperatura ambiente, así como también algunos parámetros ecofisiológicos identificados como los más importantes para las plantas de zonas áridas.

En los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre los primeros cuatro meses después de la colocación de la semilla, se tomaron diferentes mediciones a las plantas nodriza, como son el potencial hídrico de las especies, conductancia estomática y transpiración. El muestreo se hizo utilizando de tres a cinco hojas o ramas de cada una de los cinco individuos muestreados por especie.

El día 22 de Julio del 2006 se comenzó con la construcción de las primeras exclusiones, las cuales son pequeños "cercos" rectangulares de 1.5 x 3 x 1 m., los cuales fueron contruidos con malla hexagonal 1 x 1 sujeta a las esquinas por cuatro piezas de varilla corrugada de 3/8 (Figura 2.1). El objetivo de las exclusiones consistió en proteger de la herbivoría a los tratamientos de germinación establecidos dentro de cada uno de ellas. En total se construyeron 17 protecciones: 5 en acacias, 7 en mezquites y 5 en espacios intermedios. Dentro de cada exclusión se estableció una pequeña parcela de 1 x 1 mts, la cual fue dividida en 25 cuadros de 20 x 20 cm. De esta forma se obtuvieron cinco columnas las cuales se numeraron del 1 al 5 y cinco las filas desde la A hasta la E (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Diseño de los cuadros utilizados para colocar las semillas bajo las especies nodriza del desierto Sonorense

	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					
E					

Dentro de estos pequeños cuadros se colocaron semillas de de una de las tres especies seleccionadas: Mezquite (*Prosopis sp.*), Palo verde (*Cercidium sp.*) y Jojoba (*Simmondsia chinesisens*). Se sembraron 10 semillas de cada especie en 12 o 9 cuadros elegidos al azar, el número de cuadros sembrados por parcela dependieron del número de semillas disponibles por especie (Tabla 2.2). A todas las semillas se les aplicó un pre-tratamiento, el cual consistió en remojar el material en agua durante 24 horas, cambiando el agua a las doce horas.

Tabla 2.2 Distribución de semillas sembradas bajo diferentes condiciones de nodricismo. IE se refiere al espacio abierto utilizado como control.

Fecha siembra	Parcela:	cuadros con semilla
31/07/2006	Acacia 1	12
31/07/2006	Acacia 2	12
31/07/2006	Acacia 3	12
31/07/2006	Acacia 4	9
02/08/2006	Acacia 5	9
31/07/2006	IE1	12
31/07/2006	IE2	12
31/07/2006	IE3	12
31/07/2006	IE4	12
03/08/2006	IE5	9
31/07/2006	Mezquite 1	12
31/07/2006	Mezquite2	12
31/07/2006	Mezquite3	9
02/08/2006	Mezquite4	9
02/08/2006	Mezquite5	9
02/08/2006	Mezquite 6	9
02/08/2006	Mezquite7	9

Se realizaron cuatro muestreos de germinación los días 3 de Agosto, 12 de Agosto, 13 de Septiembre del 2006 y 5 de Junio del 2007, en los cuales se anotó la identificación de la parcela, la especie y el número de plantas germinadas.

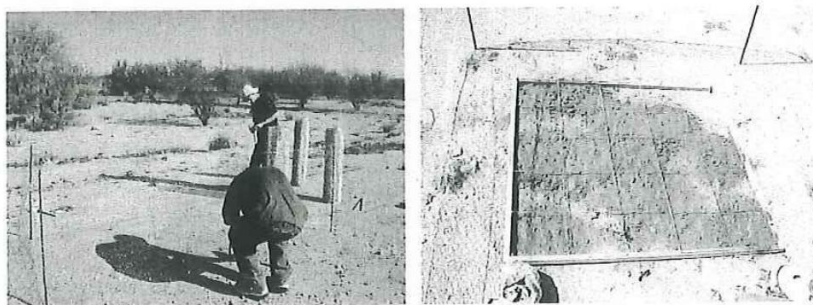


Figura 2.1 Construcción de exclusiones y colocación de semillas en cuadros.

### **III.3 Riegos**

Los tratamientos de germinación fueron regados las cuatro semanas de Agosto. Los riegos se hicieron en forma manual en un solo día de la semana, adicionando 12 lts por tratamiento. El agua se trasladó en automóvil desde un pozo ubicado a aproximadamente dos kilómetros del sitio experimental.

### **III.4 Mediciones de temperatura**

Con la finalidad de conocer las condiciones micro climáticas bajo las cuales se desarrolló el experimento de germinación, se tomaron medidas de temperatura bajo el dosel de las dos plantas nodriza utilizadas, que fueron mezquite y acacia además del testigo espacio abierto. Los datos se tomaron utilizando sensores de temperatura llamados hobos (StowAway® XTI Internal / External Temperature Logger); estos pequeños aparatos son programados para medir la temperatura a intervalos de tiempo definidos por el usuario.

Los datos de temperatura se tomaron durante las cuatro estaciones del año y se programaron para tomar la temperatura promedio a cada hora. Los datos obtenidos se utilizaron para obtener la temperatura promedio al día.

Debido a la disponibilidad de sensores durante el verano del 2006 solo se tuvieron datos debajo de mezquite y en espacio abierto, en otoño se colocaron sensores en mezquite, acacia y espacio abierto, por último, para invierno y primavera se colocaron sensores en espacio intermedio y acacia. Los datos fueron almacenados en una memoria interna y después descargados en una computadora para el análisis e interpretación.

### III.5 Humedad en el suelo (Gravimetría y TDR)

Con el objetivo de tener elementos que explicaran una posible diferencia en la germinación entre los distintos tratamientos propuestos en el experimento (nodrizas y testigo) se hicieron dos muestreos de humedad en el suelo. El tres de Agosto del 2006 se determinó la humedad en los primeros 20 centímetros del suelo en tres sitios diferentes: bajo acacia (N=5), espacio abierto (N=4) y bajo mezquite (n=7). El 29 de Agosto, a 26 días del primer muestreo se determinó de nuevo la humedad en los primeros 20 cm.

Como una de las actividades para identificar el fenómeno de redistribución hídrica en el suelo, se midió el porcentaje de humedad en un perfil vertical utilizando técnicas de medición TDR (Time Domain Reflectometry). El equipo utilizado fue el TRIME - T3/T3C Tube Access Probe (44mm) cuyo principio es generar un pulso de alta frecuencia (más de 1 GHz) el cual se propaga a través de unas placas de metal, generando un campo electromagnético a su alrededor, el cual es reflejado de regreso a la fuente. El tiempo de tránsito resultante (3ps...2ns) puede ser medido y así determinar la velocidad de propagación, lo cual depende del contenido de agua. El contenido volumétrico de agua es calculado y se muestra en la pantalla del dispositivo.

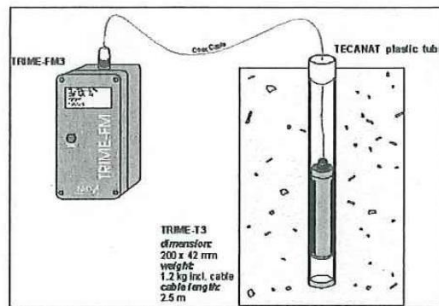


Figura 2.2 Equipo TRIME - T3/T3C para medir humedad en el suelo

Para la toma de datos de TDR fue necesaria la instalación cinco tubos de acceso de plástico TECANT. Los lugares donde se monitoreó la humedad del suelo fueron: dos bajo mezquites, uno bajo acacia y uno en espacio abierto que fue utilizado como control.

Una vez colocados los tubos de acceso del equipo TDR utilizado se midió la humedad en el suelo durante cuatro fechas: 21 de Octubre, 31 de Octubre, 10 de Noviembre y 5 de Junio, los primeros tres muestreos se realizaron el 2006 y el último en el 2007. La profundidad del perfil en el suelo varió en cada tratamiento en función del grado de dificultad con el que se hizo la excavación (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Ubicación y profundidad de los tubos de acceso utilizados para medir humedad en el suelo.

UBICACIÓN	PROFUNDIDAD
Acacia	65 cm.
mezquite 6	175 cm.
mezquite 7	125 cm.
espacio intermedio	100 cm.



Figura 2. 3 Mediciones del perfil de humedad en el suelo con el equipo TRIME - T3/T3C Tube Access Probe.

### **III.6 Mediciones fisiológicas**

El uso de agua por las plantas y su eficiencia en el continuo suelo-planta-atmósfera es afectado por las condiciones ambientales que afectan la física del proceso y las condiciones biológicas de las especies involucradas. Las fuentes de humedad en el suelo fueron monitoreadas y cuantificadas utilizando técnicas de TDR (Time Domain Reflectometry), y su utilización y efecto en las especies mediante el análisis del potencial hídrico, la conductancia estomática y tasas de transpiración de las especies bajo estudio. Dada la necesidad de lograr un buen establecimiento en las parcelas agroforestales diseñadas y debido a su tamaño, no se efectuaron las mediciones en plántulas, y sólo se hicieron en las especies nodrizas.

Se realizaron muestreos intensivos, durante el día, del comportamiento y del efecto de las condiciones ambientales sobre las relaciones hídricas de las especies utilizadas en las estructuras de cultivo. Durante cada fecha de muestreo, cursos diurnos de conductancia estomática y transpiración fueron medidos y relacionados con la humedad del suelo (TDR) y condiciones ambientales de presión de vapor de agua y temperatura.

#### **III.6.1 Medición de potencial hídrico en las plantas**

El potencial hídrico disminuye a medida que disminuye el contenido de humedad del suelo y aumenta la demanda evaporativa en la atmósfera. Por lo tanto se encuentra en un valor máximo antes de la salida del sol y uno mínimo a medio día, en estos momentos las lecturas representan (PMS) mejor la humedad del suelo.

Para realizar la medición de potencial hídrico a las especies en estudio, se utilizó la bomba tipo Scholander que mide el potencial hídrico de la planta en función del gradiente de potencial hídrico establecido con el suelo. Las unidades del potencial hídrico están

dadas en bares en la bomba de Scholander, sin embargo en este estudio se presentan en Mpa debido a que de esta forma se presentan los datos en la mayoría de los estudios donde se mide el potencial hídrico de las plantas.

Para medir el potencial hídrico, se cortó una rama u hoja, de las especies nodrizas *Prosopis sp* y *Acacia sp*, así como de las anuales *Cenchrus ciliare* (zacate buffel) y *Portulaca oleracea* (verdoaga) y se acopló a la bomba Scholander, se le aplicó la presión necesaria por medio de nitrógeno en la cámara y se observó en la parte superior del tallo, cuando en la parte superior de este se observó una película de agua se dejó de aplicar presión a la cámara y se anotaron los bares necesarios para la obtención de la película de agua en el tallo. Las mediciones se realizaron una vez al mes, la primera medición del día se tomó a las 5:00 a.m. cuando el estado hídrico del suelo está en equilibrio con el de la planta. La siguiente medición se tomó a las 2:00 p.m. cuando las plantas están sometidas al mayor estrés hídrico posible a causa de la temperatura, en esta toma se observó la diferencia de la presión requerida por las plantas para la obtención de la película de agua en el tallo, a causa la temperatura ambiente y el estrés de las plantas.

### **III.6.2 Mediciones de porometría en las hojas de los árboles**

El porómetro es un instrumento preciso para medir el intercambio del agua ( $H_2O$ ) de las hojas con la atmósfera, en un intervalo de tiempo corto, de 10 a 20 segundos por lectura. El Porómetro LI-1600, toma un amplio rango de mediciones de resistencia estomática, temperatura de la hoja, transpiración y radiación fotosintética activa (*LI-COR*).

Con este instrumento se midieron diversos parámetros fisiológicos en las especies nodrizas como son: temperatura de la hoja, temperatura ambiente, humedad relativa, conductancia estomática, transpiración e irradiación fotosintéticamente activa. Para la

medición se utilizaron cinco árboles de cada una de las tres especies y se tomaron de dos a cuatro hojas de cada individuo, realizando mediciones independientes para cada una de las hojas, las cuales se colocaron en el Porómetro, por un tiempo de 20 a 30 segundos, tiempo suficiente para que el equipo registrara los datos y fueran anotados.

## IV. RESULTADOS

### IV.1 Caracterización del microclima bajo dosel de plantas nodriza

Para los meses de Agosto a Noviembre del 2006, se puede observar en la Figura 2.4 que las temperaturas promedio diarias siempre fueron mayores bajo el dosel de mezquite, comparado con la temperatura en acacia y espacio abierto. En el caso de *Acacia*, la mayoría de las temperaturas promedio diarias fueron menores a las registradas en los otros dos tratamientos, y sólo durante los primeros días de Octubre el sensor ubicado debajo de *acacia* registró datos ligeramente mayores al espacio abierto. En la tabla 2.4 se pueden observar un promedio mensual de las diferencias diarias en las temperaturas registradas durante Agosto, Septiembre, Octubre y primeros 14 días de Noviembre. Para los meses de Agosto y Septiembre sólo se registró la diferencia entre el espacio abierto y mezquite siendo esta de 0.65 y 0.73 °C siempre mayor bajo el dosel de mezquite en Agosto y Septiembre respectivamente. En los meses de Octubre y Noviembre se tuvieron los tres puntos de comparación (acacia, mezquite y espacio abierto), en ambos meses la diferencia en los datos obtenidos fue mas grande entre acacia y mezquite, y en Noviembre se presento la mayor diferencia con 1.33 °C mas caliente la temperatura promedio diaria debajo del dosel de mezquite que en acacia. Por otra parte, la menor diferencia se manifestó durante el mes de Octubre entre espacio abierto y acacia siendo 0.17 °C mayor la temperatura en espacio abierto.

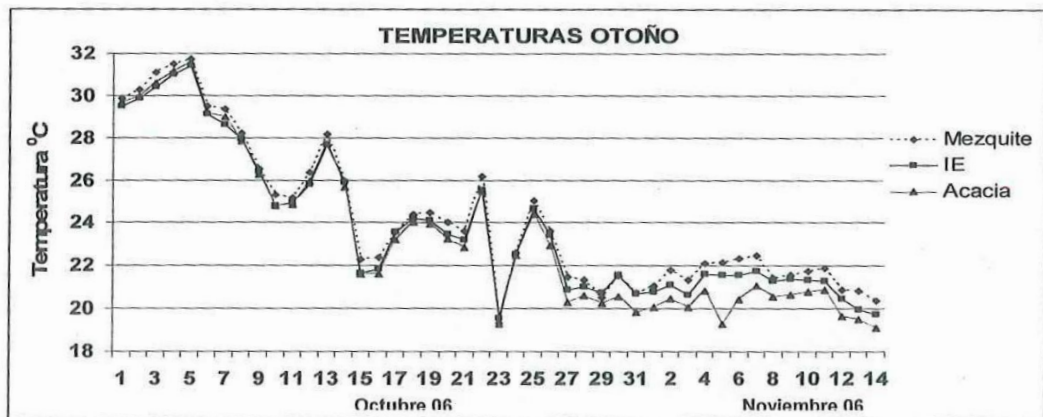
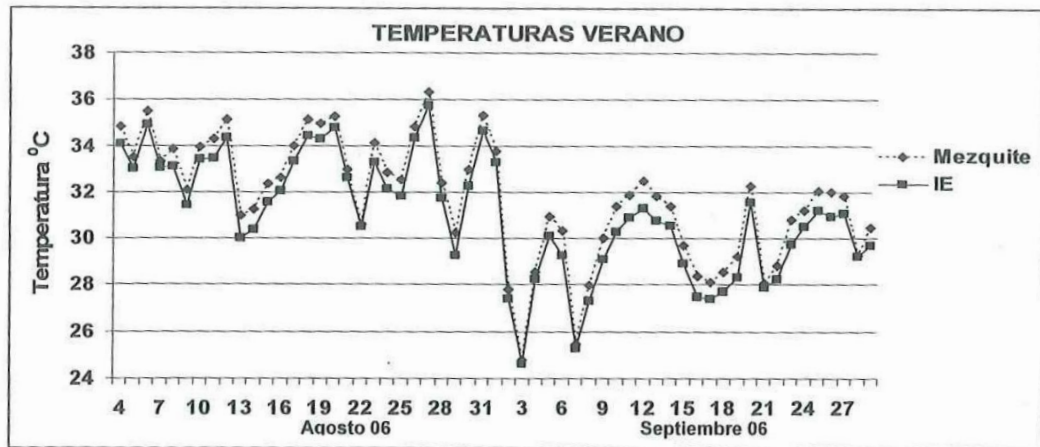


Figura 2.4 Temperaturas de Verano y Otoño bajo las plantas nodriza y en espacio abierto

Tabla 2.4 Diferencia en temperatura °C entre nodrizas y espacio abierto

Mes	Diferencia Mezquite-acacia	Diferencia IE-mezquite	Diferencia IE-acacia
Agosto	-	+ 0.65 mez.	-
Septiembre	-	+ 0.73 mez.	-
Octubre	+0.50 mez.	+0.33 mez.	+0.17 IE
Noviembre	+1.33 mez.	+0.54 mez.	+0.79 IE

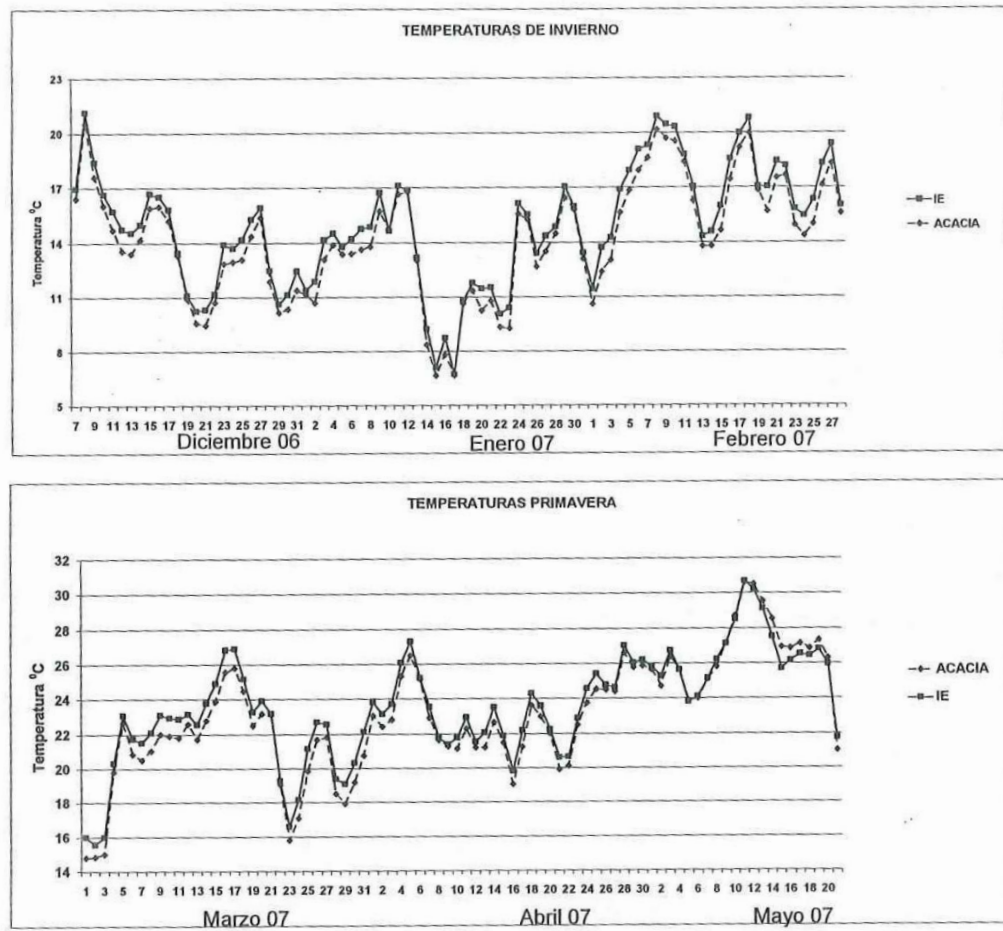


Figura 2.5 Temperaturas de invierno y primavera en la nodriza acacia y el espacio abierto (control).

