

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

EFFECTO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE ZACATE BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.) EN LA GERMINACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES NATIVAS DEL MATORRAL XERÓFILO DE SONORA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
CON OPCIÓN EN:

RECURSOS NATURALES TERRESTRES

PRESENTA:

DULCE OLIVIA ESPINOZA GÁMEZ

Hermosillo, Sonora

Diciembre del 2015

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



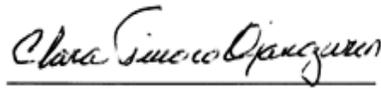
"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



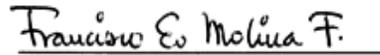
Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## FORMATO DE APROBACIÓN

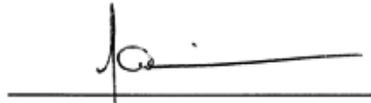
Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Dulce Olivia Espinoza Gámez la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres.



Dra. Clara Leonor Tinoco Ojanguren  
Director de Tesis



Dr. Francisco Elizandro Molina Freaner  
Sinodal Secretario



Dra. Maria Gistina Peñalba Garmendia  
Sinodal



Dra. Reyna Amanda Castillo Gámez  
Suplente

## DEDICATORIA

*A mis padres*

Por su cariño, paciencia y por todo su apoyo incondicional

*A mis hermanos*

Por su comprensión, amistad y gran cariño

*A mi directora de tesis*

Por su gran paciencia, por creer en mí y  
por introducirme en el mundo de las plantas invasoras

El hombre es la especie más demencial de todas. Adora un Dios invisible y masacra a la Naturaleza tan visible... sin darse cuenta de que esta Naturaleza que masacra es ese Dios invisible al que adora.

Hubert Reeves

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Sonora**, especialmente al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, por el apoyo académico y profesional brindado durante mis estudios.

Al Laboratorio de Ecología Molecular y Funcional del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, pues sin el uso de sus instalaciones y equipo no hubiera sido posible la realización de este trabajo de tesis.

Agradezco al **Centro Ecológico del Estado de Sonora** por permitirme realizar este trabajo de tesis dentro de sus instalaciones y área de reserva.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT proyecto IN212914 por brindarme el apoyo económico para la realización de este trabajo de tesis.

A mi directora de tesis, la **Dr. Clara Tinoco Ojanguren** por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis bajo su dirección, a pesar de mi rápida llegada. Por sus consejos, apoyo, su tiempo y demasiada paciencia muchas gracias.

A los miembros del comité de tesis: la **Dra. María Cristina Peñalba Garmendia** por brindarme su tiempo, sus consejos y observaciones. Al **Dr. Francisco Molina** y a la **Dra. Reyna A. Castillo Gámez** por sus enseñanzas a lo largo de mis estudios, por sus ánimos y su retroalimentación durante la realización de mi trabajo de tesis.

A **José F. Martínez Rodríguez** del Instituto de Ecología de la UNAM, por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio.

A **Anabel M. Díaz Martínez** del Instituto de Ecología de la UNAM, por brindarme su ayuda en el manejo de las bases de datos y los análisis estadísticos.

A la **Dr. Clara Tinoco Ojanguren, José F. Martínez Rodríguez y Anabel M. Díaz Martínez** por el apoyo en campo, durante los censos y hacer más ameno el trabajo en campo, muchas gracias.

A tantos amigos a Andrea, Thelma, Arturo, Ruth, Pablo, Sergio y Laura gracias por su compañía y amistad en mi estadío en el laboratorio. A mis compañeros de la licenciatura por todas las experiencias compartidas.

A toda mi familia, tanto Espinoza como Gámez, por su apoyo, comprensión y paciencia a lo largo de mi carrera, muchas gracias, sin su apoyo hubiera sido imposible la culminación de mis estudios.

## CONTENIDO

FORMATO DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. ANTECEDENTES	5
III.1. Cambio de Uso de Suelo	5
III.2. El Zacate Buffel como Planta Invasora	6
III.3. Características del Zacate Buffel	7
III.4. Consecuencias del Establecimiento de Praderas e Invasión de Zacate Buffel en Plantas Nativas	8
III.4.1 Introducción al ciclo del fuego	9
III.4.2. Pérdida de biodiversidad	10
III.4.3. Regeneración de plantas nativas	10
III.5. Restauración	11
III.5.1 Técnicas de eliminación de zacate buffel	12
III.5.1.1. Control químico	13
IV. JUSTIFICACIÓN	15
V. HIPÓTESIS CIENTÍFICA	16
VI. OBJETIVOS	17
VI.1. General	17
VI.2. Específicos	17

VII. METODOLOGÍA	18
VII.1. Área de estudio	18
VII.1.1. Especies estudiadas	20
VII.2. Diseño Experimental	21
VII.2.1. Efecto de tratamientos de eliminación de zacate buffel en el establecimiento y germinación de cuatro especies de árboles nativos	21
VII.3. Mediciones de Parámetros Ambientales	25
VII.3.1. Temperatura del suelo	25
VII.3.2. Humedad del suelo	25
VII.3.3. Luz	26
VII.4. Determinación de los Efectos del Herbicida (glifosato) en Plántulas Nativas (Experimento en Sombra)	26
VII.5. Efectos del Herbicida Sobre las Hojas de Plantas Nativas	27
VII.6. Análisis Estadístico	27
VIII. RESULTADOS	29
VIII. 1. Tratamientos de Eliminación de Zacate Buffel	29
VIII.1.1. Germinación	29
VIII.1.2. Altura de plántulas	33
VIII.1.3. Supervivencia	36
VIII.1.4. Análisis de Correspondencias en Germinación y Supervivencia	39
VIII.1.5. Análisis de supervivencia	41
VIII.2. Parámetros Ambientales	43
VIII.2.1. Mediciones puntuales de temperatura	43
VIII.2.2. Mediciones continuas de temperatura	45
VIII.2.3. Humedad del suelo	49
VIII.2.4. Luz	51
VIII.3. Experimento de Herbicida en Plántulas Nativas	52
VIII.3.2. Supervivencia	52