#### IV. 1.1 Gravimetrías bajo dosel y fuera

Como se puede observar en la figura (2.6), el mayor porcentaje promedio de humedad en los primeros centímetros del suelo se registró bajo la influencia del dosel de acacia siendo mayor hasta 3.86% que el tratamiento de mezquite y 4.27% que el espacio abierto, sin embargo también este tratamiento presentó la mayor desviación estándar en sus datos.

El 29 de Agosto, a 26 días del primer muestreo se determinó de nuevo la humedad en los primeros 20 cm. En esta ocasión el mayor porcentaje de humedad se observó bajo el dosel de mezquite, siendo 1.1 % mayor que en acacia (figura 2.6).

Al comparar el contenido de humedad en los primeros 20 cm. del suelo entre las dos fechas de muestreo; 03 de Agosto y 29 de Agosto del 2006, se puede observar una importante disminución en el porcentaje de humedad en el suelo en acacia con una diferencia de 6.55 % de humedad de una fecha a otra. Para mezquite y espacio abierto hubo una disminución en la humedad del suelo de 1.68 y 1.92 % respectivamente. Basándose en estos resultados se puede decir que bajo el dosel de mezquite se mantuvo más constante la humedad durante un periodo de 26 días.

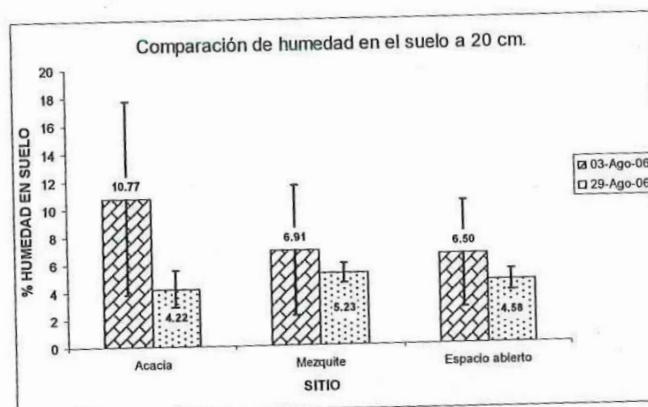


Figura 2.6 Contenido Gravimétrico de agua en los primeros 20 cm del suelo bajo los tratamientos donde se colocaron las semillas.

#### **IV. 1.2. Humedad por tratamiento en el perfil vertical del suelo**

Utilizando el equipo TDR, se tomaron datos de humedad en cuatro sitios distintos durante los meses de Octubre, Noviembre del 2006 y Junio del 2007. Como lo muestra las figuras (2.7 y 2.8), se puede observar la capacidad que tiene el mezquite de redistribuir y retener humedad en un perfil vertical en el suelo. En los muestreos del 31 de Octubre y del 10 de Noviembre del 2006 si se comparan los niveles de humedad a partir de los 40 cm. de profundidad en espacio abierto (IE) y mezquite (figura 2.8), se puede observar que hay un mayor contenido de humedad en espacios abiertos, lo cual indica un uso del recurso por parte del mezquite a esa profundidad, además en ambas fechas la humedad por arriba de los 40 cm. fue mayor para mezquite. Sin embargo, en los muestreos del 21 de Octubre del 2006 y del 5 de Junio del 2007 a la misma profundidad se observó una mayor humedad en mezquite que en el espacio abierto (figura 2.8), esto nos indica una redistribución de agua en el suelo por parte de mezquite.

Los datos de humedad en el perfil vertical del suelo en cada uno de los tratamientos que se muestran en la figura (2.7) muestran un comportamiento común: en el primer muestreo realizado el 21 de Octubre del 2006 la humedad en el perfil de 0-10 cm. fue del 0 % para todos los tratamientos, además esta fecha resultó ser la segunda más seca dentro de los primeros 30 cm. del perfil para todos los tratamientos, excepto para la repetición denominada mezquite 6, donde en la fecha antes mencionada se presentaron los menores datos de humedad de todas las fechas en los primeros 30 cm. del suelo.

La humedad en el perfil vertical del suelo en espacio abierto se comportó como sigue: el 21 de Octubre del 2006 la humedad en los primeros diez centímetros fue del 0%, a partir de los 20 a los 40 cm. la humedad estuvo dentro del rango de los 4.8 y 6.85 %, bajando a 1.05 % a los 60 cm. y terminando en 0% de los 80 a los 100 cm. de profundidad.

Para el segundo muestreo realizado el 31 de Octubre del 2006 se puede observar una recarga de humedad en todo el perfil del suelo, de tal forma que sólo durante esta fecha en espacios abiertos se registró un valor distinto al 0% dentro de los primeros diez centímetros, con un 4.25% de humedad. Hacia el 10 de Noviembre del 2006 siguió una desecación de los primeros treinta centímetros del perfil con respecto a la fecha anterior, mientras de los 40 cm. a un metro de profundidad la humedad se mantuvo dentro de los 8.5 y 9.7%, muy semejante a la registrada durante el 31 de Octubre del 2006, por último, el cinco de Junio del 2007 representó en general la fecha mas seca en espacio abierto, registrándose un 0% de humedad dentro de los primeros 20 cm. del suelo, de los 30 cm. a un metro de profundidad la humedad que se registro estuvo dentro del rango del 1.65 y 2.8 % concentrándose la mayoría de esta de los 40 a los 60 cm. de profundidad. La mayor concentración de humedad en el espacio intermedio se presentó dentro de los primeros 30 cm. de profundidad, exceptuando el 5 de Junio del 2007.

En el tratamiento de acacia dentro de los primeros 30 cm. del suelo se presentó un comportamiento similar al del espacio intermedio y bajo el tratamiento mezquite 7, aunque de una forma más clara. Al igual que los tratamientos antes mencionados la primer fecha de muestreo resultó ser la segunda más seca, siguiendo para el 31 de Octubre del 2006 una recarga de humedad de los 0 a los 30 cm. de profundidad, desecándose el suelo en un promedio de 3.2% cada 10 cm. para el 10 de Noviembre del 2006, terminando el 5 de junio del 2007 como la fecha mas seca dentro de este perfil. En lo que respecta al perfil de profundidad de los 45 cm., los resultados fueron a la inversa de los primeros 30 cm. antes descritos, aquí la mayor humedad se registró durante Junio con 2.75% y la menor en el muestreo del 31 de Octubre con 0%, a la profundidad de 65 cm. durante todas las fechas se tuvo el 0% de humedad. De la misma manera que en espacio intermedio la mayor

concentración de humedad en el tratamiento acacia se registró en los primeros 30 cm. del suelo.

Para el tratamiento mezquite 7 dentro de los primeros 30 cm. del suelo se presentó el mismo comportamiento anteriormente descrito para espacio intermedio y acacia, incluso con porcentajes de humedad muy similares entre tratamientos para todas las fechas de muestreo, aunque siempre se registraron valores ligeramente mayores para mezquite 7.

La diferencia del tratamiento mezquite 7 con los demás se observa mas allá de los primeros 30 cm. de profundidad. Se puede observar que a partir de los 45 cm. hasta lo más profundo del perfil el contenido de agua se mantiene más o menos constante, dentro de un rango entre los 8.9 y 4.85 % de humedad para los muestreos del 21 de Octubre, 31 de Octubre y 10 de Noviembre. El muestreo del 5 de Junio resultó ser el más seco dentro del perfil de los 45 a los 125 cm. con valores en el rango de los 5.33 y 3.16 % de humedad.

La diferencia más evidente en humedad en perfiles más profundos a 30 cm. se da entre acacia y mezquite, mientras que en acacia a partir de los primeros centímetros se da una disminución importante en el contenido de agua en el suelo, llegando incluso al 0% a los 65 cm. de profundidad, en el tratamiento de mezquite siempre se mantiene humedad en todo el perfil con una tendencia a disminuir paulatinamente conforme aumenta la profundidad. La mayor concentración de agua en el suelo en mezquite después de los primeros 30 cm. se presentó a los 45 cm. en cada una de las fechas de muestreo.

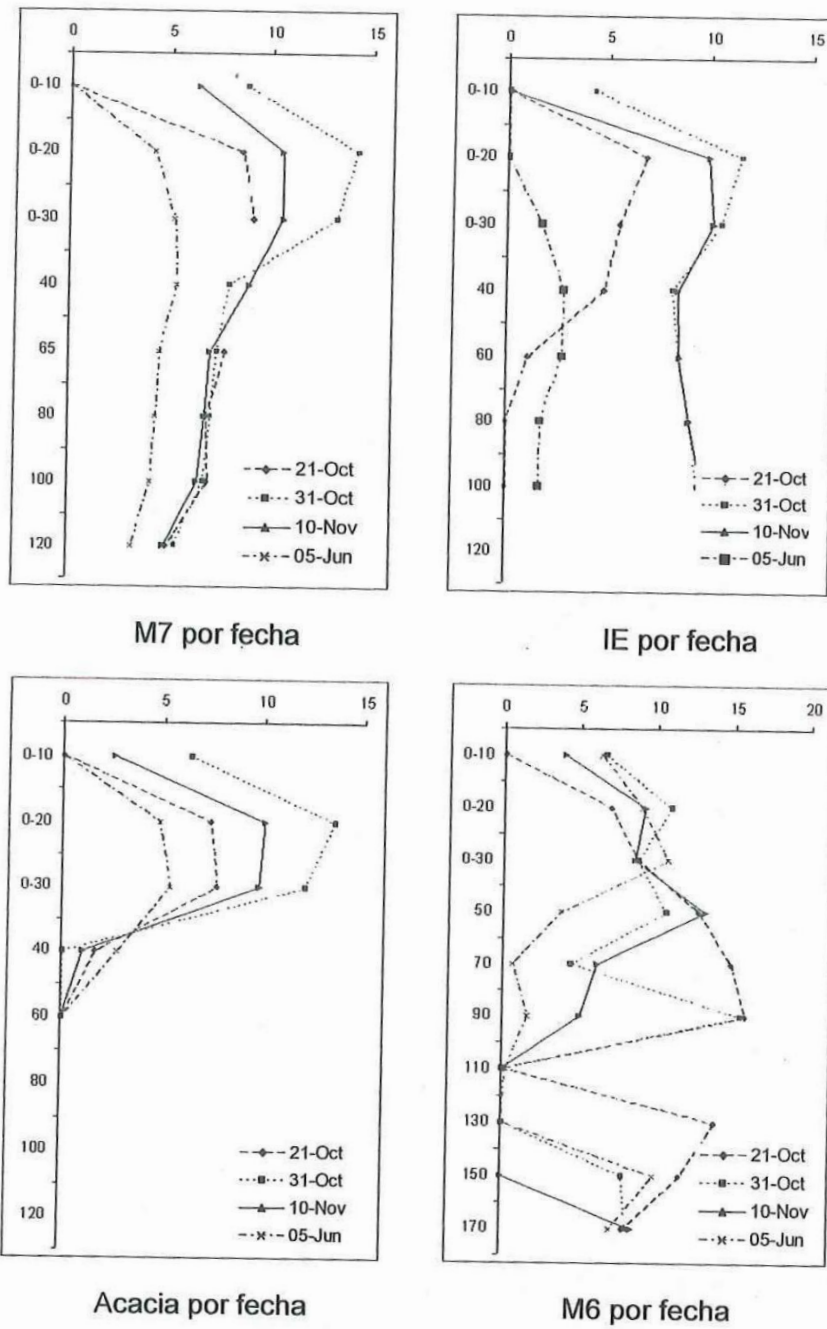
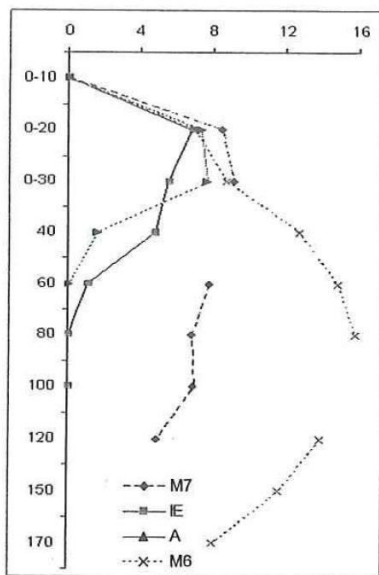
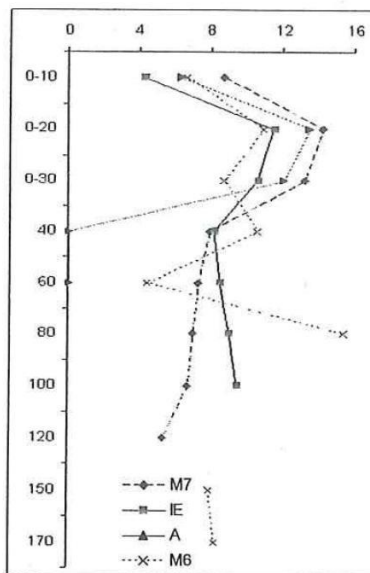


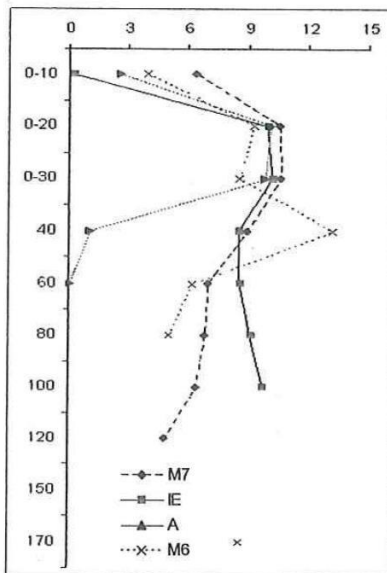
Figura 2.7 Perfil de humedad por tratamiento en cada uno de las fechas de muestreo. Los datos se obtuvieron con el sistema TDR.



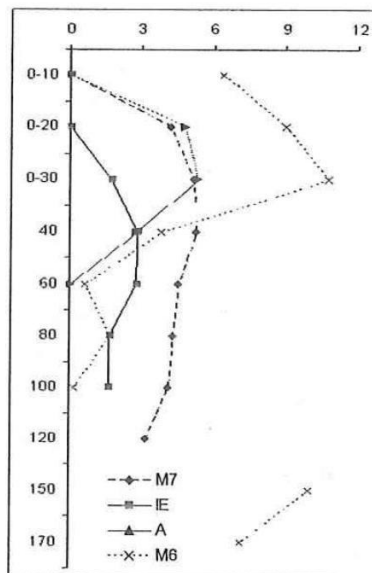
21 de Octubre



31 de Octubre



10 de Noviembre 2006



05 de Junio 2007

Figura 2.8 Perfil de humedad por fecha de cada uno de los tratamientos. Los datos se obtuvieron con el sistema TDR.

## IV.2 Parámetros fisiológicos de las plantas nodriza y dominantes

### IV.2.1 Potencial Hídrico

Los individuos de *acacia* siempre mostraron los valores más negativos de potencial hídrico al amanecer durante todas las fechas de muestreo (Figura 2.9). Se registraron valores cerca de los -2.4 MPa durante las dos fechas de Agosto del 2006, -2.2 Mpa en Septiembre del 2006 y por último durante el muestreo realizado el 31 de Octubre del 2006 el potencial hídrico al amanecer subió hasta -1.3 Mpa. En el caso de los individuos de mezquite los valores registrados fueron de -1.5 Mpa para el primer registro en Agosto, -2.36 Mpa para la segunda fecha de Agosto, -1.55 Mpa para Septiembre y por ultimo -1.12 Mpa para Octubre. Los valores menos negativos de potencial hídrico al amanecer se registraron en buffel y verdolaga durante Agosto y Septiembre. Durante las dos fechas de Agosto el mezquite tuvo los valores más negativos de potencial hídrico al medio día, mientras que en Septiembre fue buffel el que mostró este comportamiento.

En general los valores más negativos de potencial hídrico para los árboles de *acacia* y mezquite se registraron durante el muestreo del 29 de Agosto del 2006, mientras que para verdolaga y buffel estos se registraron durante Septiembre del 2006. Por otra parte, los valores más altos de potencial hídrico para todas las especies se registraron en el mes de Octubre, con valores por arriba de los -1.3 Mpa. El aumento en el potencial hídrico de las especies después del 29 de Agosto del 2006, coincide con las lluvias que se presentaron sobre todo durante la primera quincena de Septiembre del mismo año (tabla 2.7). De esta manera podemos concluir que después de las lluvias de verano se presentó una recuperación en cuanto al estrés hídrico al cual estaban sujetas las plantas nodriza.

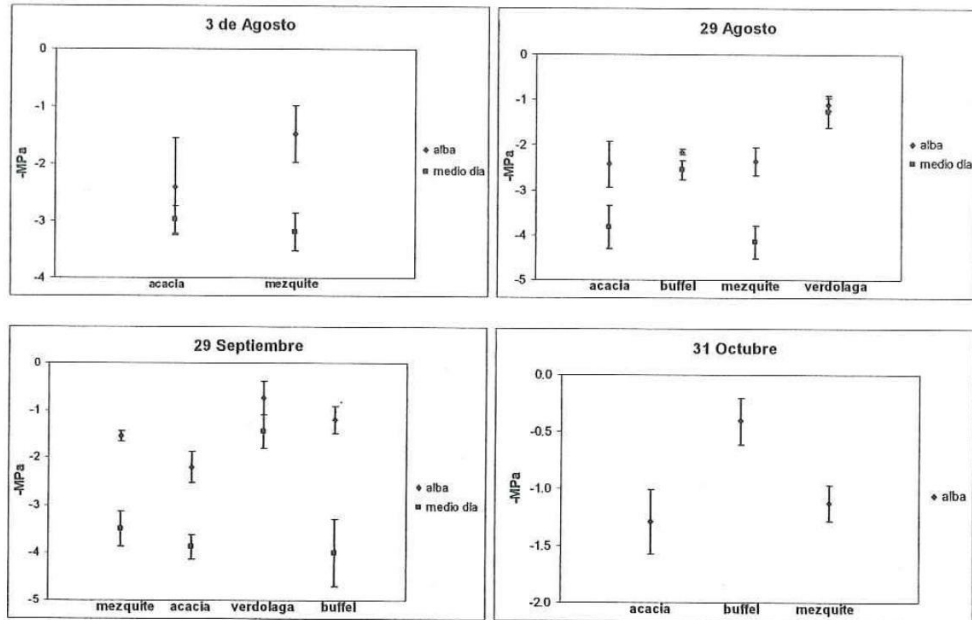


Figura 2.9 Potencial hídrico al amanecer y al medio día de las especies que estuvieron presentes en el sitio de restauración. Los datos se tomaron en cuatro fechas distintas en el 2006.

#### IV.2.2 Conductancia estomática y transpiración

Durante los muestreos se presentó un mismo patrón para todas las especies en cuanto a la conductancia estomática y la transpiración. Durante el mes de Agosto se tuvieron los registros más altos de los parámetros fisiológicos antes mencionados, un mes después, en Septiembre, se registraron los valores más bajos de las tres fechas de muestreo, subiendo los valores hacia el último registro tomado en Octubre después de las lluvias de Septiembre (Figura 2.10).