VIII.3.3. Biomasa	54
VIII.4. Efecto de Glifosato en Plantas Nativas	57
IX. DISCUSIÓN	59
X. CONCLUSIÓN	65
XI. LITERATURA CITADA	67
XII. APÉNDICE	75
XII.1. Registro de la Germinación en el Experimento de Eliminación de Zacate Buffel	75
XII.2. Registro de la Supervivencia	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla I	Porcentaje de sobrevivencia de hojas de ramas control y ramas tratadas con herbicida en plantas de: <i>Olneya tesota</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Jatropha cardiophylla</i> y <i>Encelia farinosa</i> .	57
Tabla II	Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la germinación entre los tratamientos y entre las especies en los primeros cuatro censos después de la siembra. Se muestran resultados por tratamientos y por especies.	75
Tabla III	Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la germinación entre tratamientos para cada especie, en cada uno de los primeros cuatro censos después de la siembra.	76
Tabla IV	Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la sobrevivencia entre los tratamientos y entre las especies en los primeros cuatro censos después de la siembra. Se muestran resultados por tratamientos y por especies.	77
Tabla V	Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la sobrevivencia entre tratamientos para cada especie, en cada uno de los primeros cuatro censos después de la siembra.	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribución mundial de zacate buffel ( <i>Cenchrus ciliaris</i> L.): En verde la distribución nativa, en amarillo donde está presente pero es incierto si es nativo o introducido y en rojo representa los lugares donde ha sido introducido (tomado de: Marshall et al., 2012).	6
Figura 2	Ciclo de fuego inducido por pastos cespitosos. La introducción de un pasto exótico puede ser con o sin remoción de la vegetación leñosa. La presencia del fuego influye para la selección de pastos exóticos resistentes al fuego, creándose una vegetación tipo sabana. El fuego es retroalimentado por la flamabilidad de las hojas, y las cenizas a su vez proveen una fuente de nutrientes (D'Antonio y Vitousek, 1992).	9
Figura 3	Ubicación del Centro Ecológico del Estado de Sonora (tomado de: Bracamonte, 2015).	18
Figura 4	Promedios mensuales con datos históricos (1961-2008), de precipitación (barras), temperatura mínima, máxima y promedio (líneas con puntos). Los datos son de la estación meteorológica más cercana al área de estudio (PEACC, 2010).	19
Figura 5	Distribución de los tratamientos en la parcela y medidas de la parcela y sub-parcelas. Los diferentes colores de los cuadrantes indican la distribución de los tratamientos: marrón, sin plantas de zacate buffel, azul, zacate buffel tratado con herbicida, naranja, plantas de zacate buffel sin parte aérea y verde con plantas de zacate buffel.	22
Figura 6	La siembra en cada sub-parcela se realizó con la ayuda de una gradilla que se muestra en la imagen, en la que en cada cuadro se sembraron cinco semillas de cada especie.	24

- Figura 7 Porcentaje final de germinación en los diferentes tratamientos (a) y especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de buffel, B es con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a) n=5 y en (b) n=20). 30
- Figura 8 Germinación final por tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n = 5). 32
- Figura 9 Altura de las plántulas a los 50 días de la siembra, en los diferentes tratamientos (a) y especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a) n = 5 y (b) n = 20). 33
- Figura 10 Altura de las plántulas a los 50 días después de la siembra, por tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n = 5). 35
- Figura 11 Sobrevivencia de plantas 236 días después de la siembra por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a) n = 5 y (b) n=20). 36

Figura 12	Sobrevivencia de plantas 236 días después de la siembra por tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> . Las barras representan la media $\pm$ DS (n = 5).	38
Figura 13	Análisis de correspondencia de germinación. Las especies (×) son: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> . Los tratamientos (Ⓢ) son: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.	39
Figura 14	Análisis de correspondencia de sobrevivencia, el análisis se realizó con datos después de 236 días de la siembra. Las especies (×) son: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> . Los tratamientos (Ⓢ) son: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.	41
Figura 15	Análisis de sobrevivencia entre tratamientos. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.	42
Figura 16	Análisis de sobrevivencia entre especies. Las especies son: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> .	43
Figura 17	Temperatura (°C) por fechas y tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ DS (n=5). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel.	44
Figura 18	Temperatura del suelo (°C) tomada en el periodo del 15 de Agosto al 13 de septiembre del 2013 entre 1 y 2 cm de profundidad. Tratamientos: SB, sin zacate buffel; H, con herbicida; SA, sin parte aérea de zacate buffel; y B, con zacate buffel.	47

Figura 19	Promedio diario de temperaturas del suelo, mínimas, y máximas, tomadas en el periodo del 15 de Agosto al 13 de Septiembre del 2013. Tratamientos: SB, sin zacate buffel; H, con herbicida; SA, sin parte aérea de zacate buffel; y B, con zacate buffel.	48
Figura 20	Humedad del suelo por fechas y tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ DS (n = 5). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea del zacate buffel, B con zacate buffel.	50
Figura 21	Radiación fotosintéticamente activa por tratamientos (RFA). Las barras representan la media $\pm$ DS (n = 20). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea del zacate buffel, B con zacate buffel. Se muestran diferencias significativas entre los tratamientos con letras.	51
Figura 22	Sobrevivencia de plántulas por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas, y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm y varios pares de hojas verdadera y C fue el control. Especies: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> . Las barras representan la media $\pm$ DS (en (a) n = 3 y en (b) n= 9).	52
Figura 23	Sobrevivencia de plántulas en los tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue el control. Especies: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> . Las barras representan la media $\pm$ DS (n = 3).	53
Figura 24	Biomasa de plántulas por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue el control. Especies: <i>Acacia willardiana</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Olneya tesota</i> y <i>Parkinsonia florida</i> Las barras representan la media $\pm$ DS	54

(n = 3).

- Figura 25 Biomasa de plántulas en tratamientos en cada una de las especies. Los 56  
tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas  
verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue  
el control. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*,  
*Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$   
DS (n = 3).
- Figura 26 Sobrevivencia de *Boerhavia spicata* por tratamiento. En el tratamiento 58  
herbicida las plantas fueron tratadas con glifosato y en el control no  
fueron tratadas.
- Figura 27 Dinámica del porcentaje de sobrevivencia de plántulas en los diferentes 79  
tratamientos para cada especie.

## I. RESUMEN

La implementación de praderas con pastos exóticos para incrementar la producción de ganado bovino ha sido una práctica común en el estado de Sonora. El zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) es el principal pasto que se utiliza para dichos fines, debido a que es resistente a la sequía y al pastoreo. Se ha reportado que este pasto invade áreas naturales donde antes no se había sembrado. En áreas invadidas disminuye la diversidad de especies, limita el crecimiento de plantas herbáceas, además acentúa la intensidad y el número de incendios. En praderas de zacate buffel se ha registrado poca regeneración de árboles nativos a pesar de tener años de implementada la pradera. El objetivo de esta tesis es determinar si el zacate buffel tiene un efecto negativo en la germinación y establecimiento de cuatro especies de árboles nativos del matorral xerófilo en un área invadida por zacate buffel, en el Centro Ecológico del Estado de Sonora, al sur de Hermosillo. En este sitio se establecieron cuatro tratamientos de eliminación de zacate buffel: eliminando el zacate buffel químicamente (H) con un herbicida de amplio espectro (glifosato), eliminando solamente la parte aérea de zacate buffel (SA), eliminando la planta completa de zacate buffel (SB) y un tratamiento control donde no se eliminaron las plantas de zacate buffel (B). Estos tratamientos fueron establecidos aleatoriamente en 20 sub-parcelas de 1m<sup>2</sup>, donde se sembraron 400 semillas de *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Se realizaron censos para germinación y sobrevivencia. Los resultados mostraron que el tratamiento H presentó mejor germinación y sobrevivencia. El tratamiento SB presentó menor germinación. Los tratamientos SA y B tuvieron una germinación media pero no buena sobrevivencia. *O. tesota* presentó mayor germinación, pero *P. microphylla* fue la que sobrevivió mejor. Se concluye que para efectos de restauración con árboles nativos es necesaria la eliminación de zacate buffel.

## II. INTRODUCCIÓN

El cambio de uso de suelo es una de las principales amenazas a la diversidad biológica tanto a nivel mundial como nacional y local. En México la tasa de conversión del suelo para su uso en la agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizales cultivados e inducidos es muy alta (Arriaga, 2009). En el estado de Sonora la conversión de matorral xerófilo y espinoso a praderas inducidas es una de las principales causas de cambio de uso de suelo. Estas praderas están principalmente distribuidas en la parte central del estado y son destinadas a la ganadería extensiva (Franklin et al., 2006), por lo que los matorrales xerófilos y espinosos han sufrido cambios drásticos en su extensión y composición. Para el establecimiento de estas praderas se realizan desmontes, eliminando las plantas nativas, y en su mayoría se siembra zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), una especie exótica forrajera. Oficialmente, la introducción de zacate buffel se consideraba bajo control, pero desde hace más de 10 años se ha observado que tiene la capacidad de dispersarse sin ayuda del hombre e invadir nuevas áreas, principalmente áreas perturbadas (De la Barrera, 2008).

El desmonte producido para el establecimiento del zacate buffel representa una amenaza para la diversidad y conservación de los ecosistemas áridos y semiáridos. Con el desmonte de la vegetación nativa se modifican las propiedades del suelo, lo que conlleva a la pérdida de su estructura y estabilidad, provocando la erosión, y con ello se pierden las características óptimas para el restablecimiento de especies nativas (Arriaga, 2009). Así, para Sonora se ha documentado que en áreas convertidas a praderas de zacate buffel, ha disminuido la cubierta de éste, quedado grandes áreas desnudas, y no se ha dado una recolonización de especies nativas ni de zacate buffel (Franklin y Molina-Freaner, 2010). Por ello desde hace un tiempo se ha prohibido el desmonte total, ahora se deben dejar remanentes de la vegetación nativa (PATROCIPES, 1995), ya sea para sombra para el ganado, o para que en caso de abandono de la tierra las plantas tengan más probabilidades de recolonizar la pradera; sin embargo, esto no siempre se cumple o más bien no se planea correctamente. Además existen muy pocos estudios sobre la capacidad de regeneración de especies nativas en estos sitios transformados.

El fenómeno de invasión por el zacate buffel se ha observado en varias partes de Norte América, como Estados Unidos y México, también Argentina y otros países de América del

Sur y en Australia. En estas regiones este pasto está invadiendo grandes áreas de vegetación natural, perturbando la vegetación nativa, y causando daños en donde invade. Por ejemplo se ha documentado que en Hawái su invasión provocó el desplazamiento de pastizales nativos (Marshall et al., 2012). Su capacidad de invasión se ha relacionado a la presión de propágulos, ya que produce muchas semillas que se dispersan fácilmente. Aunado a esto, estudios ecológicos sobre el zacate buffel incluyendo algunos sobre sus requerimientos para establecerse y crecer, han encontrado que presenta amplios rangos de tolerancia a cambios ambientales, lo que le permite establecerse y crecer en hábitats áridos y semiáridos alrededor del mundo (Ward et al., 2006). Sin embargo existen pocos estudios de poblaciones invasoras de zacate buffel y de las características de las áreas invadidas. Este tipo de estudios nos permitiría entender cuál es la base de su capacidad invasora. Por otra parte al invadir áreas naturales el zacate buffel crea una cobertura continua entre árboles y arbustos nativos, provocando en época de secas una acumulación de combustible y por ende el incremento en la intensidad y número de incendios (Halvorson, 2003). Los incendios favorecen al zacate buffel, que se recupera rápidamente del fuego y puede rebrotar de meristemos de la parte baja de plantas ya establecidas (Miller et al., 2010). Sin embargo, las especies nativas del Desierto Sonorense como *Carnegiea gigantea* no resisten al fuego (Schiermeier, 2005), porque no están adaptadas al mismo. El incremento en la ocurrencia de incendios en la época seca, debido a la alta flamabilidad del zacate buffel, es uno de los aspectos fundamentales que lleva a la permanencia de praderas de zacate buffel y que frena la regeneración natural de plantas nativas (McDonald y McPherson, 2011).

Estudios recientes han demostrado que la inducción de praderas de zacate buffel, aunada con el sobrepastoreo y el pisoteo producen efectos negativos sobre la regeneración y dinámica poblacional de varias especies nativas (Morales-Romero et al., 2012; Tinoco-Ojanguren et al., 2013). En *Pachycereus pecten-aboriginum* se encontró que existe un efecto negativo en el establecimiento de plántulas, y no se encontró ninguna planta joven de *P. pecten-aboriginum* en la pradera de zacate buffel a 10 años del establecimiento de esta. La implementación de prácticas que obligan a dejar remanentes, principalmente plantas arbóreas y/o comestibles o protegidas, en la conversión a praderas de zacate buffel, podría representar una alternativa para la regeneración natural, principalmente para plantas de lento crecimiento.

Existen muy pocos estudios sobre el establecimiento de especies nativas en praderas inducidas de zacate buffel (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008), y no existen estudios del efecto de la invasión de zacate buffel en comunidades naturales. En el presente trabajo se busca enriquecer y aportar datos sobre el estudio de la influencia de la invasión de zacate buffel en la renovación de poblaciones de especies nativas. El objetivo principal es determinar, de manera experimental, si el zacate buffel tiene efectos negativos sobre la germinación y el establecimiento de cuatro especies de árboles nativos del Matorral Xerófilo de Sonora. Para cumplir este objetivo, en este estudio se determinó el efecto de cuatro tratamientos de eliminación de zacate buffel en la germinación y establecimiento de *Acacia willardiana*, *Olneya tesota*, *Parkinsonia microphylla* y *Parkinsonia florida*.

### III. ANTECEDENTES

#### III.1. Cambio de Uso de Suelo

El cambio de uso de suelo es considerado como la mayor amenaza a la biodiversidad. En México se registra una pérdida de entre 500 000 y 700 000 hectáreas de áreas naturales al año, pero la mayor pérdida de vegetación natural ocurre en la parte árida y semiárida (Bravo-Peña et al., 2010). En Sonora el cambio de uso del suelo en su mayoría es para su uso en ganadería extensiva, agricultura de riego, y en los últimos años para el desarrollo de la acuicultura. La actividad ganadera extensiva en Sonora se remonta a la época de colonización por los españoles. Desde entonces se le dio uso ganadero a la región central del estado, y poco a poco esta actividad fue extendiéndose por todo el estado. Así, la presión a los ecosistemas por la ganadería ocurre desde hace muchos años, y ha resultado en la compactación del suelo, disminución de la productividad, modificación de los patrones de distribución de especies, e introducción de especies exóticas. También probablemente ha ocasionado la pérdida de algunos pastos nativos, y supresión de algunas especies palatables para el ganado, lo que ha provocado un cambio en la estructura y función de los ecosistemas (Castellanos-Villegas et al., 2010).