En los meses de Agosto y Octubre acacia fue la especie que exhibió los valores más altos de conductancia estomática con 2.03 y 0.93  $\text{cm. s}^{-1}$  respectivamente y transpiración con 34.15 y 12.19  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en el orden antes mencionado, mientras que en Septiembre verdolaga fue la que tuvo los valores más altos registrándose una conductancia de 0.26  $\text{cm. s}^{-1}$  y una transpiración de 3.96  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . El mezquite durante todas las fechas de

muestreo tuvo valores de conductancia estomática y transpiración menores a los de *acacia* mientras que buffel fue el que presentó los valores más bajos con excepción del mes de Agosto.

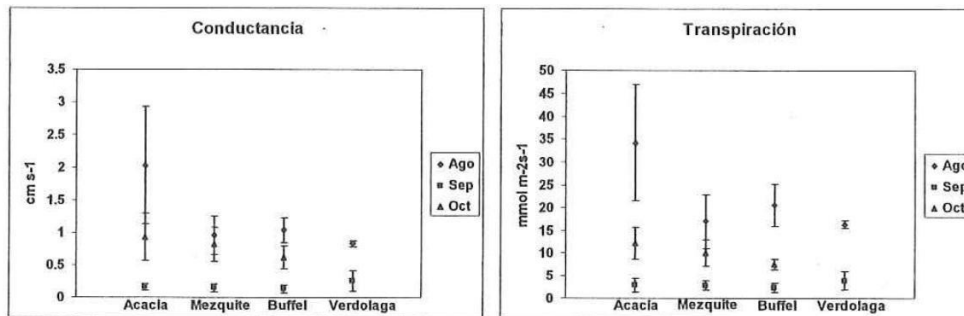


Figura 2.10 Transpiración y conductancia estomática de las especies dominantes en el experimento de restauración, durante tres fechas distintas en el 2006.

### IV.3 Germinación y sobrevivencia de plántulas

Se llevaron a cabo cuatro inventarios de plántulas en los tres tratamientos utilizados para evaluar la germinación de tres especies: palo verde, mezquite y jojoba. En la figura 2.11 se muestran el número total de plántulas (sin diferenciar especie) que se contaron por fecha en cada uno de los tres tratamientos. Para el mes de Septiembre se puede observar la gran diferencia que marcó el número de plántulas en espacio abierto con 105 registros, lo que equivale al 9.21% del total de semillas sembradas (tabla 2.5), mientras que en los otros dos tratamientos se contaron 45 plántulas en *Acacia sp.* y 31 en mezquite (*Prosopis sp.*), lo que representa el 4.17% y 2.25% respectivamente.

Para las nodrizas *Acacia sp.* y mezquite (*Prosopis sp.*) su pico de germinación se presentó en el muestreo del 12 de Agosto del 2006 con 54 y 32 plántulas respectivamente, siguiendo una caída en el número de plántulas hasta llegar al 5 de junio del 2007 (figura 2.11 y tabla 2.5). Las fechas donde se registró el menor número de plántulas fueron distintas para cada tratamiento: para mezquite fue el 3 de Agosto del 2006 con 19

registros (1.38%), para acacia fue el 5 de Junio del 2007 con 31 conteos (2.87%) y 12 de Agosto del 2006 fue cuando se contó el menor número de plántulas en el tratamiento de espacio abierto con 15 lo que representa el 1.32% (figura 2.11 y tabla 2.5).

En las dos primeras fechas de muestreo el tratamiento de *Acacia sp.* fue el que tuvo el mayor porcentaje de plántulas germinadas, mientras que para las últimas dos fechas de registros fue el espacio abierto el que mostró el mayor número y porcentaje de plántulas. Solo durante el 12 de Agosto del 2006 el tratamiento de mezquite tuvo un mayor porcentaje de plántulas respecto al espacio intermedio, sin embargo, el número y el porcentaje de plántulas germinadas bajo el dosel de mezquite nunca fue mayor al del tratamiento de acacia (figura 2.11 y tabla 2.5)



Figura 2.11 Inventario de plántulas en total por fecha y tratamiento o nodriza.

Tabla 2.5 Porcentaje de plántulas por fecha en relación al número de semillas colocadas en cada tratamiento.

Tratamiento	03-Ago-06	12-Ago-06	13-Sep-06	05-Jun-07
Acacia	3.06%	5.00%	4.17%	2.87%
Espacio abierto	1.75%	1.32%	9.21%	7.46%
Mezquite	1.38%	2.32%	2.25%	1.59%

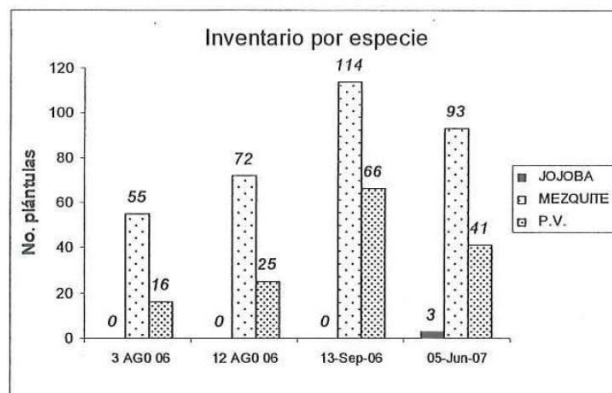


Figura 2.12 Inventario de plántulas por especie en cada fecha. Las iniciales P.V. representan a la especie *Cercidium microphyllum* (palo verde)

En la figura 2.12 se muestra el inventario de plántulas de las tres especies sembradas. No se reportó germinación para jobjoba durante los primeros tres inventarios, y sólo hasta el 5 de junio del 2007 se registraron tres individuos de esta especie. El número de plántulas de mezquite que se registró fue considerablemente superior que las de palo verde en cada fecha de muestreo. El 13 de septiembre del 2006 representó la fecha en donde se tuvo el mayor registro de plántulas tanto de mezquite como de palo verde, mientras que nueve meses después en Junio del 2007 se inventariaron 21 plantas menos de mezquite y 25 plantas menos de palo verde con respecto al ultimo inventario (Figura 2.12). El plazo entre el 12 de Agosto y el 13 de Septiembre fue donde se registró el mayor número de germinaciones, con 42 para mezquite y 41 para palo verde.

Para conocer las diferencias entre tratamientos y que especies tuvieron una mejor respuesta de germinación, se llevaron registros del número total de plantas por especie en cada uno de los tratamientos durante cuatro fechas. De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 2.6 se puede observar que de mediados de Agosto, a mediados de Septiembre hubo una cantidad importante de plántulas de mezquite y palo verde germinadas en los espacios abiertos (IE); incrementándose de 14 plántulas de mezquite

inventariadas el 12 de Agosto, a 61 plántulas el 13 de Septiembre; así mismo, para el caso de plántulas de palo verde contadas en espacio abierto (IE) el cambio fue de solamente una planta registrada el 12 de Agosto a 44 plántulas el 13 de Septiembre (Tabla 2.6).

Para el caso de los tratamientos nodriza mezquite (*Prosopis sp.*) y *Acacia sp.*, el número de plántulas registradas, tanto de mezquite como de palo verde, siempre fue mas bajo en *Acacia sp.* en las tres fechas de muestreo. El mejor tratamiento para la germinación de las especies de palo verde y mezquite fue el espacio abierto, y de las dos plantas nodriza utilizadas la que mostró mejores resultados para estas dos especies fue *Acacia sp.*, en lo que respecta a jobjoba las únicas tres plantas registradas se encontraron debajo de mezquite (*Prosopis sp.*).

Tabla 2.6 Numero de plántulas por especie en cada una de los tratamientos nodriza. Los conteos se hicieron en cuatro fechas distintas.

PARCELA	ESPECIE	3-Ago-06	12-Ago-06	13-Sep-06	05-Jun-07
ACACIA	Mezquite	23	39	30	24
ACACIA	Palo verde	8	13	15	7
ACACIA	Jobjoba	0	0	0	0
IE	Mezquite	19	14	61	51
IE	Palo verde	1	1	44	33
IE	Jobjoba	0	0	0	0
MEZQUITE	Mezquite	13	19	23	18
MEZQUITE	Palo verde	7	11	7	1
MEZQUITE	Jobjoba	0	0	0	3

## V. DISCUSIÓN

De acuerdo a Burquez (1999), en los ecosistemas áridos la sombra que proveen las plantas perennes crea islas de fertilidad, lo cual juega un rol importante en las dinámicas de la vegetación. El dosel de los árboles amortigua las condiciones microambientales de calor extremo y de congelamiento (Turner *et al.*, 1966; McAuliffe, 1988; Parker, 1988), incrementa la infiltración de agua y disponibilidad de nutrientes (Felker y Clark, 1981), y protege a las semillas y plántulas de la depredación (McAuliffe, 1984). Existe evidencia de que la sombra que proveen las plantas nodriza mejoran las tasas de sobrevivencia de sus progenies (Patten, 1978; Valiente-Baunet y Ezcurra, 1991), y las etapas más beneficiadas con el efecto nodriza son las de semilla y plántulas (Jordan y Nobel, 1981; Cody, 1993).

Tomando en cuenta la evidencia explicada anteriormente en el sentido de los beneficios ecológicos que provee el nodricismo, se planteó la hipótesis de que las semillas colocadas bajo el dosel de *Acacia sp.* y mezquite (*Prosopis sp.*) tendrían un mayor éxito de germinación en relación a las sembradas en espacios abiertos. Sin embargo, contrario a lo que se esperaba, al terminar el experimento el mayor número de germinaciones se presentó en sitios abiertos, y sólo durante los dos primeros muestreos los resultados indicaban que la nodriza *Acacia sp.* era el sitio más óptimo para la germinación (Tabla 2.5 y Figura 2.11). Después de la segunda quincena de Agosto el número plántulas registradas aumentó considerablemente en sitios abiertos mientras que en los sitios nodriza los conteos comenzaron a disminuir (Tabla 2.5).

Con la finalidad de explicar las posibles diferencias en germinación entre tratamientos se tomaron datos de humedad en el suelo, temperatura y parámetros fisiológicos de las especies nodriza en cuanto al uso del agua.

Los registros de humedad tanto por gravimetría como por TDR, en los primeros 40 cm. del suelo casi siempre se tuvieron menores porcentajes de humedad en espacio abierto (Figuras 2.6, 2.7 y 2.8) , con respecto a acacia y mezquite esto se puede indicar en el caso de mezquite principalmente lo cual nos puede indicar una mayor capacidad de retención de agua a esta profundidad debido a una menor evaporación, o bien una redistribución hídrica o "levantamiento hidrico" (Corak *et al*,1987; Richards & Caldwell 1987)

Como resultado de las observaciones de la humedad en el suelo, se puede observar que una plántula que se establezca en el espacio abierto podrá tener disponibilidad similar de agua en los primeros 40 centímetros que la existente bajo *Acacia sp.*, después de una lluvia. En este rango de profundidad, 0-40 cm., la plántula que se establece bajo *Acacia sp.*, competirá fuertemente por el recurso hídrico, sin embargo su disponibilidad de agua será mayor a una profundidad mayor a los 40 cm. y hasta la zona de recarga del agua del suelo. Esta profundidad seguramente variará dependiendo de la textura del suelo. Una plántula que se establece bajo mezquite (*Prosopis sp.*), según muestran los patrones de humedad en el suelo, podrá establecerse sin competencia considerable por humedad en el suelo, salvo bajo condiciones de mayor sequía (Junio) y en los primeros 60 cm. que aparentemente concentran un primer nivel de raíces de esta especie. Probablemente se establezca bajo mezquite (*Prosopis sp.*) porque las condiciones más limitantes para el establecimiento de plántulas sea luz y/o temperatura, como se muestran en los resultados de este estudio.

Los registros de temperaturas promedio diarias a medio metro del suelo, indican que en la nodriza mezquite (*Prosopis sp.*) durante el verano hubo una mayor temperatura con respecto a *Acacia sp.* y al espacio abierto, mientras que en *Acacia sp.* la mayor parte del año, incluso durante el invierno se tuvieron registros menores a los del espacio abierto, los

datos de temperatura descritos anteriormente contradicen a lo mencionado por Turner *et al.*, 1996; McAuliffe, 1988 y Parker, 1988, de que la sombra del dosel de los árboles amortigua las condiciones de altas temperaturas y congelamiento. La explicación del por que se registró una mayor temperatura bajo el dosel de mezquite que en espacio abierto va en el sentido de que en este último se presentó un mayor movimiento del aire; mientras que, el aire bajo el mezquite (*Prosopis sp.*) no tenía una circulación debido a que el dosel del árbol impedía el flujo de este. Además, los árboles de mezquite se encontraba rodeado del pasto *Pennisetum ciliare* (buffel), el cual además de impedir el flujo del aire aportaba vapor de agua debido a la transpiración. El poco flujo de aire, aunado al vapor de agua y el calor específico de esta pudo haber conservado el calor debajo del dosel de mezquite (*Prosopis sp.*). Por el contrario, la estructura del dosel de *Acacia sp.* permitió un mayor flujo de aire, de esta manera la sombra proyectada y el constante movimiento del aire puede ser la explicación de que bajo esta nodriza se haya reportado la menor temperatura durante el experimento.

De los dos tratamientos nodriza, se esperaba un mayor éxito de germinación debajo del dosel de mezquite (*Prosopis sp.*) dado sus propiedades de fijación de Nitrógeno y redistribución hídrica. Sin embargo, durante todo el experimento el sitio *Acacia sp.* resultó ser donde se tuvo el mayor registro de germinaciones tanto de palo verde como de mezquite (Tabla 2.6).

Dado que el mezquite (*Prosopis sp.*) mantiene una humedad en el suelo relativamente alta a profundidades de 0-50 cm., las menores tasas de germinación para semillas bajo mezquite (*Prosopis sp.*) nos pueden estar indicando también que pueden existir mecanismos de competencia inter e intraespecífica que disminuyen la probabilidad de germinación bajo estas condiciones, ó como sugieren los datos de humedad encontrados en este estudio, que otros factores como intensidad de luz, nutrientes, temperatura, o

diferencias en los patrones de uso de la humedad en el suelo, sean las limitantes. Esto nos indica que los estudios que se refieren al efecto positivo del nodricismo, no pueden ser generalizados para cualquier tipo de asociación nodriza-huésped, sino más probablemente estén dados para asociaciones específicas, en particular entre especies diferentes.

Los datos de potencial hídrico al amanecer fueron mas negativos en *Acacia sp.* y en este tratamiento también se presentó la mayor transpiración y la mayor conductancia estomática con relación a mezquite (*Prosopis sp.*). Las diferencias en humedad en el perfil vertical del suelo nos indican la capacidad del mezquite para redistribuir la humedad en el suelo; sin embargo, en este estudio esto no fue una característica que ayudara a marcar una diferencia a favor para mezquite en cuanto a la germinación.

El mayor número de plántulas en espacios abiertos, lo cual se observó durante el lapso del 13 de Agosto del 2006 al 13 de Septiembre del 2006 correspondió al período durante el cual se registró la mayor precipitación con 261.6 mm. En cuanto a las nodrizas, el pico de germinación se dio durante la primera quincena de Agosto, cuando se registró una precipitación de 60.8 mm. (tabla 2.7). De esta forma, las semillas colocadas en espacios abiertos fueron las que respondieron al mayor pulso de precipitación que se registró durante el experimento. Lo que se puede inferir en este caso es que las plantas nodriza pudieron haber aprovechado este pulso de precipitación también, generándose una competencia por el recurso y reflejándose esto en un menor número de plántulas germinadas.

Por otra parte, las semillas de mezquite tuvieron un mayor número de germinaciones durante cada fecha de muestreo con respecto a las semillas de palo verde (Tabla 2.6 y Figura 2.12) esto pudo haber sido consecuencia de que la cutícula de la semilla de palo

verde es de mayor dureza que la de mezquite, y esto pudo retardar el proceso de imbibición.

Tabla 2.7 Precipitación total en Milímetros por período entre cada inventario de plántulas.

<b>Periodo</b>	<b>Precipitación (Mm)</b>
03-08-2006 al 12-08-2006	60.8
13-08-2006 al 13-09-2006	261.6
14-09-2006 al 05-06-2007	35.2

## VI. CONCLUSIONES

- Los datos de humedad en el perfil vertical del suelo indican una redistribución activa del agua por parte de mezquite.
- Contrario a lo que se menciona en otros estudios, en este experimento las condiciones de temperatura y humedad en el suelo debajo de plantas nodriza no fueron factor determinante para mejorar la germinación de semillas de mezquite (*Prosopis sp.*) y palo verde (*Cercidium*), siendo el mejor tratamiento para la germinación hacia el final del experimento el sitio sin nodrizas o control.
- Las características de redistribución hídrica y fijación de nitrógeno por parte de mezquite (*Prosopis sp.*), no fueron factores determinantes para un mayor número de plántulas germinadas debajo de esta especie con respecto a la nodriza *Acacia sp.*
- El mayor pulso de precipitación (261.6 Mm.) que se presentó durante el estudio fue convergente al período donde se registró el mayor número de plántulas en espacios abiertos, pero no así con las nodrizas. Una posible explicación es que las especies que germinan en espacios abiertos aprovecharon este pulso de precipitación, sin competencia por el recurso y posibles limitantes de otros factores como luz, nutrientes y temperaturas debidos al dosel de las plantas nodrizas.

### 3. USO DE LA FACILITACIÓN EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ZONAS ÁRIDAS

#### I. INTRODUCCIÓN

En los ambientes mediterráneos y semiáridos, la combinación de las altas temperaturas y bajas precipitaciones del verano pueden estresar a las plantas, convirtiendo a la disponibilidad de agua en el principal factor que limita el crecimiento. En tales circunstancias, el cambio de las características microambientales que proveen las plantas nodriza puede favorecer la sobrevivencia y crecimiento de las especies (McAuliffe 1988; Keeley 1992; Cody 1993; Fisher y Garner 1995; Sans *et al.* 1998; Chambers *et al.* 1999).

Las plantas pueden facilitar el establecimiento de otras especies vecinas, en forma directa mediante el amortiguamiento de las condiciones extremas microambientales, alterando las características del sustrato, o incrementando la disponibilidad de un recurso. En forma indirecta la facilitación se da mediante la eliminación de competidores potenciales (Connell, 1983, 1990; Millar, 1994), introduciendo otros organismos benéficos como microbios del suelo, micorrizas, o polinizadores y proveyendo protección contra herbívoros (Callaway, 1995).

Dentro de los habitats desérticos, agua y nitrógeno son dos de los recursos (elementos) más limitantes en el desarrollo y productividad de las comunidades vegetales (Castellanos *et al.* 2003a). Dentro de estos ambientes se han descrito además, mecanismos funcionales de facilitación y disminución de la competencia entre las plantas por estos recursos limitantes (Barnes y Archer 1999; Forseth *et al.* 2001; Weltzin y McPherson 1999), algunos de los cuales han sido incorporados a las prácticas agroforestales (Castro

*et al.* 2002; Maestre *et al.* 2001). En este sentido, como un método innovador para mejorar el establecimiento de plantas nativas, se propone tomar ventaja de las interacciones positivas de facilitación entre las plantas (Maestre *et al.* 2001), y proteger las plantas transplantadas contra la depredación (Bellot *et al.* 2002).

Más de la mitad de los ejemplos de facilitación se han documentado en estos ambientes (Flores y Jurado 2003), apoyando la hipótesis general de que la importancia de la facilitación aumenta con la severidad ambiental (Bertness y Callaway 1994; Callaway y Walker 1997; Brooker y Callaghan 1998). En ambientes semi-áridos, la facilitación usualmente incrementa la disponibilidad de nutrientes y agua (Holzapfel y Mahall 1999)

En lo que se refiere a la competencia se menciona que es un proceso clave que estructura a las comunidades vegetales (Grace y Tilman 1990). Por varias décadas la competencia entre especies ha dominado la teoría ecológica. Sin embargo, desde el principio de los 90's, la facilitación (interacción positiva) ha sido reconocida como la fuerza conductora de la coexistencia de especies en comunidades de plantas, particularmente en ambientes severos (Michalet, 2006).