La ganadería extensiva que se practica en las zonas áridas produce una presión a la cubierta vegetal natural, pero no provoca un cambio radical en la composición de especies (Allington y Valone, 2011). Sin embargo, desde hace tiempo la ganadería extensiva se ha tratado de mejorar implementando la creación de praderas con pastos exóticos. Para la implementación de estas praderas se remueve completamente la cubierta vegetal y se siembra pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) o zacate buffel como lo nombraremos a partir de ahora. Esta práctica resulta en cambios cualitativos en el ecosistema (Bravo-Peña et al., 2010; Franklin y Molina-Freaner, 2010).

### III.2. El Zacate Buffel como Planta Invasora

Entre 1880 y 1930, ganaderos de Australia, Inglaterra, Sudáfrica y Estados Unidos buscaron alrededor del mundo pastos para la producción de forraje para el ganado. Algunos pastos africanos fueron seleccionados por su tolerancia a la sequía y su alta productividad, estos pastos “milagro” incluyen al zacate buffel (Cox et al., 1988). Este pasto se introdujo para mejorar la producción de ganado en los trópicos y sub-trópicos secos, de Australia (Clarke et al., 2005), América del Norte y del Sur (Marshall et al., 2012). Sin embargo, con el tiempo se ha convertido en una de las especies invasoras más notables (Williams y Baruch, 2000; Marshall et al., 2012) (Figura 1). Desde los años 1950's el zacate buffel fue introducido en algunos estados de México incluyendo Sonora para producir forraje para el ganado, incrementar el hato ganadero, y así cubrir la demanda internacional de carne. Su introducción y la inducción de praderas para el ganado fueron más fuertemente promovidas

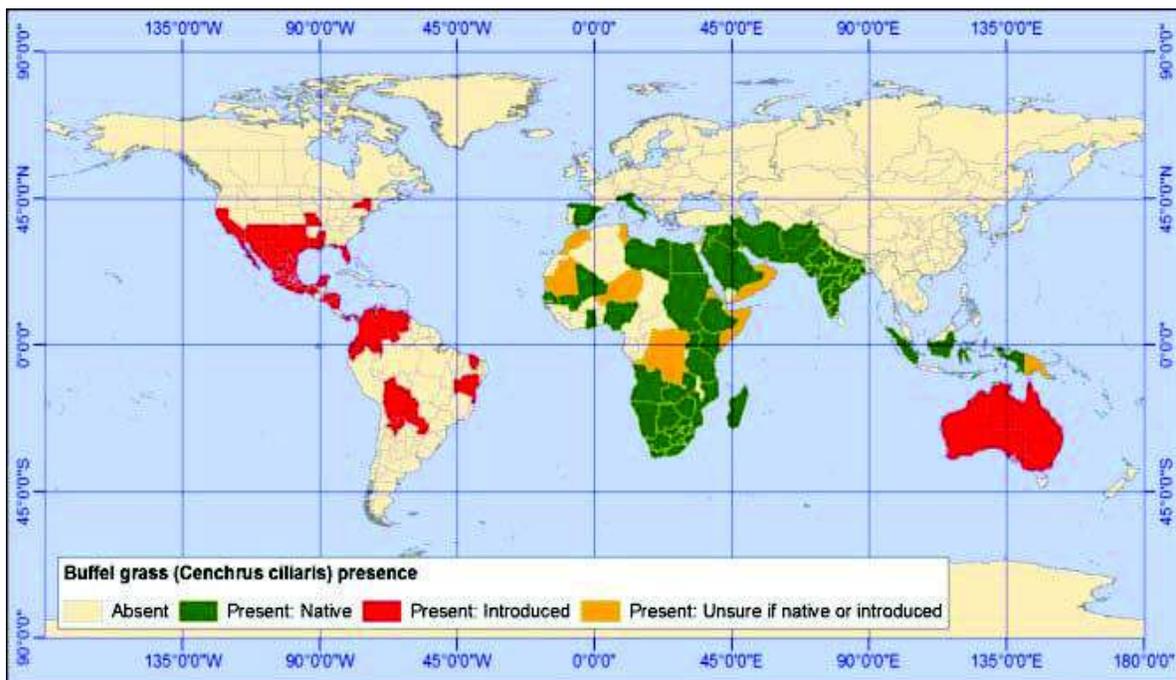


Figura 1. Distribución mundial de zacate buffel: En verde la distribución nativa, en amarillo donde está presente pero es incierto si es nativo o introducido y el rojo representa los lugares donde ha sido introducido (tomado de Marshall et al., 2012).

entre 1960 y 1980, por parte de políticas federales y estatales en el norte de México (Franklin et al., 2006; Brenner, 2010). Actualmente en Sonora se estima que las praderas de zacate buffel ocupan alrededor de un millón de hectáreas (Bravo-Peña et al., 2010).

En Sonora, el zacate buffel se ha vuelto un invasor de áreas de vegetación natural de matorral desértico y matorral espinoso. Invade áreas afectadas por disturbios (Tix, 2000; De la Barrera, 2008) y sin disturbio, como en laderas de los cerros (Búrquez-Montijo et al., 2002; Brenner y Kanda, 2013). Se conoce muy poco acerca de los mecanismos que permiten su gran capacidad como invasor. Una de las teorías que puede explicar en parte la invasión de zacate buffel, es la presión de propágulos (Marshall et al., 2012); es decir, el haber sido sembrado en extensas áreas le ha permitido su escape de praderas inducidas debido en parte a la gran producción de semillas, fácil dispersión, y su rápida colonización de áreas adyacentes con vegetación natural.

Dadas sus características y los cambios que provoca como invasor, se considera que constituye una amenaza a la diversidad biológica del Desierto Sonorense (Williams y Baruch, 2000). Además, de acuerdo a las características ambientales del estado (tipo de suelo, gradiente de altura, precipitación) se predice que el zacate buffel podría invadir más de la mitad de su superficie (Arriaga et al., 2004).

### **III.3. Características del Zacate Buffel**

El zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L. o *Pennisetum ciliare* (L.) Link) es un pasto con fotosíntesis C<sub>4</sub>, cespitoso, que llega a medir alrededor de 80 cm de altura; sus raíces pueden tener una profundidad de más de 2 m. Crece rápidamente y la floración comienza después de 3 meses de la germinación. El color de las inflorescencias varía y pueden ser amarillas, púrpuras o grises (Marshall et al., 2012). Se reproduce principalmente por apomixis (Gutiérrez-Ozuna et al., 2009), y en menor frecuencia sexualmente por polinización cruzada (Halvorson, 2003). Las semillas del zacate buffel son fácilmente dispersadas por humanos y animales, debido a que son espinosas, o por el viento, ya que son ligeras (Tix, 2000). Son semillas que responden rápidamente a los pulsos de agua: requieren de alrededor de 18 mm de

agua en 4 días para tener una emergencia de más del 50%, mientras que plantas nativas del Desierto Sonorense necesitan de 17 a 35 mm de agua para su emergencia (Ward et al., 2006). Su rápida germinación y rebrote al inicio de la época de lluvias, en conjunto con la profundidad de sus raíces lo puede hacer un buen competidor por agua.

En un estudio de germinación de semillas de zacate buffel, se encontró que las semillas germinan en menos de 24 horas después de su siembra, alcanzando el máximo en 3-6 días a 25°C; además germinan bajo un amplio rango de temperaturas (10-40°C) y de potencial hídrico (0 a -1.6 MPa). Su rápida germinación y plasticidad en respuesta de germinación a temperatura y potencial hídrico, puede explicar en parte su sobrevivencia y capacidad de invasión en hábitats áridos y semiáridos (Tinoco-Ojanguren et al., en prensa).

La temperatura óptima para fotosíntesis es de 35°C (Tix, 2000; De la Barrera y Castellanos, 2007). Pero el zacate buffel no germina ni tolera temperaturas menores de 10 °C, por lo que se limita su distribución en sitios que alcanzan estas temperaturas (Cox et al., 1988, Tinoco-Ojanguren et al., en prensa). Fisiológicamente responde favorablemente a la defoliación, ya que tiene rápida regeneración del follaje. Además posee una alta eficiencia en uso de agua y alta capacidad fotosintética cuando es cortado, comparado con pastos nativos (Williams y Baruch, 2000; Issoufou et al., 2008).

Los requerimientos de sustrato para el establecimiento de zacate buffel, han sido reportados por Ibarra et al. (1995), destacando que se establece preferentemente en suelos con textura arenosa y textura arcillo-arenosa, y no sobrevive en texturas de limo. También puede establecerse y reproducirse en suelos pobres en nutrientes, y estos autores mencionan que se establece en áreas donde el rango de precipitación es de 330 mm a 550 mm.

### **III.4. Consecuencias del Establecimiento de Praderas e Invasión de Zacate Buffel en Plantas Nativas**

#### **III.4.1. Introducción del ciclo de fuego**

Los incendios no han sido un factor común en las zonas áridas; además, si se presenta fuego en vegetación natural, no se extiende fácilmente porque no hay un dosel continuo que lo extienda a áreas contiguas. Se dice que por ello las plantas nativas han evolucionado en ausencia de fuego, y por lo tanto no son resistentes al mismo, por lo que muchas mueren al ocurrir incendios (Schiemeier, 2005; McDonald y McPherson, 2011).

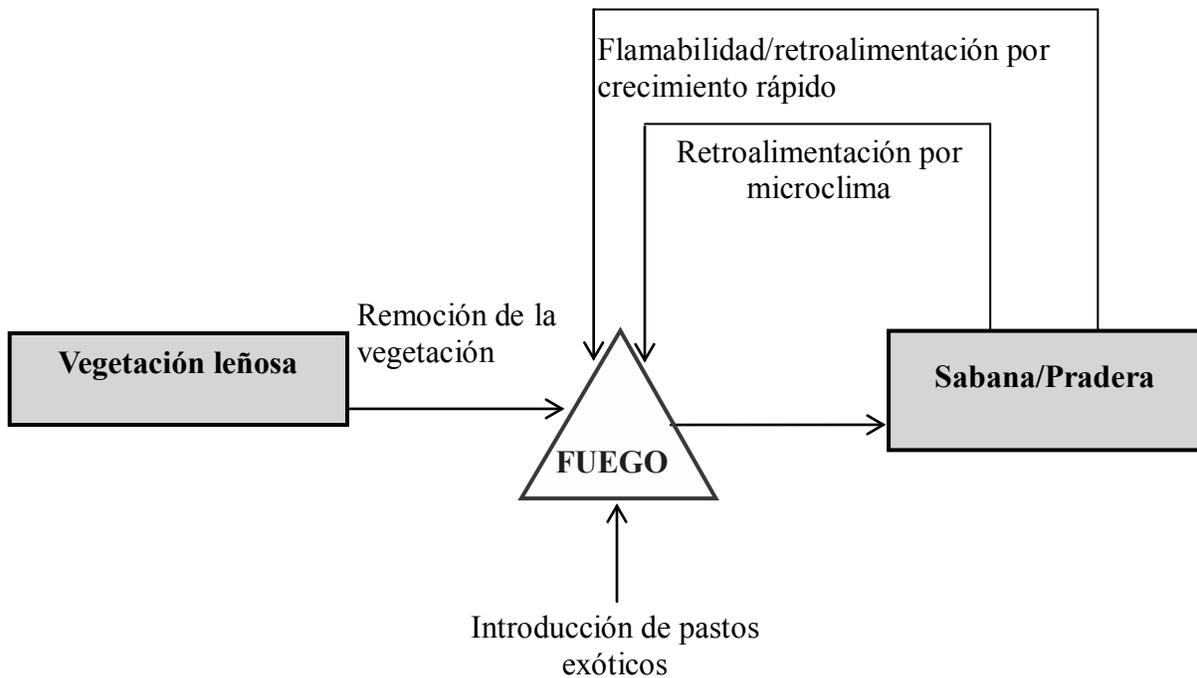


Figura 2. Ciclo de fuego inducido por pastos cespitosos. La introducción un pasto exótico puede ser con o sin remoción de la vegetación leñosa. La presencia del fuego influye para la selección de pastos exóticos resistentes al fuego, creándose como resultado una pradera tipo sabana. El fuego es retroalimentado por la flamabilidad de las hojas, que a su vez proveen una fuente de nutrientes (D'Antonio y Vitousek, 1992).

Este pasto, que es cespitoso y perenne, cuando invade comunidades naturales se establece cubriendo el suelo desnudo, por lo que en temporadas de secas, cuando el follaje está seco, se forma una capa continua de material combustible donde se puede iniciar el fuego y expandir en grandes áreas, creando así un ciclo de fuego (McDonald y McPherson, 2011; Marshall et al., 2012) (figura 2).

### III.4.2. Pérdida de biodiversidad

En Sonora, Tinoco-Ojanguren et al. (2013) documentaron que la conversión de matorral a pradera de zacate buffel produce una pérdida de biodiversidad de plantas de 53 a 73%. Este mismo estudio muestra que solo 8 especies nativas fueron capaces de regenerarse en praderas activas de zacate buffel. Esta reducción de especies arbóreas y arbustivas afecta a fauna nativa que utiliza esos recursos, así como a la calidad de hábitat para aves, reptiles o pequeños mamíferos, debido a una reducción de los recursos (Tjemeland et al., 2008). Un estudio realizado en Texas demuestra que en áreas invadidas de zacate buffel hay menor abundancia de aves, lo que podría ser explicado por la menor cantidad de artrópodos (Flanders et al., 2006). Esta menor abundancia de artrópodos puede ser debida a que en esos sitios de zacate buffel hay una menor densidad y riqueza de herbáceas nativas.