Existen diferentes puntos de vista en cuanto a los temas de competencia y facilitación. La mayoría de los estudios experimentales han mostrado que la facilitación aumenta con la aridez (e.g Greenlee y Callaway, 1996; Pugnaire y Luque, 2001; Bertness y Ewanchuk, 2002; Maestre *et al.*, 2003; Liancourt *et al.* 2005), pero otros han observado el fenómeno a la inversa, que la competencia se incrementa con la aridez (Tielbörger y Kadmon, 2000; Bellot *et al.*, 2004; Maestre y Cortina, 2004). En el estudio realizado por Gómez-Aparicio *et al.* (2004) los resultados obtenidos mostraron que los arbustos pioneros facilitan el establecimiento de especies mediterráneas de sucesión tardía y por lo tanto pueden afectar positivamente el éxito de la reforestación en diferentes escenarios ecológicos; en

contraste, Maestre *et al.* (2005) mostró en otro análisis que la facilitación no se incrementa con el estrés en ambientes áridos.

El método utilizado para cuantificar las interacciones puede afectar de forma significativa el resultado de los experimentos en ambientes áridos, esto puede explicar los resultados contrastantes observados en la reciente literatura (Michalet, 2006). Para conciliar el debate sobre el papel de la competencia en las comunidades vegetales Brooker *et al.* (2005) sugiere diferenciar entre "Importancia de la competencia" e "Intensidad de la competencia", definiendo "intensidad de la competencia" como una reducción en el crecimiento de especies A como una consecuencia de la presencia de especies B y a "importancia de la competencia" como el impacto de B en A expresado como una proporción del impacto total del ambiente sobre A. La mayoría de los malentendidos y los resultados contrastantes se dieron debido a no diferenciar estos dos elementos de la competencia. De esta forma, Brooker *et al.* 2005 proponen el uso de dos índices: el "Índice de Importancia de la Competencia" y "Índice de Intensidad de Competencia" o "Efecto relativo del vecino" que permite también la expresión de la intensidad de facilitación. Estos índices son importantes, ya que son una herramienta muy útil para valorar las interacciones bióticas; en este caso, se utilizarán para medir el grado de competencia o facilitación en sistemas agroforestales propuestos para la rehabilitación de campos agrícolas abandonados. Aunque estos índices se han usado en su mayoría con parámetros de productividad (biomasa o crecimiento), se pretenden utilizar además parámetros fisiológicos, para una interpretación integral del éxito o fracaso en los proyectos de rehabilitación de la cubierta vegetal.

El uso de técnicas fisiológicas en la determinación de las relaciones hídricas y nutricionales de las especies desérticas durante su crecimiento, permite de una forma poco invasiva, determinar las estrategias funcionales y competitivas de las especies por

recursos limitantes en ambientes desérticos. La utilización de técnicas fisiológicas además del conocimiento detallado de los aspectos fisiológicos y funcionales de las especies, permitirá el desarrollo de técnicas y prácticas agroforestales que optimicen el uso de recursos limitantes (agua y nutrientes) y la selección de especies adecuadas, para la obtención de cubiertas vegetales de mayor productividad y sustentabilidad en áreas desérticas y desertificadas.

En el presente trabajo de investigación se busca conocer el uso y disponibilidad de agua en especies desérticas usadas en sistemas agroforestales; así como identificar interacciones bióticas ya sea de competencia o facilitación, conociendo así las relaciones hídricas de las especies establecidas, y determinar la viabilidad productiva de diferentes combinaciones de árboles – arbustos en diferentes tratamientos de rehabilitación y revegetación.

La hipótesis de este experimento es: la combinación de especies de distintos grupos funcionales mejora el establecimiento de estas, mediante el efecto de interacciones ecológicas positivas

## **II OBJETIVOS**

### General

Identificar las interacciones ecológicas (Facilitación o Competencia) implícitas en la restauración ecológica, en cuanto al uso del recurso agua.

### Específicos

1. Establecer una parcela agroforestal experimental a largo plazo
2. Analizar y comparar el crecimiento de las especies transplantadas bajo diferentes tratamientos de interacción biótica y disponibilidad de agua.

### **III. METODOLOGIA**

#### **III.1 Mejoramiento del terreno mediante aplicación de paja y remoción del suelo**

El uso de la labranza tradicional en agricultura ha generado una situación poco favorable desde el punto de vista de la conservación de los recursos productivos, implicando un especial deterioro del recurso suelo. Este ha estado expuesto a una explotación intensiva y a veces poco racional, teniendo como consecuencia directa un acelerado avance de la erosión, pérdida de tierras de cultivo, contaminación, desertificación y una significativa disminución de los rendimientos productivos.

En el lugar en el que se realizó el estudio (el mismo sitio del capítulo 2) era un terreno muy compacto, y tal como lo indican los manuales de restauración, previo a la colocación de trasplantes se trabajó en el mejoramiento del suelo en el área de estudio. Las actividades realizadas consistieron en el subsoleo, colocación de paja de trigo e incorporación de esta mediante la rastra. Para dicho mejoramiento de suelo se utilizó un tractor, lo cual fue posible gracias a la cooperación de las autoridades de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Sonora. El sitio se dividió en 11 secciones de 12 metros de ancho por 60 metros de largo. Se esparcieron 12 pacas por cada sección los días 28 y 30 de agosto y el 7 de septiembre de 2006 se incorporó totalmente al suelo por medio del barbecho con la rastra. La incorporación de la paja de trigo en el campo se realizó con el objetivo de aumentar la retención de humedad en el suelo, la paja utilizada fue donada por la empresa NORSON Agropecuaria de Hermosillo, Sonora.



Figura 3.1 Trabajos de mejoramiento del suelo en el campo de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Sonora.

### III.2 Transplante de especies

De las 11 secciones que forman el sitio experimental se utilizaron siete para colocar los trasplantes de cuatro especies: mezquite (*Prosopis velutina*), palo verde (*Cercidium microphyllum*) y tepehuaje (*Lysiloma watsoni*). La idea consistió en combinar las especies disponibles para obtener tres tratamientos: tres grupos funcionales (Árbol + arbusto + arbusto), dos grupos funcionales (Árbol + arbusto) y una sola especie. El 13 de Septiembre del 2006 se realizó el primer trasplante; y con base a las especies disponibles, las cuales fueron proporcionadas por la CONAFOR se formaron los siguientes tratamientos: tres grupos (palo verde + mezquite + tepehuaje), dos grupos (palo verde + tepehuaje) y plantas solas de Mezquite. Se establecieron un total de 26 tratamientos de tres y dos grupos funcionales y 58 mezquites solos. El total de especies trasplantadas se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Numero de trasplantes por especie utilizados en el experimento

Especie	Trasplantes
Tepehuaje ( <i>Lysiloma watsoni</i> )	52
Mezquite ( <i>Prosopis velutina</i> )	86
Palo verde ( <i>Cercidium microphyllum</i> )	52
<b>Total</b>	<b>190</b>



Figura 3.2 Trasplante de plantas en el Tratamiento de riego PVC

### III. 3 Tipos de riego

Los sistemas de riego son de suma importancia para el establecimiento de plantas en zonas áridas, pues estas dependen del agua por las altas temperaturas y aridez que predominan en estos lugares (Bainbridge, 2002).

En este estudio se utilizaron dos métodos de riego para facilitar el establecimiento de las especies, uno fue elaborado con tubos de PVC y en el otro se utilizó un polímero llamado poliacrilamida (tierra de agua) que ayuda a la retención de humedad en plantas ornamentales.

#### III.3.1 Tubos de PVC

La instalación del sistema de riego se realizó el día 7 de septiembre del 2006. En total se diseñaron siete sistemas de este tipo, se utilizaron dos tramos de PVC de tres metros de largo por 50.8 milímetros de diámetro cada uno, unidos al centro por una conexión tipo "T" del mismo material. A cada tubo de tres metros se le hizo una serie de pequeños orificios (12 perforaciones de 1/16 de diámetro) a 50 cm. de cada extremo donde se ubicaron los transplantes, de manera que el agua saliera de forma controlada por goteo. Ya unidos los dos tramos se colocaron tres reducciones de 4 a 2 pulgadas, dos a los

extremos y una al centro del tramo de 6 metros. Unido a las reducciones se instaló de forma vertical un tubo de 4 pulgadas de diámetro y un metro de longitud, el cual sirve como recipiente de agua. Ya armados los sistemas de riego se colocaron a una profundidad de aproximadamente 20 cm. Estas estructuras de PVC pueden contener alrededor de 30 litros de agua, la cual es dirigida mediante los orificios a los tratamientos transplantados. Se establecieron 28 tratamientos bajo estas condiciones, 14 de tres y dos grupos funcionales respectivamente.

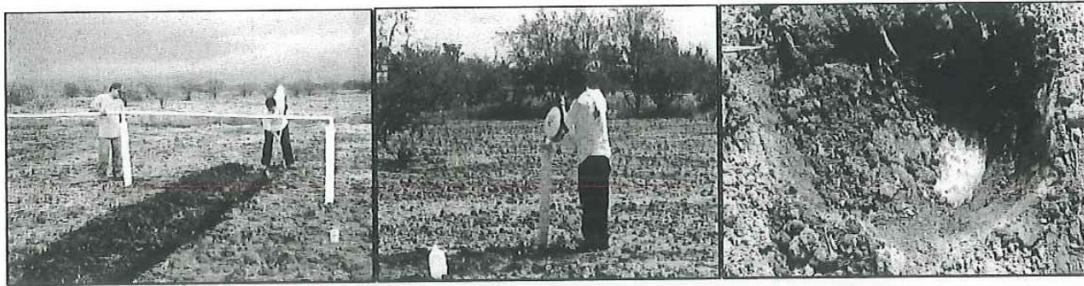


Figura 3.3 Sistema de riego por tubos de PVC

### III.3.2 Poliacrilamida

Como una segunda opción de riego el 13 de septiembre del 2006 se aplicó el polímero Poliacrilamida conocido comercialmente como "tierra de agua", el cual tiene la propiedad de retener hasta dos litros de agua por cucharada de material. Este polímero evita la pérdida de agua por evaporación promoviendo la disponibilidad del recurso en el suelo; de esta forma, el agua es tomada por la planta según sean sus exigencias ambientales. Para su aplicación sólo se realizaron un par de orificios en el suelo de 10 cm. de profundidad a un lado de las plantas y se depositaron 100 gr. de poliacrilamida, se cubrió con tierra y se agregó agua para su absorción. Se colocaron 31 aplicaciones para mezquites solos

además de 13 y 12 aplicaciones para tratamientos de dos y tres grupos funcionales respectivamente.

Con la finalidad de tener un parámetro de comparación, se dejaron 30 plantas de mezquite bajo tratamiento de riego manual, de esta forma se identificó la diferencia en funcionamiento entre los tratamientos establecidos.



Figura 3.4 Sistema de riego con poliacrilamida

### III. 3.3 Riegos

Los trasplantes fueron regados las tres primeras semanas de Septiembre y la primera semana de Octubre. Los riegos se hicieron en forma manual en un solo día de la semana, el agua se trasladó en automóvil desde un pozo ubicado a aproximadamente dos kilómetros del sitio experimental. La cantidad de agua que se agregó por trasplante fue de aproximadamente 3 litros.

### III.4. Mediciones de interacciones ecológicas

Con el fin de comprender las interacciones ecológicas entre las especies utilizadas en sistemas agroforestales, se aplicaron las formulas propuestas por Brooker *et. al.* 2005.

### **Índice de Intensidad de Competencia**

$$Cint: RNE: (PT+N - PT-N)/X.$$

Donde PT+N y PT-N son el funcionamiento de la planta bajo estudio (PT) en la presencia (+N) y ausencia (-N) de vecinos y X es el mejor funcionamiento de los dos; con y sin vecino.

### **Índice de Importancia de la Competencia”**

$$Cimp: (PT+N - PT-N) / (Máx. PT-N - y)$$

Donde Máx. PT-N es el valor máximo de PT-N en el sitio experimental e Y es el valor menor ya sea de PT+N o PT-N.

Los datos que se utilizaron para representar los valores en las formulas fueron tamaño, o crecimiento. Además, como un dato complementarios se realizaron censos de sobrevivencia.

### **III.5 Temperaturas en los tratamientos de agrupación y en espacios abiertos**

Con la finalidad de conocer las condiciones bajo las cuales se estuvieron desarrollando los transplantes, se colocaron sensores tipo Hobos para medir la temperatura en los tratamientos de agrupación “3 grupos” y en espacio intermedio. Dichos sensores fueron colocados a principios del mes de Diciembre del 2006, y se tomaron datos de temperatura hasta finales de Mayo del 2007.

### **III. 6 Perfil de humedad del suelo en los tratamientos de agrupación y espacios abiertos**

Para obtener el perfil vertical de humedad en el suelo en los tratamientos de agrupación y espacio abierto, se colocaron tubos de acceso para medir la humedad con el equipo Time Domain Reflectometry. Los datos de humedad se tomaron el 10 de Noviembre del 2006 y el 06 de Agosto del 2007 y las profundidades del perfil medidas en centímetros fueron: 0-10, 0-20, 0-30, 40-55 y 56-77.

## IV. RESULTADOS

### IV.1 Temperatura en espacio abierto y en el tratamiento de tres grupos

En el invierno, durante el mes de Diciembre y la primera quincena de Enero la temperatura promedio diaria fue ligeramente mayor en espacios abiertos que en los tratamientos de agrupación. Sin embargo, a partir de la segunda quincena de Enero hasta finales de Febrero el comportamiento fue diferente, de tal forma que la temperatura fue mayor en el tratamiento de agrupación en "3 grupos" con respecto a los espacios intermedios. En lo que respecta a la primavera, casi siempre se registró una mayor temperatura en el tratamiento de 3 grupos (Figura 3.5).

La explicación de porque durante la primera mitad del invierno la temperatura fue menor en el tratamiento de agrupación, puede ir en el sentido de que tanto la humedad (Figura 3.6, datos de Noviembre ) como la temperatura descendía, de tal forma que, al no haber humedad en el aire no había un aumento en la temperatura. Por el contrario, a partir del 27 de Diciembre del 2006 se presentaron las primeras lluvias de invierno, y fue a partir de esta fecha donde la temperatura registrada en los tratamientos de asociación comenzó a aumentar manteniéndose esta tendencia durante toda la primavera (Figura 3.5).

Aunque no se presentan los datos del comportamiento de la temperatura durante el día en los tratamientos espacios abiertos y "3 grupos", la tendencia fue que durante la noche y la madrugada la temperatura fue menor en los tratamientos de agrupación, y durante las horas más calidas del día (cuatro horas a partir del medio día aproximadamente) la temperatura en el espacio intermedio fue menor (en ocasiones hasta en 6 °C) que en "3 grupos". La diferencia en temperatura fue más evidente en las horas más calientes del día a favor del tratamiento de agrupación, y esta diferencia fue más notable en los días posteriores a un evento de precipitación.

Como ya se mencionó anteriormente en el Capítulo 2 en la explicación de las diferencias en temperaturas entre la nodriza mezquite (*Prosopis sp.*), el calor específico del agua y el hecho de que se mantenga una mayor humedad bajo el dosel de las especies utilizadas en la agrupación gracias a un menor flujo de aire, pueden ser los factores que explican una mayor temperatura promedio diaria bajo la influencia del tratamiento de agrupación.

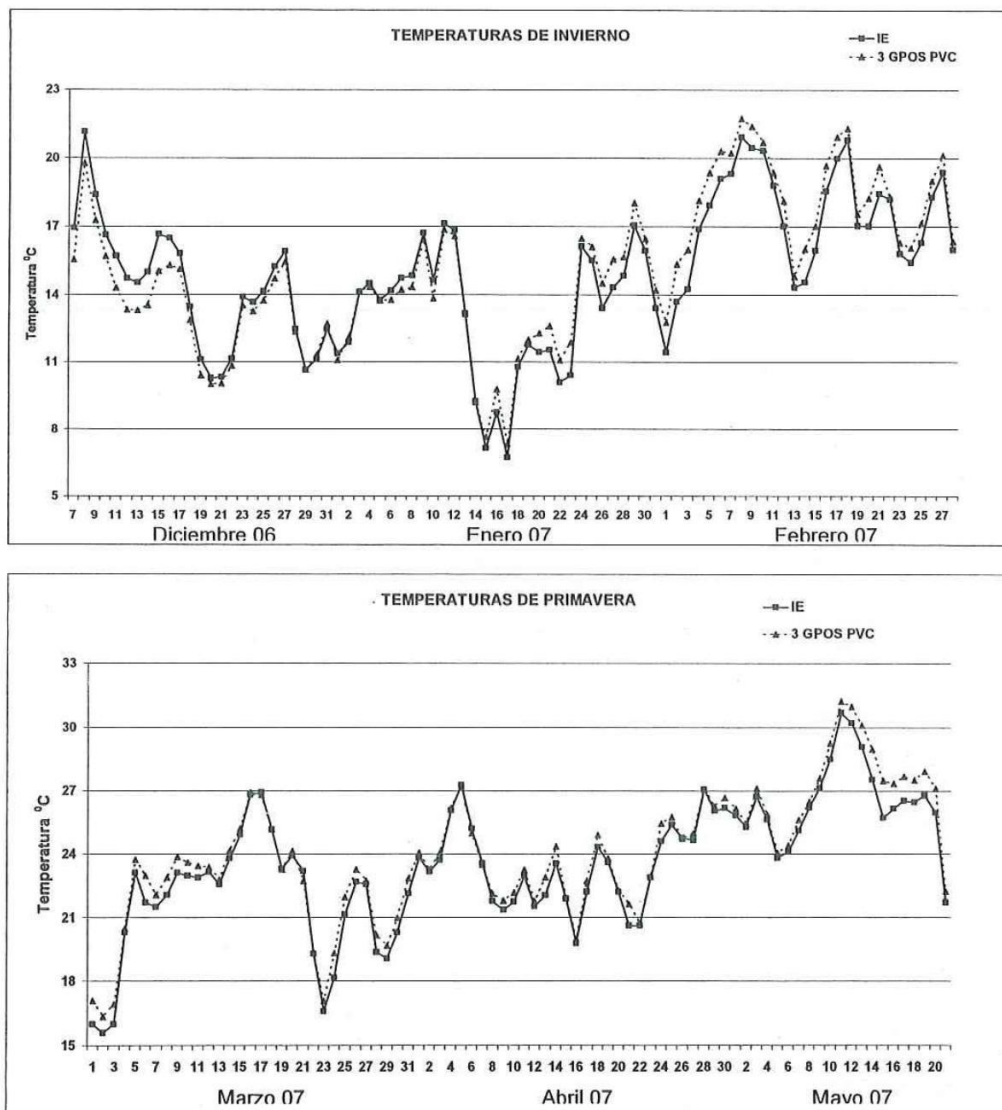


Figura 3.5 Temperaturas promedio diarias de invierno y primavera para los tratamientos espacio abierto (IE) y 3 grupos PVC.

#### IV.2 Perfil de humedad en los tratamientos de transplante

Debido a que no se contaba con el equipo TDR Time Domain Reflectometry durante la primera fecha de muestreo realizada el 29 de Septiembre del 2006, se obtuvo el perfil de humedad de los tratamientos de tierra de agua y PVC por medio del método gravimétrico (Figura 3.6, primer gráfico a la izquierda); como se puede observar, con excepción a la profundidad de 15-30 cm. los registros de humedad del perfil vertical del suelo en el tratamiento de PVC fueron mayores a los de tierra de agua. En ambos tratamientos la humedad se mantuvo entre el 6 y 8 % en casi todo el perfil, con excepción a la máxima profundidad en ambos casos, en donde la humedad fue de 3.61% a la profundidad de 60-75 cm en el tratamiento de tierra de agua y 3.63% en el perfil 75-85 del tratamiento de PVC.