### III.4.3. Regeneración de plantas nativas

La regeneración de especies nativas en praderas activas se ve limitada por varios procesos que incluyen: lluvia de semillas limitada, microclima no favorable, competencia con el zacate buffel, ramoneo y pisoteo por el ganado (Hall et al., 1992; Holl, 1999; Fairfax y Fensham, 2000; Cubiña y Aide, 2001). Estos procesos actúan como barreras para la regeneración de especies nativas (Zimmerman et al., 2000) disminuyendo su diversidad.

Estudios de estructura de poblaciones de especies de plantas nativas muestran que varias especies nativas no se regeneran en praderas de zacate buffel (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008; Morales-Romero et al., 2012; Tinoco-Ojanguren et al., 2013). Morales-Romero et al. (2008 y 2012) encontraron que las plántulas de *Pachycereus pecten-aboriginum* (cactus columnar) trasplantadas a praderas de zacate buffel sobreviven menos tiempo que en matorral, las causas principales de muerte son el pisoteo por ganado y la desecación.

Estudios experimentales sobre el efecto de extractos acuosos de tejido de zacate buffel en semillas y plántulas, indican que el zacate buffel posee un efecto alelopático, y además auto-tóxico (Hussain et al., 2011; Nurdin y Fulbright, 1990; Silva, 2013). La detección del posible efecto auto-tóxico tiene una base también en observaciones de campo ya que se ha sugerido que algunas veces el zacate buffel no se regenera, y que existen grandes espacios desnudos en los cuales la cubierta de zacate buffel disminuyó. En estos espacios vacíos tampoco pudieron establecerse especies nativas, por lo que el que existan remanentes de vegetación nativa en praderas de zacate buffel no asegura su regeneración (Franklin y Molina-Freaner, 2010). Para restablecer pastizales nativos de *Heteropogon* sp. en Hawái se concluyó que es necesaria la erradicación activa de *Cenchrus ciliaris* para que el pasto nativo se establezca rápidamente (Daehler y Goergen, 2005). Otro estudio en Arizona demuestra que es necesaria la siembra de plantas nativas y la exclusión de zacate buffel para un mejor establecimiento de pastos nativos (Woods et al., 2012). Aun cuando el zacate buffel es eliminado, es necesario el seguimiento a plántulas, ya que en el estudio de Tjelmeland et al., (2008), observaron que el zacate buffel tiene la capacidad de restablecerse rápidamente en áreas donde se eliminaron las plantas de zacate buffel ya establecidas. Por lo tanto en estos sitios donde se pretende sembrar plantas nativas se debe de tener el mínimo disturbio posible, ya que el zacate buffel se establece fácilmente en estas condiciones (Woods et al., 2012).

### **III. 5. Restauración**

La *Society of Ecological Restoration* (Gann y Lamb, 2006) define restauración ecológica como “el proceso de ayudar al establecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. Es una actividad deliberada que inicia o acelera un camino ecológico- o trayectoria a través del tiempo- hacia un estado de referencia”. En el contexto de invasiones biológicas, para una restauración es necesaria la eliminación de la especie exótica, y después evaluar si hay necesidad de una restauración activa para el restablecimiento de plantas nativas (Gaertner et al., 2012).

### III. 5.1. Técnicas de eliminación de zacate buffel

Debido al abandono de praderas de zacate buffel, así como a la invasión del pasto en áreas de vegetación natural, y a los efectos negativos del zacate buffel en fauna y flora nativas, se ha planteado la necesidad de eliminar el zacate buffel para permitir que haya una restauración de la vegetación natural. Se han implementado en varias partes del mundo algunas técnicas de eliminación de zacate buffel, tales como: eliminación manual o por químicos, control biológico y control natural por competencia por factores abióticos (Tix, 2000). Como las áreas donde se pretende eliminar esta planta generalmente son amplias, se sugiere que la mejor técnica para eliminar zacate buffel es la de utilizar herbicida, ya que requiere menos tiempo y trabajo, pero para fines de restauración debe elegirse un herbicida que no sea de amplio espectro ya que puede dañar especies nativas (Tix, 2000; Tjemeland et al., 2008), o bien implementar experimentos donde la aplicación no dañe a plantas nativas y sea eficaz la aplicación a las plantas objetivo (Dixon et al., 2002)

En el control manual se eliminan las plantas completamente, con ayuda de pala o con la mano, pero la profundidad de sus raíces hace que se invierta mucho trabajo. Por otra parte, para un resultado efectivo es necesario hacerlo repetidas veces conforme emergen nuevas plantas de buffel (Halvorson, 2003), lo que involucra aún más tiempo y trabajo. Además la eliminación manual de plantas exóticas puede provocar disturbio facilitando nuevamente el establecimiento de la planta exótica (Marushia et al., 2010).

Aunque se han detectado varias enfermedades de buffel producidas por insectos y hongos, no se ha implementado su uso para control biológico, ya que se requieren muchos más estudios, para asegurar que no se liberen organismos que puedan afectar a otras especies. Por ejemplo el hongo tizón del arroz (*Pyricularia grisea*) produce marchitamiento en las hojas de buffel pero no se ha utilizado como control biológico, ya que puede causar daños a cultivos o plantas nativas (Tix, 2000).

El control natural se puede realizar debido a que el zacate buffel no tolera la sombra. En Estados Unidos se ha visto que la cobertura de zacate disminuye debajo del dosel de especies arbóreas que se establecieron en praderas de zacate buffel (Tix, 2000; Halvorson,

2003). La siembra de árboles nativos puede ser una alternativa para reducir la cobertura de zacate buffel.

### III. 5.1.1. Control químico

En el control químico se han utilizado herbicidas, ya sea para inhibir su crecimiento (pre-emergencia) o eliminarlo (pos-emergencia). Los herbicidas que se han utilizado para combatir al zacate buffel son: glifosato, sulfato de amonio, hexazinona, tebuthiuron, picloram, imazapic, dicamba, etc. (Tix, 2000; Halvorson, 2003; Tjemeland et al., 2008; Marshall et al., 2012). Los herbicidas que se han reportado más efectivos en zacate buffel son glifosato, veredict, fusilidae y tebuthiuron, reportados para post-emergencia, y se aplican cuando el zacate buffel está en crecimiento o floración (Dixon et al., 2002; Daehler y Goergen, 2005; Tjemeland et al., 2008).