Para los muestreos del 10 de Noviembre del 2006 y el 6 de Agosto del 2007 ya se contaba con el equipo TDR, cuyos tubos de acceso se instalaron en cuatro sitios distintos: los dos tipos de riego PVC y tierra de agua, un sitio "con rastra" en el cual no se colocaron transplantes y un sitio sin ningún trabajo de mejora de suelo nombrado "sin rastra", adyacente al área donde se realizaron los transplantes.

En ambas fechas se presentó una tendencia similar para los sitios de "tierra de agua", "PVC" y "sin rastra", dicha tendencia fue que generalmente en el perfil de "PVC" se registró una mayor humedad que en "tierra de agua" con excepción de la profundidad 0-10 el 6 de Agosto del 2007 donde "tierra de agua" tuvo un valor ligeramente mayor (Figura 3.6).

En lo que respecta al tratamiento "sin rastra", también presentó un comportamiento similar en las dos últimas fechas, en ambas fechas dentro de los primeros diez centímetros del suelo la humedad fue mayor en este tratamiento con respecto a todos los demás; sin

embargo, a partir de los 20 centímetros comenzó un declive en el porcentaje de humedad del perfil, hasta llegar al 0% desde los 30 a los 55 cm.; de esta forma, el sitio "sin rastra" fue el más seco a partir de los 20 cm. de profundidad (Figura 3.6).

El tratamiento "con rastra" tuvo un comportamiento distinto durante las dos fechas de muestreo que se han descrito anteriormente, el 10 de Noviembre del 2006 tuvo un valor de 0% de humedad en los primeros 10 cm. de profundidad, el perfil 0-20 y 0-30 cm. fue el sitio donde se registró el mayor contenido de agua, mientras que desde los 40 a los 55 cm. tuvo un valor de 9.87%, sólo superado por "PVC" con un 10.02% de humedad (Figura 3.6 al centro). En el muestreo del 6 de Agosto del 2006 se registró nuevamente un 0% de humedad en los primeros 10 cm. del suelo, en cuanto a los perfiles 0-20 y 0-30 cm., contrario al muestreo anterior se observaron valores menores a los tratamientos de "tierra de agua" y "PVC" llegando incluso a un 0% de humedad en la profundidad 0-30 cm., mientras que en el perfil 40-55 cm. al igual que la fecha anterior el valor de humedad en el sitio "con rastra"(4.80%) fue mayor que en "tierra de agua"(3.94%), pero menor al de "PVC"(5.50%) (Figura 3.6, derecha).

Se puede observar que existe un comportamiento común de los tratamientos en cada una de las fechas (Figura 3.6). El 29 de Septiembre del 2006 se observa un patrón más o menos similar entre tratamientos, conservándose una humedad más o menos constante (entre 6% y 8%) desde los primeros 15 cm. hasta los 60 cm. de profundidad en ambos sitios, disminuyendo esta a partir del perfil 45-65 cm. El 10 de Noviembre del 2006, con excepción del sitio "sin rastra", en los demás tratamientos la humedad del perfil de los 20 cm. a los 55 cm. se comportó constante. Los valores de humedad en el perfil antes mencionado estuvieron entre los 8.79 y 9.38% de humedad en el sitio "tierra de agua", entre 10.02 y 10.52 % en "PVC", mientras que en el tratamiento "con rastra" los valores de contenido de agua fueron entre el 9.87 y 11.28%. En la última fecha, en los primeros 10

cm. del perfil los tratamientos de tipos de riego por "PVC" y "tierra de agua" registraron valores de 4.33 y 4.57% de humedad respectivamente, en el perfil de los 0-20 cm. se observó el mayor contenido de agua en ambos tratamientos con 9.75% en "PVC" y 8.31% en "tierra de agua", a partir de el perfil 0-20 cm. se fue perdiendo la humedad en el suelo hasta llegar a 5.50% en "PVC" y 3.94% en "tierra de agua", ambos a la profundidad de 40-55 cm.

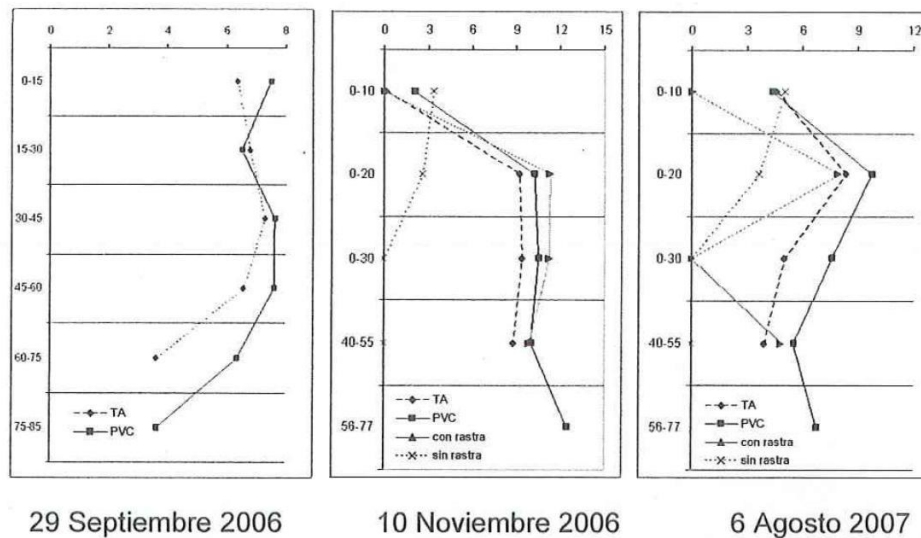


Figura 3.6 Perfil vertical de humedad en el suelo, tomado durante tres fechas distintas. El eje de las "x" representa al porcentaje de humedad y el de las "y" la profundidad del perfil en centímetros. Tanto TA (tierra de agua) como PVC (sistema con tubos pvc) son sitios donde se tenían especies agrupadas.

### IV.3 Crecimiento, mortalidad y depredación de los transplantes por tratamiento

#### IV.3.1 Crecimiento

Para conocer el crecimiento de las tres especies utilizadas se midió el tamaño de cada uno de los transplantes bajo los diferentes tratamientos (de irrigación o de agrupamiento), obteniéndose un promedio para cada especie durante cuatro fechas distintas (Figura 3.7 y tabla 3.3).

En general todas las especies mostraron un crecimiento constante durante los tres primeros meses después de haber sido transplantadas, llegando a registrarse el máximo crecimiento durante el muestreo de Diciembre del 2006; sin embargo, para el siguiente muestreo realizado el 5 de Junio del 2007 hubo una disminución en el tamaño promedio de todas las especies en todos los tratamientos (Tablas 3.2 y 3.3), esto probablemente como consecuencia a que se presentó un período con temperaturas muy bajas y con una alta tasa de depredación durante el invierno.

En lo que respecta al crecimiento promedio de las tres especies utilizadas bajo los dos distintos tipos de riego, los datos indican que durante todas las fechas los individuos que se encontraban en el tratamiento de PVC tuvieron un crecimiento promedio mayor a aquellos que fueron colocados en tierra de agua (Figura 3.7 y tabla 3.3). Los individuos de mezquite que se colocaron solos con y sin tierra de agua mostraron un crecimiento promedio considerablemente menor, comparado con aquellos que se colocaron acompañados y en los tratamientos de riego por tierra de agua por sistema de PVC (Fig. 3.23 y Tabla 12).

En los tratamientos de agrupamiento las especies de tepehuaje y palo verde, las cuales sólo se colocaron en dos y tres grupos generalmente tuvieron mejor crecimiento cuando se encontraban acompañadas de una sola especie (en grupos de dos), sólo durante el primer muestreo del 10 de Octubre del 2006 el palo verde mostró un mayor crecimiento cuando se encontraba acompañado por dos especies (grupos de tres); y en el caso de tepehuaje, sólo durante el último muestreo el tamaño promedio de los individuos en el tratamiento de tres grupos fue mayor al de dos grupos (Tabla 3.3).

Aunque el tamaño promedio total de cada especie bajo todos los tratamientos aumenta durante los tres primeros meses (Figura 3.7 y tabla 3.3), esto no siempre se reflejó estadísticamente (Figura 3.8). Se buscaron diferencias estadísticas en el crecimiento total

y por tratamiento de cada una de las especies de una fecha de muestreo a otra. También se hicieron comparaciones entre tratamientos en cada fecha, esto con la finalidad de observar si existía un desarrollo óptimo de las especies por fecha o por tratamiento (Figura 3.9).

#### **IV.3.2 Mezquite**

Para la especie mezquite en los periodos de Octubre-Diciembre y Diciembre-Junio se detectaron diferencias significativas en el promedio total ( $p < 0.025$  y  $p < 0.05$ ), tratamiento de riego por PVC ( $p < 0.005$  y  $p < 0.01$ ), y agrupamiento en tres grupos ( $p < 0.005$  y  $p < 0.025$ ) (Figura 3.8). Lo anterior nos indica que aunque el crecimiento promedio de mezquite en los tratamientos antes mencionados fue significativo durante los primeros meses del estudio, el último lapso de seis meses, hubo una disminución considerable en el tamaño promedio de los individuos de mezquite en todos los tratamientos (Tabla 3.3), y que el crecimiento promedio registrado durante cada mes desde Octubre a Diciembre del 2006 en los demás tratamientos no fue suficiente como para reflejarse estadísticamente (Figuras 3.7 y 3.8).

Cuando se comparó el crecimiento promedio de mezquite en cada fecha entre tratamientos ya sea de irrigación o agrupamiento se tuvieron los siguientes resultados.

Aunque el crecimiento promedio de mezquite siempre fue mayor en el tratamiento de PVC comparado con el de tierra de agua, las diferencias entre los dos sistemas de riego sólo fueron significativas en Noviembre ( $p < 0.001$ ) y Diciembre ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, las diferencias en crecimiento entre los mezquites que se encontraban en PVC y los que se encontraban solos y sin ningún tipo de irrigación, siempre fueron significativas en cada fecha (Figura 3.9), esto es una evidencia de que los individuos que se encontraban en el sistema de riego por PVC tuvieron un mejor desarrollo que cuando se encontraban sin un

tipo de irrigación en especial. Las diferencias en crecimiento entre mezquite en PVC y solo con tierra de agua fueron estadísticamente significativas durante los tres primeros meses, el hecho de que no se haya registrado una diferencia significativa entre estos dos tratamientos para el mes de Junio, obedece a que en el lapso entre Diciembre del 2006 y Junio del 2007 se presentó una disminución considerable en el tamaño promedio del mezquite en el tratamiento de PVC, con un promedio de 49.31 cm. en Diciembre del 2006 a y 26.42 cm. en Junio del 2007 (Figura 3.2 y Figura 3.9).

Al comparar el crecimiento de los mezquites en el sistema de riego por tierra de agua con los que se encontraban solos, únicamente la diferencia registrada en el mes de Noviembre resultó ser significativa ( $p < 0.05$ ), aunque al igual que en los demás casos el tamaño promedio por fecha de los mezquites en tierra de agua siempre fue mayor que cuando se encontraban solos y sin irrigación.

En las comparaciones entre el crecimiento de los mezquites en los tratamientos de tierra de agua – solo tierra de agua y solo – solo con tierra de agua no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. No obstante el no encontrarse diferencias estadísticas entre los tratamientos antes mencionados, el tamaño promedio de mezquite en la comparación tierra de agua – solo con tierra de agua fue mayor en todas las fechas en el tratamiento de tierra de agua (Tabla 3.3), en lo que respecta a la comparación de solo – solo con tierra de agua, se registró un mayor tamaño de mezquite durante la primera fecha de muestreo en el tratamiento solo, mientras que en las restantes tres fechas de muestreo el mayor tamaño de mezquite se registró en el tratamiento de solo con tierra de agua (Figura 3.7 y Tabla 3.3).

### **IV.3.3 Palo verde**

En el palo verde no se registraron diferencias significativas en el crecimiento de los individuos bajo los distintos tratamientos al momento de comparar entre las fechas de muestreo (Figura 3.8). Si bien el comportamiento fue que el tamaño promedio de palo verde fue en aumento durante los tres primeros meses de muestreo, lo anterior indica que el crecimiento registrado entre una fecha y la siguiente desde el trasplante inicial hasta Diciembre del 2006 (Figura 3.7 y tabla 3.3), no fue el suficiente como para representar una diferencia estadísticamente significativa. En lo que respecta a las diferencias dentro de cada fecha entre tratamientos de riego y agrupamiento, sólo se registró una diferencia significativa entre el tamaño promedio de los individuos de palo verde bajo los tratamientos de riego en el mes de Junio (Figura 3.9), registrándose un tamaño promedio de 66.94 cm. en el sistema de riego por PVC y 55.72 cm. en tierra de agua.

### **IV.3.4 Tepehuaje**

Para el tepehuaje generalmente se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las primeras tres fechas para todos los tratamientos, con excepción del tratamiento de tres grupos en el periodo Noviembre del 2006 – Diciembre del 2006 (Figura 3.8). Lo anterior comprueba estadísticamente el comportamiento entre fechas, en cuanto a crecimiento del tepehuaje durante el experimento de restauración. Dicho comportamiento consistió en un aumento en tamaño de los individuos en todos los tratamientos durante los tres primeros meses del experimento, seguido de un decremento en el tamaño promedio de los individuos en todos los tratamientos en el lapso de seis meses que comprendió de Diciembre del 2006 a Junio del 2007. Dado las diferencias antes mencionadas, se puede

decir que esta especie es la que mostró un mejor desarrollo durante los tres primeros meses después del transplante.

La comparación por fecha del crecimiento promedio de tepehuaje en los tratamientos de irrigación y agrupamiento, nos dice que solo durante el mes de Noviembre se detectó una diferencia significativa entre los tratamientos de irrigación por PVC y tierra de agua. Lo anterior muestra que aunque siempre se registró un mayor tamaño promedio de los individuos en PVC, esto no fue suficiente para representar una diferencia estadística entre tratamientos, lo cual sugiere que durante estas fechas ningún tratamiento resultó ser mejor que otro. De la misma forma no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de dos y tres grupos en ninguna de las fechas de muestreo; sin embargo, el tamaño promedio de los individuos de tepehuaje fue mayor en el tratamiento de dos grupos durante los tres primeros meses; después, para el mes de Junio del 2007 se registró un mayor tamaño promedio para los individuos que se encontraron en tres grupos (Tabla 3.3).

A pesar de la evidencia de que en general todas las especies presentaron un crecimiento promedio constante durante los tres primeros meses del experimento (Figura 3.7), el hecho de no encontrarse diferencias significativas en el crecimiento de las especies en ninguno de los tratamientos entre la primera y la última fecha de muestreo (Figura 3.8), indica que hubo una etapa crítica, la cual se presentó durante el periodo de Diciembre 2006 (que es donde se registró el máximo crecimiento para todas las especies) a Junio del 2007. En este lapso de tiempo de seis meses posiblemente las condiciones climáticas y de interacción con herbívoros que se presentaron propiciaron el escenario que permitió un retroceso importante en el desarrollo de las especies utilizadas en este experimento de restauración.

En la siguiente tabla se presentan los datos por tratamiento del retroceso en centímetros en el crecimiento del 11 de Diciembre del 2006 al 5 de Junio del 2007.

Tabla 3.2 Diferencia en cm. de la altura promedio de las especies por tratamiento de Diciembre del 2006 a Junio del 2007.

Especie	Total	PVC	Tierra de agua	2 grupos	3 grupos	Solo	Solo t-a
Tepehuaje	-10.21	-11.93	-8.48	-14.04	-6.13		
Palo verde	-8.73	-7.70	-9.71	-8.85	-8.51		
Mezquite	-7.90	-22.89	-7.73		-14.54	-4.13	-0.63

Como se puede observar en el lapso antes mencionado, hubo un retroceso en el crecimiento de las especies en todos los tratamientos. En total el tepehuaje fue la especie más afectada, con un cambio en tamaño de -10.20 cm.; por el contrario, el mezquite fue el menos afectado con un cambio de -7.90 cm.

En el caso de mezquite los individuos que se localizaban en el tratamiento de PVC fueron más afectados que los que se encontraban en tierra de agua, el retroceso en tamaño en PVC fue de -22.89 cm. mientras que en tierra de agua fue de -7.73 cm. Los individuos menos afectados en cuanto a una disminución del tamaño promedio fueron aquellos que estaban en los tratamientos "solo" y "solo con tierra de agua", con -4.13 cm. y -0.63 cm. respectivamente (Tabla 3.2).

Para palo verde la disminución en tamaño dentro del lapso antes mencionado fue más homogéneo entre tratamientos, para el tratamiento de irrigación la diferencia mas negativa fue para tierra de agua con -9.71 mientras que en el tratamiento de agrupación el cambio fue más evidente en individuos creciendo en dos grupos con -8.85 cm.

El tepehuaje experimentó el mayor cambio por tipo de riego en PVC con -11.93 cm., y en lo que respecta al tratamiento de agrupación, el cambio mas notable se observó en individuos creciendo en dos grupos con -14.04 cm. (Tabla 3.2).

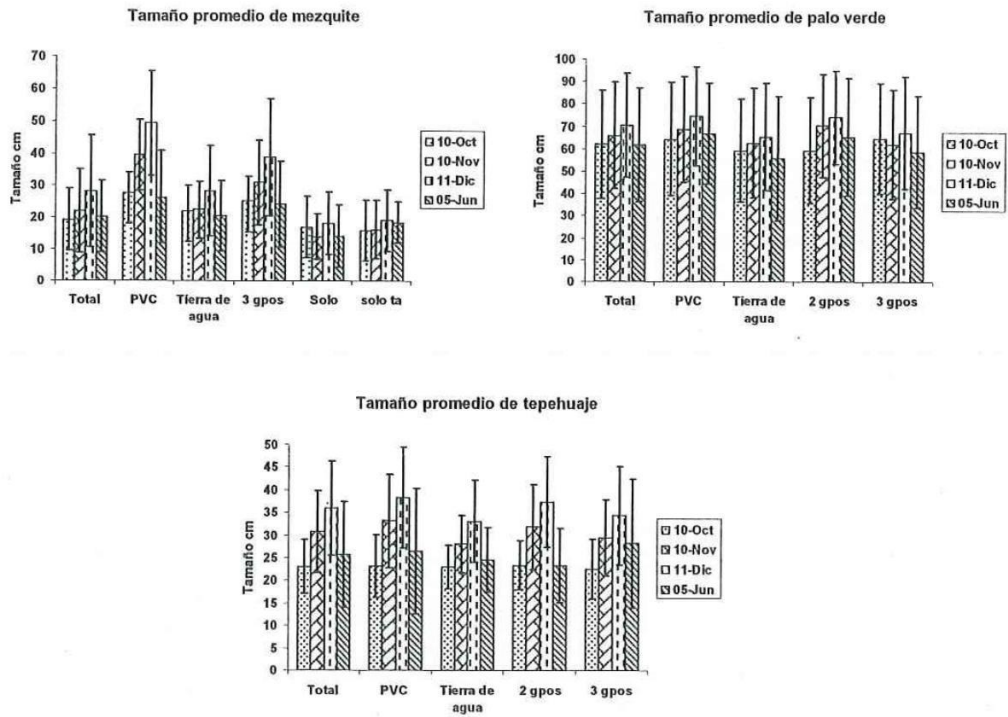


Figura 3.7 Tamaño promedio por especie en cada tratamiento durante cuatro fechas de muestreo

Tabla 3.3 Tamaño promedio en centímetros de las especies colocadas en diferentes tratamientos

Fecha	Especie	Total	PVC	Tierra de agua	2 grupos	3 grupos	Solo	Solo t-a
10-Oct-06	Tepehuaje	23.07	23.15	22.97	23.44	22.64	*	*
	Palo verde	62.03	64.52	59.34	59.35	64.71	*	*
	Mezquite	19.41	27.85	22.18	*	25.25	17.14	16.06
10-Nov-06	Tepehuaje	30.77	33.17	28.04	31.85	29.54	*	*
	Palo verde	65.99	68.70	62.66	70.41	62.08	*	*
	Mezquite	22.14	39.54	22.46	*	31.00	14.15	16.39
11-Dic-06	Tepehuaje	35.95	38.37	33.11	37.37	34.42	*	*
	Palo verde	70.51	74.65	65.43	74.20	67.25	*	*
	Mezquite	28.29	49.31	28.27	*	38.79	18.37	19.24
05-Jun-07	Tepehuaje	25.74	26.44	24.63	23.33	28.29	*	*
	Palo verde	61.78	66.94	55.72	65.35	58.74	*	*
	Mezquite	20.39	26.42	20.54	*	24.25	14.25	18.61

mes	total	PVC	TA	3 grupos	Solo	Solo TA
oct-nov	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10
nov-dic	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10
dic-junio	< .05	< .01	> .10	< .025	> .10	> .10
oct-dic	< .025	< .005	> .10	< .005	> .10	> .10
oct-jun	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10

**Mezquite**

mes	total	PVC	TA	2 grupos	3 grupos
oct-nov	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10
nov-dic	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10
dic-junio	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10
oct-dic	> .10	> .10	> .10	< .025	> .10
oct-jun	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10

**Palo verde**

mes	total	PVC	TA	2 grupos	3 grupos
oct-nov	< .001	< .001	< .005	< .001	< .005
nov-dic	< .005	< .05	< .10	< .005	> .10
dic-junio	< .001	< .001	< .025	< .001	< .10
oct-dic	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
oct-jun	> .10	> .10	> .10	> .10	> .10

**Tepehuaie**

Figura 3.8 Prueba de kolmogorov de las diferencias entre fechas para los tratamientos de irrigación y agrupamiento

mes	PVC-TA	PVC-Solo	TA-Solo	PVC-STA	TA-STA	Solo-STA
OCT	> .10	< .05	> .10	< .01	> .10	> .10
NOV	< .001	< .001	< .05	< .001	> .10	> .10
DIC	< .05	< .001	> .10	< .001	> .10	> .10
JUN	> .10	< .10	> .10	> .10	> .10	> .10

**Mezquite**

mes	PVC-TA	2 - 3 grupos
OCT	> .10	> .10
NOV	> .10	> .10
DIC	> .10	> .10
JUN	< .10	> .10

**Palo verde**

mes	PVC-TA	2 - 3 grupos
OCT	> .10	> .10
NOV	< .10	> .10
DIC	> .10	> .10
JUN	> .10	> .10

**Tepehuaie**

Figura 3.9 Prueba de kolmogorov de las diferencias mensuales entre tratamientos de irrigación y agrupamiento

#### IV.4 Mortalidad

Al igual que se llevó un registro del crecimiento de las tres especies transplantadas, también se inventarió el número de individuos muertos por tratamiento durante las mismas fechas de muestreo. Los resultados obtenidos se muestran en porcentaje de mortalidad en relación al número inicial de plántulas por especie y por cada tratamiento (Figura 3.10). De manera general, durante todas las fechas de muestreo, la especie mezquite fue la que mostró una mayor mortalidad con respecto a palo verde y tepehuaje (Figura 3.10), y fue este último la especie que tuvo el menor porcentaje de mortalidad durante los tres primeros meses; sin embargo, para el último muestreo su porcentaje de mortalidad aumentó considerablemente.

Para la última fecha de muestreo el mezquite fue la especie con mayor porcentaje de mortalidad con un 45.35% de individuos muertos, seguido de tepehuaje con un 25% de mortalidad, y por último el palo verde es el que tuvo una menor presentó con un 7.69%.

En el caso específico de mezquite, no se registraron individuos muertos en los tratamientos de PVC, tierra de agua y tres grupos durante los tres primeros meses; de esta forma, el hecho de que la mortalidad total en mezquite haya sido mayor que en las otras dos especies durante todo el experimento, se debe a la alta mortalidad que se registró en los tratamientos de mezquite "solo" y "solo con tierra de agua". De los últimos dos tratamientos mencionados, únicamente durante la primera fecha de muestreo se registró un mayor porcentaje de mortalidad para el tratamiento de "solo con tierra de agua", mientras que las tres siguientes fechas fue el tratamiento de mezquite "solo" el que presentó la mayor mortalidad, siendo este, sin lugar a dudas, el tratamiento que tuvo el menor éxito en este experimento (Figura 3.10 y Tabla 3.3). No fue sino hasta el muestreo de Septiembre del 2007 (nueve meses después del transplante) cuando se registró mortalidad en los demás tratamientos siendo esta de 7.14% en PVC y 4% en tres grupos.

El palo verde fue la especie que se mantuvo más estable en cuanto a la mortalidad, su porcentaje total de mortalidad durante el primer muestreo fue de 5.77%, mientras que en las últimas tres fechas la mortalidad fue de 7.69%. Comparando los tratamientos de irrigación por cada fecha; con excepción al primer mes, el tratamiento de tierra de agua tuvo un mayor porcentaje de mortalidad con respecto a PVC con 8% y 7.41% respectivamente. Por otro lado, al comparar los tratamientos de agrupación, siempre se observó un mayor porcentaje de mortalidad cuando el palo verde se encontraba en dos grupos. Los porcentajes de mortalidad que se registraron fueron de 7.41% en dos grupos y 3.85% en tres grupos durante el primer muestreo, el resto de las fechas se mantuvo la mortalidad en 11.11% en dos grupos y 3.83% en tres grupos.

El tepehuaje tuvo los porcentajes más bajos de mortalidad durante los primeros tres meses del experimento; sin embargo, para el 5 de Junio del 2006 la mortalidad de esta

especie aumentó considerablemente, de 5.77% en Diciembre del 2006 a 25% en Junio del 2007.

La tendencia general del tepehuaje en los tratamientos de irrigación fue que, durante todos los meses se registró un mayor porcentaje de mortalidad en tierra de agua con respecto a PVC, esta diferencia se hizo más evidente en el muestreo de Junio, donde se observaron valores de 11.54% de mortalidad para PVC y 40% para tierra de agua. Para los tratamientos de agrupación siempre se presentó la mayor mortalidad en tres grupos, con valores para Octubre de 0% en dos grupos y 4% en tres grupos, durante Noviembre y Diciembre se obtuvieron los mismos valores de 0% en dos grupos y 12% en tres grupos, mientras que para la ultima fecha los valores de mortalidad fueron de 22.22% en dos grupos y 28% en tres grupos.

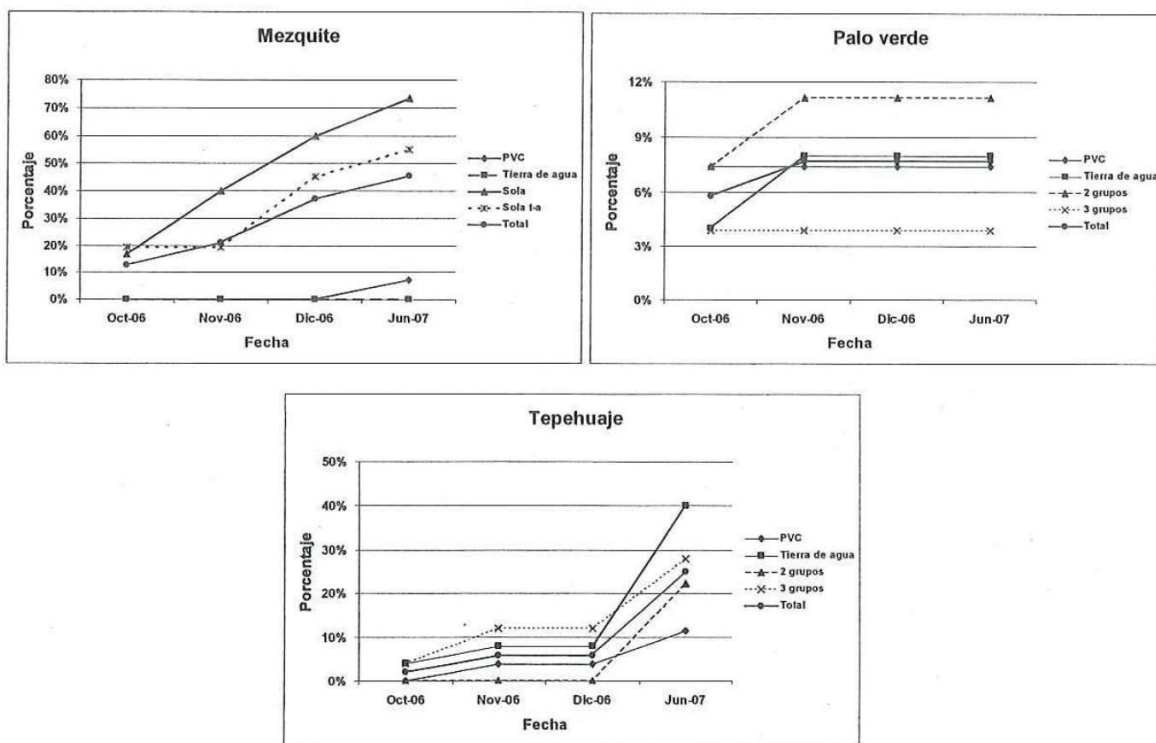


Figura 3.10 Mortalidad de los transplantes por tratamiento durante el experimento.

#### IV.5 Depredación

Comenzaremos por describir como se comportó la depredación total por especie sin diferenciar entre tratamientos, cabe destacar que en este experimento la depredación se tomó como el porcentaje de plantas depredadas con respecto al número total de transplantes colocados en cada tratamiento.

En el caso de Mezquite (*Prosopis juliflora*) desde la primer fecha de muestreo se tuvo un alto porcentaje de plantas depredadas con 34.88%, el cual fue aumentando en forma constante durante las siguientes fechas, hasta llegar a un 96.51% de depredación registrado en el último muestreo realizado el 5 de Junio del 2007 (Figura 3.11). De la depredación total registrada por todas las especies durante los tres primeros meses, el 90% o más correspondieron a plantas de mezquite ya que el número de plantas de palo verde y tepehuaje.

Durante los tres primeros meses del experimento el palo verde (*Cercidium microphyllum*) tuvo valores bajos de plantas dañadas por depredadores, con un 0% de plantas depredadas durante los dos primeros meses del experimento, y fue hasta Diciembre del 2006 cuando se tuvo un registro de 3.85% de depredación. Para el último muestreo en Junio del 2007, el porcentaje de plantas de palo verde depredadas fue de 92.31%, sin duda un cambio considerable respecto al muestreo realizado seis meses atrás.

Al igual que el palo verde, los transplantes de tepehuaje (*Lysiloma watsoni*) experimentaron un bajo porcentaje de depredación en los primeros tres meses, con un 3.85% en Octubre y Noviembre del 2006 y 7.69% en Diciembre del mismo año. Para Junio del 2007 al igual que en las otras dos especies el porcentaje de depredación aumentó notablemente, registrándose una depredación del 78.85% (Figura 3.11).

En el caso de mezquite (*Prosopis juliflora*) durante todas las fechas el mayor porcentaje de depredación se dio en los tratamientos "sola" y "sola tierra de agua", siendo estos los principales responsables de la alta depredación registrada. Desde la primera fecha los tratamientos antes mencionados tuvieron valores cercanos al 50% de plantas depredadas, este valor fue en aumento hasta llegar al 5 de Junio del 2007 con un 100% de plantas depredadas en el tratamiento "solo" y un 90.32% en "solo tierra de agua". Por otra parte, los individuos de mezquite que crecieron en los tratamientos "PVC" y "tierra de agua" (los cuales conforman el tratamiento de "3 grupos") no sufrieron depredación alguna durante los dos primeros meses del experimento, y fue hasta Diciembre del 2006 cuando se registro solo una planta depredada en cada uno de los tratamientos "PVC" y "tierra de agua", lo cual representó el 7.69% y 8.33% de depredación en el orden antes mencionado.

Al igual que en las demás especies el lapso de seis meses entre Diciembre del 2006 y Junio del 2007, resultó ser el más crítico para mezquite en todos los tratamientos en cuanto al aumento de la depredación. De esta forma, para la última fecha de muestreo se registró un 100% de plantas depredadas en todos los tratamientos, con excepción a "solo tierra de agua" donde se tuvo un 90.32% de depredación.

El palo verde (*Cercidium microphyllum*) al igual que mezquite no tuvo plantas depredadas durante los dos primeros meses, para Diciembre del 2006 se registraron dos plantas depredadas tanto en el tratamiento de "PVC" y "3 grupos" lo cual representó un 7.41 % y 7.69 % de depredación respectivamente.

Nuevamente hacia la última fecha de muestreo, los porcentajes de depredación fueron altos en todos los tratamientos, con valores por encima del 80% de plantas depredadas en todos los tratamientos, llegando incluso al 100% en individuos creciendo en "3 grupos". Entre los tratamientos de riego, "tierra de agua" fue donde se registró el menor porcentaje

de depredación con 88%, y entre los tratamientos de agrupación el tratamiento de "2 grupos" fue el que tuvo menos plantas depredadas con un 81.48%; en general, este fue el tratamiento donde se registró el menor porcentaje de plantas de Palo verde depredadas.

El tepehuaje (*Lysiloma watsoni*) tuvo bajos registros de plantas depredadas durante los tres primeros meses del experimento, el mayor número de plántulas depredadas dentro de este lapso de tiempo se observó en Diciembre del 2006 con dos registros para cada uno de los tratamientos, cuyos equivalentes en porcentaje para cada uno de los tratamientos se pueden observar en la Figura 3.11. En esta especie también se presentó el aumento considerable de la depredación de Diciembre del 2006 a Junio del 2007; de esta forma, durante la última fecha de muestreo el menor porcentaje de depredación entre tratamientos de tipos de riego fue para "tierra de agua" con un 66.67%; asimismo, entre los tratamientos de agrupamiento el menor porcentaje de plantas depredadas se observó en "2 grupos" con 77.77%.

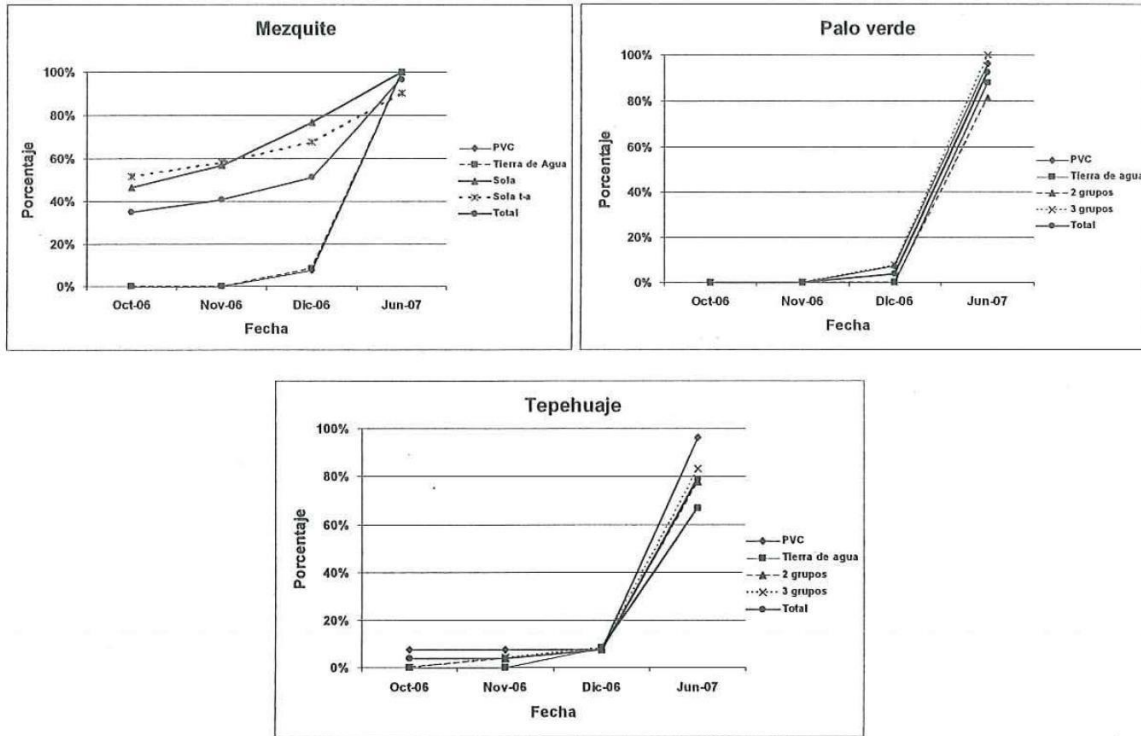


Figura 3.11 Depredación en los transplantes por tratamiento durante el experimento

#### IV.6 Intensidad e Importancia de la competencia (en mezquite)

Con el fin de igualar condiciones en cuanto a tratamientos de riego, para determinar la intensidad e importancia de la competencia se utilizaron los datos de crecimiento de los individuos creciendo solos y con vecinos, en ambos casos en condiciones de riego con poliácridamida.

Durante cada fecha de muestreo el valor de "Intensidad de la competencia" (el efecto directo de la especie A sobre B) siempre fue positivo (Tabla 3.5), lo cual indica que la influencia del vecino sobre la especie "blanco" (mezquite) permitió que esta se desarrollara en mejor forma en lugar de perjudicarla, facilitando así su establecimiento. De la misma forma, el valor de la "Importancia de la competencia" que nos dice que tan importante es la competencia o la facilitación, expresado como una proporción del impacto

total del ambiente resultó positivo. Durante los tres primeros meses del experimento la Importancia de la competencia aumentó conforme las condiciones ambientales y de depredación fueron siendo más adversas.

Las formulas utilizadas sugieren que al funcionamiento de los individuos con vecinos se reste el funcionamiento de estos cuando están solos. En nuestro experimento los individuos de mezquite (*Prosopis juliflora*) tuvieron un mayor crecimiento cuando se encontraban acompañados que cuando estaban solos (Figura 3.12 y tabla 3.4), debido a esto los valores estimados fueron positivos.