El herbicida más utilizado es el glifosato, pero este es de amplio espectro, y para su utilización en restauración es necesaria una evaluación del efecto en plantas nativas. Se ha evaluado el efecto del glifosato en germinación de semillas, tanto en laboratorio como en invernadero, en 5 especies de plantas los resultados en laboratorio indican que el glifosato no tiene efectos negativos en la germinación de semillas, pero a la máxima concentración estudiada (250 mg/l de herbicida) hay una limitación en el crecimiento de brotes. En invernadero, el herbicida fue aplicado en el suelo: solo una especie (*Amaranthus retroflexus*) tuvo un efecto negativo en germinación a una concentración de herbicida de 2.2 kg/l de herbicida (Egley y Williams, 1978). Por otra parte, el utilizar glifosato o cualquier otro herbicida, conlleva a una dispersión al ambiente. Se ha evaluado la persistencia del glifosato en el suelo, rápidamente degradado por en el suelo y su degradación está asociada al pH, además las plantas absorben glifosato en muy bajas cantidades (Sprankle et al., 1975). Pero en otros estudios se ha documentado que puede inhibir la germinación de semillas y/o el desarrollo plantas de soya (*Glycine max*) dependiendo de las cantidades de fósforo en el suelo y del tipo de suelo, por lo tanto el glifosato es absorbido por plantas en presencia de fósforo (de 20 a 240 mg P/kg de suelo) (Bott et al., 2011).

El glifosato se ha utilizado en restauración ecológica para la eliminación de zacate buffel; así, Dixon et al., (2002) eliminaron el zacate buffel con glifosato y veredict, en la isla Airlie al este de Australia. El glifosato se aplicó en 3 ocasiones y aunque la aplicación fue directa al zacate buffel sí causó daños a un pasto nativo (*Eulalia aurea*).

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo aportará información sobre el efecto del zacate buffel en la germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral xerófilo, ya que se ha documentado que el zacate buffel disminuye la diversidad de especies de plantas en los sitios que invade. Además, se ha estudiado muy poco la regeneración de especies nativas en sitios invadidos por buffel, por lo que este trabajo nos permitirá evaluar si existe inhibición en la regeneración de especies nativas debida a la invasión del zacate buffel, y poder así dar opciones para la restauración de áreas transformadas a praderas de buffel o invadidas.

## **V. HIPÓTESIS**

En zonas invadidas por zacate buffel se afecta la germinación y establecimiento de plantas nativas, de manera que quitando la parte aérea o la planta completa de zacate buffel germinarán y se establecerán las plantas nativas.

## **VI. OBJETIVOS**

### **VI.1. General**

Evaluar técnicas de eliminación del zacate buffel y su efecto sobre la germinación y establecimiento de especies de árboles nativos del matorral xerófilo del centro de Sonora.

### **VI.2. Específicos**

- a) Estimar en campo el efecto de cuatro tratamientos de eliminación de zacate buffel en la germinación y establecimiento de cuatro especies de árboles nativos.
- b) Determinar experimentalmente el efecto del herbicida glifosato en plántulas de cuatro especies de árboles nativos.
- c) Evaluar el efecto del glifosato en árboles, arbustos y una planta anual bajo condiciones de campo.

## VII. METODOLOGÍA

### VII.1. Área de Estudio

El área de estudio se localiza en el Centro Ecológico del Estado de Sonora (CEES), en las coordenadas 29° 01.409 N y 110° 57.09 W, a 245 m.s.n.m (figura 3).

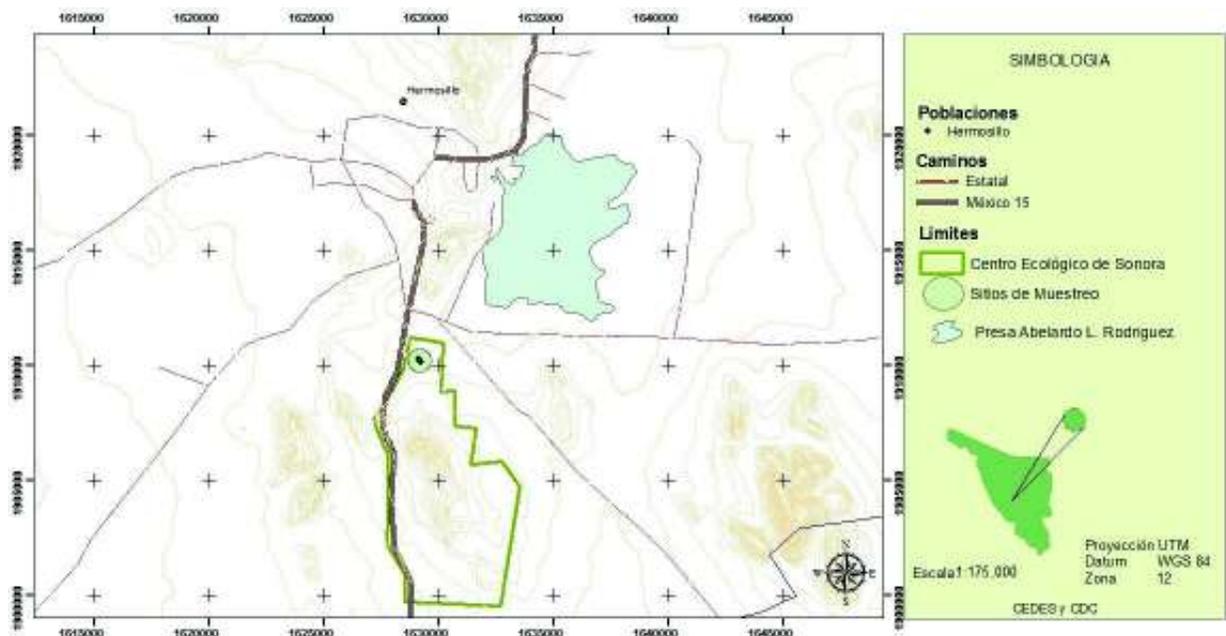


Figura 3. Ubicación del Centro Ecológico del Estado de Sonora (tomado de Bracamonte, 2015).

El clima del área según el sistema Köppen es árido desértico (BW). Según la modificación de García (1973) para la República Mexicana el clima presente en el CEES es clima extremo, muy árido o desértico, seco cálido con lluvias predominantes en verano (BW (h') hw (e')). Datos recolectados en la estación meteorológica de más cercanía al CEES indican una temperatura promedio anual de 19°C y precipitaciones de más de 300 mm (datos de 1961-2008) (figura 4).