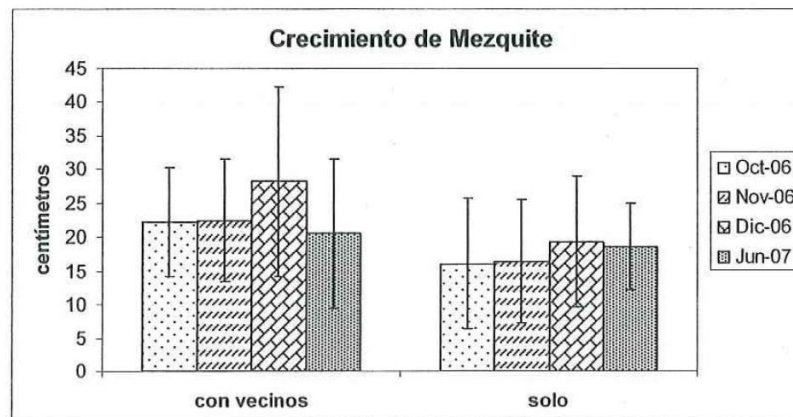


Figura 3.12 Crecimiento en centímetros del mezquite creciendo solo y con vecinos

Tabla 3.4 Parámetros utilizados en las formulas de "Intensidad" e "Importancia" de la competencia

Fecha:	Promedio con vecino	Promedio Solo	Máximo con	Máximo Solo	Mas Pequeño
Oct-06	22.18	16.06	34.5	37	3
Nov-06	22.46	16.39	40	31	2.5
Dic-06	28.27	19.23	55	34	2
Jun-07	20.54	18.61	34.5	27	3

Tabla 3.5 Resultados por fecha de muestreo de la importancia e intensidad de la competencia

<i>Fecha:</i>	<i>Cint:</i>	<i>Cimp:</i>
Oct-06	0.276	0.180
Nov-06	0.270	0.213
Dic-06	0.320	0.282
Jun-07	0.094	0.080

## V. DISCUSIÓN.

### V.1 Temperatura

La temperatura registrada en el tratamiento de agrupación por tres especies durante el estudio fue mayor a la del espacio abierto en la mitad del invierno, a partir de mediados de Enero hasta finales de Febrero.

Es importante resaltar que durante los días más fríos (cuando la temperatura diaria promedio fue inferior a los 11 °C), la temperatura promedio diaria registrada dentro del tratamiento "tres grupos" fue ligeramente mayor a la del "espacio abierto", incluso en algunos días hasta en un grado centígrado. Los datos que originaron el promedio diario de temperatura se obtuvieron cada media hora, si se analizan los días más fríos sin obtener el promedio diario la tendencia fue que, durante la parte más fría de la mañana (durante la noche y al amanecer) la temperatura que se registró en el tratamiento de "tres grupos" fue hasta 1.5 °C menor que la del "espacio abierto". Conforme el día avanzaba las temperaturas iban en aumento también, presentándose una mayor temperatura en el tratamiento de "tres grupos" de hasta 4 °C en promedio con respecto al "espacio abierto". Dado que la mayor diferencia en temperatura se dio a favor del tratamiento de "tres grupos" el promedio diario fue mayor para este sitio que en "espacio abierto".

La razón por la cual al ir avanzando el día la temperatura fue mayor en el tratamiento "tres grupos" se debe a que el contenido de humedad dentro del agrupamiento de las especies pudo ir en aumento también, esto como consecuencia de la evaporación del agua en el suelo y a la transpiración de las plantas. Lo anterior aunado a lo que se explicó en el capítulo anterior en el sentido de que la misma estructura de las plantas no permitían el libre flujo del aire y el calor específico del agua retuvo el calor, explica el por que en un

lugar "sombreado" resultó tener una mayor temperatura. El hecho de haber tenido una temperatura de hasta cuatro o más grados centígrados en estos agrupamientos de tres especies, pudo haber favorecido al proceso fotosintético de los mezquites bajo este tratamiento en relación a los que se encontraban solos.

El hecho de haber tenido temperaturas mas bajas en tratamientos "tres grupos" quizás influyó en el desarrollo y mortalidad de los individuos de Tepehuaje, ya que esta es una especie susceptible al congelamiento. Lo anterior se menciona ya que la mayoría de los transplantes de tepehuaje que murieron no presentaron evidencias de depredación; y además, se hizo la observación de que durante el invierno casi el 100 % de los individuos de esta especie se vieron afectados por congelamiento pensando que habían muerto casi todos los individuos, sin embargo, a la llegada de la primavera la mayoría de los individuos afectados comenzaron a rebrotar.

## **V.2 Humedad en el perfil del suelo (transplantes y en espacio con y sin rastra)**

De los dos tratamientos de riego utilizados el de "PVC" fue el que mantuvo el mayor porcentaje de humedad en el perfil vertical del suelo. Al parecer, el hecho de que el sistema de riego "PVC" proporcione el agua a partir de los 20 cm de profundidad ayudó a lograr una menor evaporación, así como una mayor infiltración del agua hacia los siguientes perfiles del suelo.

Los tratamientos de "PVC" y tierra de agua, también representan a los sitios donde se colocaron especies por agrupamiento, el sitio "con rastra" se puede considerar como las condiciones bajo las cuales se estuvieron desarrollando los transplantes de mezquite solos, mientras el sitio "sin rastra" fue donde no se realizaron trabajos de mejora en el suelo, representado las condiciones iniciales del terreno.

Los datos del 10 de Noviembre del 2006 muestran un mayor contenido de humedad en el perfil del suelo en el tratamiento "con rastra" con respecto a "PVC" y "tierra de agua", esto nos puede dar una idea de que las especies agrupadas en estos tratamientos estaban utilizando el agua en este nivel, y que las especies de mezquite solas crecían bajo mejores condiciones de humedad.

Para el 06 de Agosto del 2007, las condiciones de humedad fueron diferentes, el perfil del suelo en ambos tratamientos tuvieron un mayor contenido de humedad que el sitio "con rastra". En este caso, la evaporación debido a las altas temperaturas del verano puede haber contribuido a que el sitio "con rastra" haya tenido menor contenido de humedad en el suelo, por el contrario la protección que proporcionó el dosel de las plantas en los tratamientos de agrupación mantuvieron un mayor contenido de humedad en el suelo durante el verano.

### **V.3 Crecimiento, mortalidad y depredación de los transplantes**

Durante la duración del estudio, sin separar a los individuos por tratamiento, los transplantes de Palo verde (*Cercidium microphyllum*) y Tepehuaje (*Lysiloma watsoni*) fueron los que tuvieron el mejor desempeño en cuanto a crecimiento, mortalidad y depredación. Los transplantes de mezquite que se colocaron solos fueron los que representaron los peores resultados; de tal forma que esto se reflejó al momento de promediar el crecimiento general por fecha, así como el porcentaje mortalidad y la depredación. Sin embargo, si solo tomamos en cuenta aquellos mezquites que crecieron en "tres grupos", es decir, agregados a las otras dos especies utilizadas, podemos ver que el crecimiento fue realmente importante y el porcentaje de mortalidad al final del estudio fue muy bajo, asimismo los porcentajes de depredación de mezquites acompañados

fueron muy bajos durante los primeros tres meses del estudio, sin embargo para el final del experimento la depredación fue cerca del 100% para todos los tratamientos.

En un experimento realizado por Turner *et al.* 1969 en el desierto sonorense, se reportaron altos porcentajes de depredación en plántulas de Saguaro colocadas dentro y fuera de la influencia del dosel de plantas nodrizas; sin embargo, la tasa de sobrevivencia de las plántulas colocadas bajo la sombra de plantas nodrizas fue mucho mayor que las colocadas en espacios abiertos.

El resultado de Turner *et al.* 1969 es similar al de este experimento de restauración, en el sentido de que en este caso, aunque al final del experimento hubo tasas de depredación muy altas en los trasplantes de Mezquite (*Prosopis Juliflora*) en ambos tratamientos de agrupación (figura 3.11), los porcentajes de mortalidad fueron mucho mayores en los mezquites que se encontraban solos (figura 3.10). El tratamiento donde se obtuvo el mejor resultado en cuanto al crecimiento, depredación y mortalidad de mezquite fue cuando este se encontraba agregado y bajo el sistema de riego por "PVC". Lo anterior se puede explicar en el sentido de que los trasplantes que se encontraban solos no contaron con la protección contra herbívoros que proporcionó *Cercidium microphyllum* en los primeros meses del experimento, ni con las condiciones de humedad retenida en los tratamientos de agrupación, de tal forma la tolerancia de los mezquites solos a la depredación fue menor y esto se reflejó en un alto porcentaje de mortalidad al final del estudio.

La tendencia general en todas las especies fue que existió un crecimiento promedio los primeros tres meses del estudio, seguido de un decremento en el tamaño de todos los individuos bajo los distintos tratamientos. En el caso de mezquite, la diferencia entre fechas de muestreo en el tamaño de los individuos solo fue estadísticamente significativa en los períodos Octubre-Diciembre y Diciembre-Junio, en ambos casos las diferencias se detectaron en el promedio total, así como en los tratamientos de "PVC" y "tres grupos".

De lo anterior se puede decir que durante los primeros meses hubo un mejor desarrollo de los individuos de mezquite cuando se agrupaban y cuando se les suministraba agua por medio del sistema de riego por "PVC"; sin embargo, al final del experimento fueron estos dos tratamientos los más afectados por la depredación que se presentó en el período de Diciembre a Junio (Figura 3.11).

Aunque los trasplantes de *Prosopis juliflora* colocados en los tratamientos de "PVC" y "tierra de agua" fueron los más afectados por la depredación, esto no afectó tanto a los individuos de mezquite que se encontraban bajo estos tratamientos, ya que la mortalidad en estos dos sitios al final del experimento fue de solo el 0% en "tierra de agua" y de 7.14% en "PVC". En este caso, se considera que el efecto nodriza y de micrositio producto de la agregación de los individuos, permitieron una mayor tolerancia a la depredación con respecto a los individuos que crecieron solos.

La única diferencia en crecimiento entre fechas en los individuos de palo verde se presentó durante el período de Octubre a Diciembre, en el tratamiento de "dos grupos". El crecimiento de los individuos de palo verde solo fue significativo en el tratamiento y período antes mencionado. La razón por la cual en casi todo el estudio (excepto el primer mes), los individuos de palo verde que se encontraban en "dos grupos" hayan tenido un mayor crecimiento, puede ser consecuencia de una interacción que no favoreció a los individuos de palo verde que se colocaron en "tres grupos" (Figura 3.7 Tabla 3.3). No obstante que el crecimiento fue mayor en individuos de palo verde colocados en grupos de dos especies y que el porcentaje de depredación fue menor, la mortalidad fue mayor bajo estas condiciones.

Con excepción a la comparación entre la fecha inicial y la final, la diferencia en crecimiento de las demás fechas de muestreo para la especie *Lysiloma watsoni* fue lo suficientemente grande como para representar una diferencia estadísticamente

significativa. El desarrollo de *Lysiloma watsoni* dentro de los primeros tres meses del estudio fue el mejor de las tres especies utilizadas; no obstante, al final del experimento junto con *Prosopis juliflora* fue la especie mas afectada por la bajas temperaturas del invierno y el aumento de la depredación que se presentó en el período de Octubre – Diciembre.

En resumen, si se analizan los datos de crecimiento de las tres especies utilizadas en los distintos tratamientos de agrupación, se puede observar que colocar a las especies en grupos de tres fue mejor para los trasplantes de *Prosopis juliflora*, ya que el mejor desarrollo de esta especie, así como el menor porcentaje de mortalidad se presentó en este tratamiento. Por el contrario, el agrupar en tres especies a los individuos de *Cercidium microphyllum* y *Lysiloma watsoni* no resultó ser lo mejor en ambos casos, ya que el tamaño de los trasplantes en este tratamiento fue generalmente menor que en grupos de dos especies. De igual forma, los porcentajes de mortalidad y depredación fueron mayores en agrupaciones de tres especies.

#### **V.4 Intensidad e Importancia de la competencia (en mezquite)**

Aunque los modelos conceptuales de la estructura de las comunidades se han basado explícita e implícitamente en la competencia, han surgido evidencias empíricas y teórica a favor de las interacciones positivas o facilitación, como otro fenómeno importante que afecta la distribución, productividad y reproducción de las especies que conforman una comunidad (Hunter y Aarssen, 1988; DeAngelis *et al.*, 1986).

El efecto de facilitación que pueden ofrecer algunas especies es muy importante en la estructuración de las comunidades desérticas. Por citar un ejemplo, en el desierto del Mojave del 88 al 95% del paisaje es abierto, pero solamente del 10 al 33% de las plantas

jóvenes de *Larrea tridentata* crecen en espacios abiertos, mientras que la mayoría son encontrados debajo del dosel de arbustos de *Ambrosia sp* (McAuliffe, 1988).

Con el objetivo de saber si agrupar a las especies, imitando a las comunidades naturales, representaría una ventaja, en el sentido de que facilitaría el establecimiento de las especies, o si por el contrario sería una desventaja debido a una posible competencia, se usaron las formulas de Intensidad e Importancia de la competencia propuestas por Broker *et al.* 2005.

La "Intensidad de la competencia" determina el efecto que tiene el vecino sobre nuestra especie objetivo (en nuestro caso mezquite), de esta forma si el resultado es un valor negativo, indica una relación de competencia entre las especies, por el contrario un valor positivo muestra una interacción positiva o facilitación.

En este estudio los datos que se utilizaron en las fórmulas fue el tamaño en centímetros de los mezquites creciendo solos y con tierra de agua, así como aquellos que se colocaron en "tres grupos" con tierra de agua. Se utilizaron estos datos ya que son los que presentaron igualdad de condiciones en cuanto al sistema de riego.

Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en cada mes en cuanto a estos dos tratamientos, el crecimiento promedio en cada fecha de muestreo siempre fue mayor en los individuos que se encontraban en "tres grupos". Una vez que se obtuvieron los resultados de las fórmulas, se observó que los valores de "Importancia de la competencia" fueron positivos, lo cual es una evidencia de que existe una interacción positiva entre las especies agrupadas, lo cual favoreció al crecimiento de mezquite *Prosopis juliflora*. De la misma forma, los valores de "Importancia de la competencia", es decir, el peso de la facilitación respecto al total de las condiciones ambientales que incidieron en el desarrollo de mezquite, también fueron positivos (Tabla 3.5). La

“Importancia de la competencia” fue en aumento conforme la disminución de la precipitación, las bajas temperaturas y el aumento en la depredación se convertían en los factores limitantes del desarrollo óptimo de los individuos que no se encontraban agrupados.

Los resultados concuerdan con la creciente evidencia de que existen interacciones positivas o de facilitación y que además pueden ser usadas en técnicas de restauración. Entre los estudios que sugieren el aprovechamiento de las interacciones en la restauración se encuentra el desarrollado por Padilla y Pugnaire (2006), quienes sugieren que en sitios donde la restauración fracasa debido a condiciones ambientales adversas o por intensa herbivoría, se pueden utilizar especies que minimicen estos efectos para mejorar el establecimiento de especies “blanco”. En el caso de un estudio realizado por Castro *et al.* (2002), los porcentajes de sobrevivencia de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* fueron considerablemente más altos cuando se encontraban acompañados del arbusto *Salvia lavandulifolia*.

En el experimento de restauración de esta tesis, el hecho de representar “islas de fertilidad” al agrupar las especies, resultó tener un claro efecto de facilitación para Mezquite (*Prosopis juliflora*). En este estudio, las diferencias en el crecimiento, mortalidad y depredación entre mezquites creciendo agrupados y aquellos que se encontraban solos, son una clara evidencia de las ventajas que provee la facilitación.

## VI. CONCLUSIONES

- Se encontró un crecimiento constante de todas las especies durante el estudio, asimismo, aunque la depredación al final del experimento afectó a casi la totalidad de los individuos, los porcentajes de mortalidad estuvieron dentro de un rango aceptable.
- Las condiciones microambientales que se presentaron bajo los tratamientos de agrupación, en cuanto a la retención de humedad y el amortiguamiento de las temperaturas bajas durante el invierno, fueron factores determinantes en el desarrollo óptimo de los individuos durante el estudio.
- El utilizar a *Cercidium microphyllum* como una estrategia de protección contra herbívoros, debido a que este es poco palatable funcionó en los primeros meses del experimento. Lo anterior lo demuestran las diferencias en depredación entre los individuos de *Prosopis juliflora* cuando estaban acompañados y cuando se colocaron solos.
- Las diferencias entre el crecimiento promedio, depredación y mortalidad entre los individuos de *Prosopis juliflora* creciendo agrupados y solos, aunados al cálculo de la "Intensidad" y la "Importancia" de la competencia, nos dan una evidencia clara de que existieron interacciones positivas de facilitación, lo cual favoreció el establecimiento y desarrollo de los individuos de mezquite.
- Al final del estudio, casi la totalidad de los individuos de *Prosopis juliflora* fueron depredados sin importar el tratamiento. Sin embargo, el efecto microambiental de los tratamientos de agrupación sobre la disponibilidad de recursos, ayudó a que la tolerancia

a la depredación de los individuos acompañados fuera mayor que la de aquellos que se transplantaron solos.

- La asociación de especies no favoreció a *Prosopis juliflora* solamente, si no que los datos de crecimiento, así bajos porcentajes de mortalidad y depredación de los individuos de *Cercidium microphyllum* y *Lysiloma watsoni*, también muestran que la agrupación de especies resultó ser una buena estrategia para la restauración de matorrales desérticos en Sonora.

## CONCLUSIÓN GENERAL

En general los intentos por restaurar sitios degradados han consistido en experiencias de prueba y error. Esto debido a que no se conoce una teoría general ecológica que respalde la práctica de los trabajos de restauración.

La restauración ecológica es un campo cuyo conocimiento ha ido en aumento dentro de las últimas décadas. Sin embargo, los trabajos que han sido publicados se refieren principalmente a zonas templadas, mientras que en zonas desérticas todavía se conoce muy poco acerca de la aplicación de la teoría ecológica en los intentos de restauración, en el caso de la restauración de campos agrícolas abandonados el conocimiento es casi nulo.

La competencia por recursos, herbivoría, características del suelo, microorganismos, microclima y patrones de disponibilidad temporal y espacial de recursos son tópicos muy importantes de la formación de comunidades vegetales y que pueden ser determinantes en el éxito de la restauración, sin embargo no han sido tomados en cuenta con la atención debida.

El principal logro del presente trabajo es que se documentó la importancia que representa el tomar en cuenta la teoría ecológica en la restauración de campos agrícolas abandonados de zonas áridas. Se comprobó que la presión de la herbivoría durante el lapso otoño-invierno aunado a la sequía tienen un efecto negativo en la sobrevivencia de las especies utilizadas en la restauración. Por otra parte, también se demostró que la estrategia de agrupar especies con distintos atributos funcionales aumenta mejora el establecimiento de las especies.

Estos resultados se unen a la creciente evidencia que sugiere la importancia de tomar en cuenta a la teoría ecológica en los proyectos de restauración.

## Bibliografía general

- Aguilar, M.R., and O.E. Sala. 1994. Competition, facilitation, seed distribution, and the origin of patches in a Patagonian steppe. *Oikos* 70:26-34.
- Aide, T. M., and J. Cavelier. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology* 2:219-229.
- Allen, E.B. 1995. Restoration Ecology: Limits and Possibilities in Arid and Semiarid Lands. Proceedings of the Eighth Wildland Shrub and Arid Land Restoration Symposium, USDA Forest Service, General Technical Report INT-GTR-315:7-15.
- Anderson & Ostler 2002 Revegetation of Degraded Lands at U.S. Department of Energy and U.S. Department of Defense Installations: Strategies and Successes. *Arid Land Research and Management* 16:197-212.
- Arreguin, J., Figueroa, G. and Peña S. 1968. Estudio hidrogeológico de los acuíferos de la Costa de Hermosillo, Sonora. Ariel Consultores y Dirección de Aguas Subterráneas. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México. 1:1-18.
- Arriaga V., Cervantes V. y Vargas-Mena A. 1994. Manual de reforestación con especies nativas. Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología. México, 186 pp.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Madrid, España. McGraw-Hill. Interamericana pp. 522.
- Bainbridge D.A. and Virginia R.A. 1990. Restoration in the Sonoran desert of California. *Restoration and Management Notes* 8 (1): 3-14.
- Bainbridge, D. A. 2001. Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management* 48: 79-88.
- Banerjee, M. J., Gerhart, V. J. and Glenn, E. P. 2006. Native Plant Regeneration on Abandoned Desert Farmland: Effects of Irrigation, Soil Preparation, and Amendments on Seedling Establishment. *Restoration Ecology* 14 (3):339-348.
- Barnes, P.W., Archer, S. 1999. Tree–shrub interactions in a subtropical savanna parkland: competition or facilitation? *Journal of Vegetation Science* 10:525–536.
- Belsky, A. J. 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75:922-932.

- Bellot J., Ortiz De Urbina J.M., Bonet A. and Sánchez J.R. 2002. The effects of treeshelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry* 75: 89-106.
- Bellot J., Maestre F. T., Chirino E., Hernández N. and de Urbina J. O. 2004. Afforestation with *Pinus halepensis* reduces native shrub performance in a Mediterranean semiarid area. *Acta Oecologica*. 25:27-15.
- Bertness, M. D. and Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 191-193.
- Bertness MD, Trussell CG, Ewanchuk PJ, Silliman BR. 2002. Do alternate stable community states exist in the Gulf of Maine rocky intertidal zone? *Ecology* 83: 3434-3448
- Bisigato, A., and M.B. Bertiller.1999. Seedling emergence and survival in contrasting soil microsites in Patagonian Monte shrubland. *Journal of Vegetation Science* 10:335-342.
- Brooker, R. W. and Callaghan, T. V. 1998. The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos* 81:196-207.
- Brooker, R., Kikvidze, Z., Pugnaire, F. I., Callaway, R. M., Choler, P., Lortie, C. J. and Michalet, R. 2005. The importance of importance. *Oikos* 109:63-70.
- Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Felger, R., Yeatman, D., 1999. Vegetation and habitat diversity at the southern edge of the Sonoran Desert. In: Robichaux, R.H. (Ed.), *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. Arizona University Press, Tucson, pp.36-68.
- Caldwell, M.M. and J.H., Richards. 1989. Hydraulic lift: water efflux from upper roots improves effectiveness of water uptake by deep roots. *Oecologia* 79:1-5.
- Call, C., and B. Roundy. 1991. Perspectives and processes in revegetation of arid and semiarid rangelands. *Journal of Range Management* 44: 543-549.
- Callaway, R.M., N.M. Nadkarni, and B.E. Mahall. 1991. Facilitation and interference of *Quercus douglasii* on understory productivity in central California. *Ecology* 72:1484-1499.
- Callaway, R.M. 1992. Effect of shrubs on recruitment of *Quercus douglasii* and *Quercus lobata* in California. *Ecology* 73:2118-2128.

- Callaway M.R. 1995. Positive Interactions among plants. *The Botanical Review* 61(4):306-349.
- Callaway, R. M., Walker L. R. 1997. Competition and Facilitation: A Synthetic Approach to Interactions in Plant Communities. *Ecology* 78 (7):1958-1965.
- Castellanos, A.E. & Molina, EE. 1990. Differential survivorship and establishment in *Simmondsia chinensis* (Jojoba) [J]. *Journal of Arid environments* 19:65-76.
- Castellanos A.E., Martínez M.J., Llano J.M., Halvorson W.L., Espiricueta M., Espejel I. 2005. Successional trends in Sonoran Desert abandoned agricultural fields in northern México. *Journal of Arid Environments*. 60: 437-455.
- Castellanos A.E. Implementación de estrategias agro-silvo-pastorales para la recuperación de campos abandonados en la Costa de Hermosillo, Sonora. 2003. Propuesta Fondo Sectorial, CONACyT - CONAFOR
- Castro J., Zamora R., Hódar J. A. Gómez J.M. 2002. Use of Shrubs as Nurse Plants: A New Technique for Reforestation in Mediterranean Mountains. *Restoration Ecology* 10(2): 297-305.
- Chambers, J. C., S. B. Vander Wall, and E. W. Schupp. 1999. Seed and seedling ecology of Piñon and Juniper species in the pygmy woodlands of Western North America. *The Botanical Review* 65: 1-38.
- Charney, A., and G. Woodward. 1990. Socioeconomic impacts of water farming on rural areas of origin in Arizona. *American Journal of Agricultural Economics* 72: 1193-1197.
- CNA 1997. Volúmenes de extracción de agua en la Costa de Hermosillo durante 43 años. Hermosillo, CNA Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal.
- Cody, M.L. 1993. Do Cholla Cacti (*Opuntia* spp., Subgenus *Cylindropuntia*) use or need nurse plants in the Mojave Desert? *Journal of Arid Environments* 24:139-154.
- Colin A Chapman and Lauren J. Chapman. 1999. Forest Restoration in Abandoned Agricultural Land: a Case Study from East Africa. *Conservation Biology*. 13(6): 1301-1311

- Connell J.H. 1983. On the Prevalence and Relative Importance of Interspecific Competition: Evidence from Field Experiments. *The American Naturalist* 122(5): 661-696.
- Connell J.H. 1990. Apparent versus real competition in plants. J.B Grace and Tilman (Eds.) *Perspectives in Plant Competition*. San Diego: Academic Press. 9-26.
- Corak, S.J., Blevins, D.G. & Pallardy, S.G. 1987. Water transfer in an alfalfa/maize association. *Plant Physiology* 84:582-586.
- Dawson, T.E. 1993. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia* 95:565-574.
- DDR-51 1993. Plano con la cantidad de sólidos disueltos totales en el manto acuífero en diferentes puntos de la Costa de Hermosillo. Hermosillo, Distrito de Riego No. 51.
- DeAngelis, D. L., W. M. Post and C. C. Travis. 1986. Positive feedback in natural systems. Springer-Verlag, New York. 290 pp.
- Eldridge, D. J., E. Zaady, and M. Shachak. 2002. Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev Desert: the Shikim system. *Landscape Ecology* 17:587-597.
- Felker, P., Clark, P.R., 1981. Nodulation and nitrogen fixation (acetylene reduction) in desert ironwood. *Oecologia* 48:292-293.
- Ffolliott, P. F.; Gottfried, G. J.; Rietveld, W. J. 1995. Dryland forestry for sustainable development. *Journal of Arid Environment* 30: 143-152.
- Fisher, M. and A.S. Garner. 1995. The status and ecology of a *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpus* woodland in the northern mountains of Oman. *Vegetatio* 119:33-51.
- Flores, J. L. F. y E. Jurado. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* 14: 911-916
- Forseth, I.N., Wait, D.A. & Casper, B.B. 2001 Shading by shrubs in a desert system reduces the physiological and demographic performance of an associated herbaceous perennial. *Journal of Ecology* 89:670-680.
- Franco, A.C., and P.S. Nobel. 1988. Interactions between seedlings of *Agave deserti* and the nurse plant *Hilaria rigida*. *Ecology* 69:1731-1740.
- Franco, A.C., and P.S. Nobel. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77:870-886.

- Gerhart, V. 2005. Optimizing native and landscape plant establishment under marginal soil and water conditions in southwestern deserts. Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson.
- Glenn, E.P., W.J. Waugh, D. Moore, C.A. McKeon, and S.G. Nelson. 2001. Revegetation of abandoned uranium millsite on the Colorado Plateau, Arizona. *Journal of Environmental Quality* 30: 1154-1162.
- Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gómez JM, Hódar JA, Castro J. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14 (4):1128–1138.
- Grace, J. B. and Tilman, D. 1990. Perspectives on plant competition. Academic Press.
- Grantz, D.A., D.L. Vaughn, R. Farber, B. Kim, M. Zeldin, T. VanCuren, and R. Campbell. 1988. Plant and environment interactions: seedling native plants to restore desert and mitigate fugitive dust and PM10. *Journal of Environmental Quality* 27:1209-1218.
- Greenlee, J.T. & Callaway, R.M. 1996 Abiotic stress and the relative importance of interference and facilitation in montane bunchgrass communities in western Montana. *American Naturalist* 148:386–396.
- Gutierrez J.R., M. Holmgren, R. Manrique, F.A. Squeo, 2007. Reduced herbivore pressure under rainy ENSO conditions could facilitate dryland reforestation. *Journal of Arid Environments* 68: 322-330.
- Hall, D.B., and D.C. Anderson. 1999. Reclaiming disturbed land using supplemental irrigation in the Great Basin/Mojave Desert transition region after contaminated soil remediation: the Double Tracks project. In *Proceedings: Shrubland Ecotones*. Ephraim, Utah, 12-14.
- Halvorson W. L., A.E. Castellanos, J. Murrieta – Saldivar. 2003. Sustainable land use requires attention to ecological signals. *Environment management*. 32: 551 – 558
- Holzappel C., Mahall B. E. 1999. Bidirectional Facilitation and Interference between Shrubs and Annuals in the Mojave Desert. *Ecology* 80 (5):1747-1761.
- Hunter, A.F. and L.W. Aarssen. 1988. Plants helping plants. *BioScience* 38: 34-40.
- Jones, H.G. 1983. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

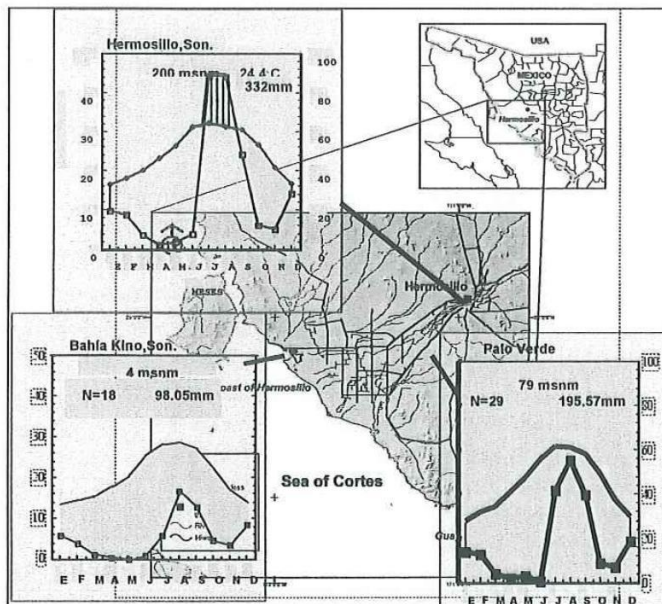
- Jordan, P.W., Nobel, P.S., 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology* 64:901-906.
- Keeley, J.E. 1992. Recruitment of seedlings and vegetative sprouts in unburned chaparral. *Ecology* 73:1194-1208.
- Lash D.W., E.P. Glenn, W.J. Waugh, and D.J. Baumgartner. 1999. Effects of grazing exclusion and reseeding on a former uranium mill site in the Great Basin desert, Arizona. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13: 253-264.
- Liancourt, P., Callaway, R.M. & Michalet, R. 2005. Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology* 86:1611-1618.
- López-Portillo, J., Montaña, C. & Ezcurra, E. 1996. Stem demography of *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* in vegetation arcs and associated bare areas. *Journal of Vegetation Science* 7: 907-910.
- Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J. & Bellot, J. 2001. Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11:1641-1655.
- Maestre, F.T., Bautista, S. & Cortina, J. 2003. Positive, negative, and net effects in grass-shrub interactions in Mediterranean semiarid grasslands. *Ecology* 84:3186-3197.
- Maestre, F.T. & Cortina, J. 2004. Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Proceedings of the Royal Society of London B Supplement* 271:S331-S333
- Maestre, F.T., Valladares, F. & Reynolds, J.F. 2005. Is the change of plant-plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology* 93:748-757.
- Mares, M.A., Enders, F.A., Kingsolver, J.M., Neff, J.L. & Simpson, B.B. 1977. *Prosopis* as a niche component. In: Simpson, B.B. (ed.) *Mezquite. Its biology in two desert scrub ecosystems*, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA. 123-149.
- Martínez, M. J. 1998. Sucesión en Campos de Cultivo Abandonados en la Región Agrícola de la Costa de Hermosillo: Fisiología Ecológica de las Especies Vegetales Dominantes durante la Sucesión e Implicaciones para la Restauración. Facultad de Ciencias. Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Abril, and M. Acosta. 1991. Factors affecting nitrogen dynamics in a semiarid woodland (Dry Chaco, Argentina). *Plant and Soil* 138:8598.

- McAuliffe J.R. 1984. Saguaro-nurse tree associations in the Sonoran Desert: competitive effects of saguaros. *Oecologia* 64:319-321.
- McAuliffe J.R. 1986. Herbivore-limited establishment of Sonoran Desert tree, *Cercidium microphyllum*. *Ecology* 67(1):276-280.
- McAuliffe, J.R. 1988. Markovian dynamics of simple and complex desert plant communities. *The American Naturalist* 131: 459-490.
- McKell, C.M. 1986. Propagation and establishment of plant on arid saline land. *Reclamation of Revegetation Research* 5: 363-375.
- McKeon, C.A., F.L. Jordan, E.P. Gleen, W.J. Waugh, and S.G. Nelson. 2005. Rapid nitrate loss from a contaminated desert soil. *Journal of Arid Environments* 61:119-136
- Michalet, R., Brooker, R.W., Cavieres, L.A., Kikvidze, Z., Lortie, C.J., Pugnaire, F.I., Valiente-Banuet, A. & Callaway, R.M. 2006. Do biotic interactions shape both sides of the humped-back model of species richness in plant communities?. *Ecology Letters* 9:767-773.
- Moreno, J. L. 2000. Apropiación y Sobreexplotación del Agua Subterránea en la Costa de Hermosillo: 1945-2000. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social - Occidente. Guadalajara, Universidad de Guadalajara: 393.
- Moro, M.J., F.I. Pugnaire, P. Haase, and J. Puigdefábregas. 1997. Effect of the Canopy of *Retama sphaerocarpa* on its understorey in a semiarid environment. *Functional Ecology* 11:425-431.
- Murrieta, J., W. L. Halvorson and A. E. Castellanos. 1995. Land and Groundwater Use of La Costa de Hermosillo, Sonora, México. Hermosillo, Universidad de Sonora: 39.
- Nepstad, D.C., C. Uhl, C.A. Pereira, and J.M.C. da Silva. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern-Amazonia. *Oikos* 76:25-39.
- Padilla, F. M. and F. I. Pugnaire. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and Environment* 4(4): 196-202.
- Parker, C., 1988. Environmental relationships and vegetation associates of columnar cacto in the northern Sonoran Desert. *Vegetatio* 78: 125-140.
- Patten, D.T., 1978. Productivity and production efficiency of an upper Sonoran desert ephemeral community. *American Journal of Botany* 65:891-895.

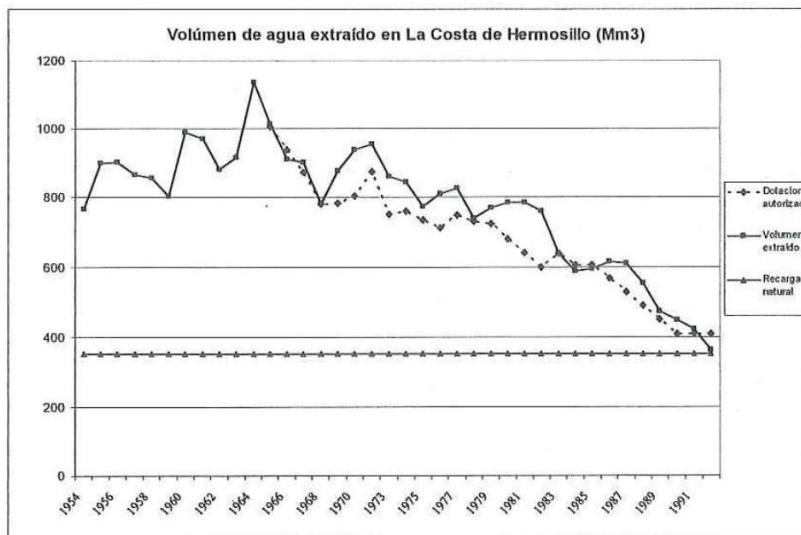
- Paulsen, H.A. Jr. 1950. Mortality of velvet mezquite seedlings. *Journal of Range Management* 3:281-286.
- Pugnaire, F.I., P. Haase, and J. Puigdefábregas. 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology* 77:1420-1426.
- Pugnaire, F. I. and Luque, M. T. 2001. Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos* 93: 42- 49.
- Rangel-Medina Miguel; Monreal Saavedra Rogelio; Morales Montaña Mariano; Castillo Gurrola José. 2003. Caracterización geoquímica e isotópica del agua subterránea y determinación de la migración de la intrusión marina en el acuífero de la Costa de Hermosillo, Son., México.
- Richards, J.H., and M.M. Caldwell. 1987. Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. *Oecologia* 73:486-489.
- Ries, R.E., F.M. Sandoval, and J.F. Power, 1998. Irrigation water for vegetation establishment. *Journal of Range Management* 41: 210-215.
- Roundy, B.A., H. Heydari, C. Watson, S.E. Smith, B. Munda, and M. Pater. 2001. Summer establishment of Sonoran Desert species for revegetation of a abandoned farmland using line source sprinkler irrigation. *Arid Land Research and Management* 15:23-39.
- Sans, F.X., J. Escarré, V. Gorse, and J. Lepart. 1998. Persistence of *Picris hieracioides* populations in old fields: an example of facilitation. *Oikos* 83:283-292.
- Schlesinger, W.H.1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* 77:364-374.
- Soriano, A., and O.E. Sala. 1986. Emergence and survival of *Bromas setifolius* seedlings in different microsites of a Patagonian arid steppe. *Israel Journal of Botany* 35:91-100.
- Suzán, H., G. Nabhan, and D.T. Patten. 1996. The importance of *Olneya tesota* as a nurse plant in the Sonoran Desert. *Journal of Vegetation Science* 7:635-644.
- Suzán-Azpiri H., Sosa V.J. 2005. Comparative performance of the gigant cardon cactus (*Pachycereus pringlei*) seedlings under two leguminous nurse plant species. *Journal of arid environments* 65:351-362.

- Temperton, V. M. and R. J. Hobbs. 2004. The search for ecological assembly rules and its relevance to restoration ecology. *Assembly Rules and Restoration Ecology*. Washington, Island Press: 34 - 54.
- Tielbörger, K. & Kadmon, R. 2000. Temporal environmental variation tips the balance between facilitation and interference in desert plants. *Ecology* 81:1544–1553.
- Turner, R., Alcorn, S., Olin, G., Booth, J., 1966. The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* 127:95-102.
- Uhl, C., C. Jordan, K. Clark, H. Clark, and R. Herrera. 1982. Ecosystem recovery in Amazon caatinga forest after cutting and burning, and bulldozer clearing treatments. *Oikos* 38:313-320
- Uhl, C., R. Buschbacher, and E.A.S. Serrao. 1985. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the eastern Amazon. *Biotropica* 17:265-268
- Valiente-Baunet, A., and E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ecology* 79:961-971.
- Vetaas, O.R. 1992. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetation Science* 3:337-344.
- Weltzin J. F., McPherson G. R. 1999. Facilitation of Conspecific Seedling Recruitment and Shifts in Temperate Savanna Ecotones. *Ecological Monographs* 69 (4):513-534
- Wied, A., and C. Galen. 1998. Plant parental care: conspecific nurse effects in *Frasera speciosa* and *Cirsium scopulorum*. *Ecology* 79:1657-1668.
- [http://www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/publica/tiac-01/Area%20IV-3.pdf](http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/tiac-01/Area%20IV-3.pdf)
- <http://www.agroson.org.mx>

Anexos



Anexo 1. Promedio anual de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas alrededor del Distrito de Riego No. 51 Costa de Hermosillo.



Anexo 2. Historia de 40 años de extracción de agua del acuífero de La Costa de Hermosillo en relación a la dotación autorizada y a la recarga natural (datos de Moreno, 2000).



Anexo 3. Comparación de la extracción del agua con la superficie sembrada durante 40 años en la Costa de Hermosillo (datos de Moreno, 2000).



Anexo 4. Abatimiento en metros con respecto al nivel del mar del manto acuífero en la Costa de Hermosillo durante el período 1960-1992 (datos de Moreno, 2000).