## Clima

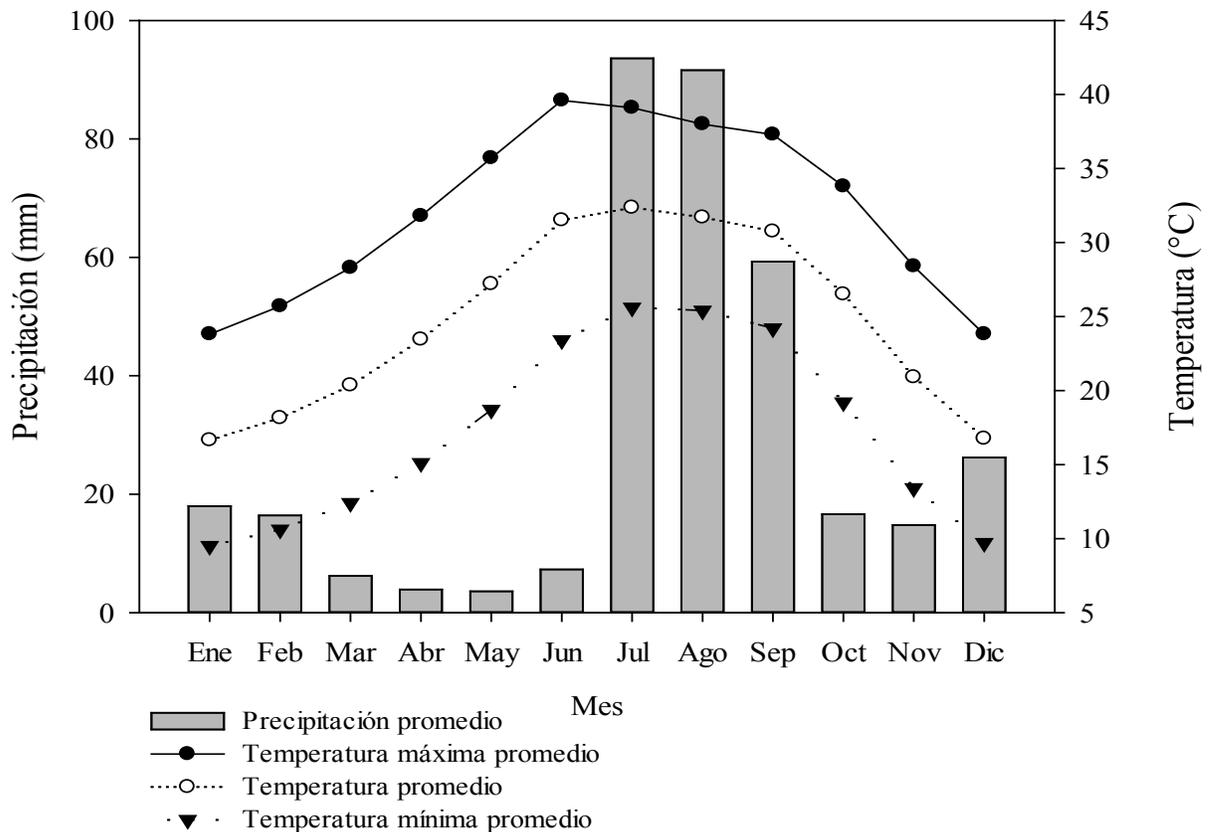


Figura 4. Promedios mensuales con datos históricos (1961-2008), de precipitación (barras), temperatura mínima, máxima y promedio (líneas con puntos). Los datos son de la estación meteorológica más cercana al área de estudio (PEACC, 2010).

El CEES se ubica en el sureste de la ciudad Hermosillo, la vegetación que presenta corresponde a la subdivisión denominada planicies de Sonora del sistema de tipos de vegetación de Shreve y Wiggins (1964) para el Desierto Sonorense. Es mayormente matorral desértico, la fisionomía del paisaje que domina es arbolado abierto de leguminosas. Las especies arbóreas dominantes son *Olneya tesota* y *Parkinsonia microphylla* y como dominante del estrato arbustivo esta *Encelia farinosa* (Molina-Freaner y Tinoco-Ojanguren, 1997). Esta área ha sido invadida en buena parte por zacate buffel desde los años 90's, con

una cobertura del 22% en las planicies y 31% en las laderas (De la Barrera, 2008). El tipo de suelo presente en las planicies del CEES son los yermosoles, que tienen poca materia orgánica y gran escurrimiento superficial (Búrquez y Aparicio, 1993).

### VII.1.1. Especies estudiadas

Las especies estudiadas son arbóreas y forman parte importante de la fisonomía del matorral xerófilo, además de que algunas son endémicas y pueden jugar un papel importante como nodrizas en el Desierto. Algunas de sus características son:

*Acacia willardiana* Rose, (palo blanco) es un árbol delgado, sin espinas de 3 a 9 metros de altura. Localmente es común en laderas de cerros rocosos y crestas de cerros, en el matorral desértico y espinoso. Se distribuye principalmente en el suroeste de Sonora y también crece en el noreste de Sinaloa. La especie se encuentra en las islas Tiburón y San Pedro Nolasco (Turner et al., 1995). Las semillas son de color café claro, en forma de disco, germinan fácilmente sin escarificación (Felger et al., 2001).

*Olneya tesota* Gray, (palo fierro), es un árbol de 5 a 10 metros de altura, endémica del Desierto Sonorense, posee ramitas verdes, espinosas y corteza fisurada gris claro. Las raíces forman nódulos fijadores de nitrógeno. Es una especie importante debido a que es una de las principales nodrizas del Desierto Sonorense (Suzán et al., 1996). Las semillas no requieren escarificación y germinan una vez que empiezan las lluvias de verano. Se establecen en suelos sueltos, arenosos o con grava (Turner et al., 1995).

*Parkinsonia microphylla* Torr., palo verde, es un árbol pequeño que crece hasta 6 metros de alto con una corteza suave y verde. Es una especie endémica al Desierto Sonorense, abundante en bajadas, planicies y laderas de cerros en Arizona, Sonora y Baja California. Es también una especie nodriza, ya que bajo sus copas provee de un microhábitat en el cual el saguaro (*Carnegiea gigantea*) y otras plantas se pueden establecer y crean un patrón en el matorral desértico Sonorense. Son plantas deciduas de sequía y las nuevas hojas son producidas en respuesta a las lluvias de verano e invierno. Las semillas germinan en verano,

cuando el suelo es cálido y húmedo. La lluvia mínima para su germinación es de 17 mm. La cubierta dura de la semilla puede escarificarse o agrietarse para que la germinación pueda ocurrir. La mortalidad de plántulas es más fuerte al final del verano y en otoño. Los inviernos fríos y la sequía estacional al final de primavera y principios de verano conllevan a muchas pérdidas (Turner et al., 1995).

*Parkinsonia florida* (Benth ex A. Gray) S. Watson, es un árbol de más de 12 metros de altura con pequeñas espinas rectas portadas por separado en los nodos. La corteza de las ramitas y nuevas ramas es verde azulado, y la corteza más antigua es color gris. Esta planta crece en los cursos de agua en el Desierto Sonorense, su distribución llega a las planicies de Sinaloa. *P. florida* no fija nitrógeno (Turner et al., 1995). Se encuentra principalmente en bajadas, planicies arroyos, en el matorral desértico, matorral espinoso y a bajas elevaciones en los pastizales, desde el nivel del mar hasta los 1220 m.s.n.m (Felger et al., 2001). Basado en varios rasgos anatómicos, se dice que *P. florida* podría requerir más agua que *P. microphylla*. Las semillas tienen una cubierta gruesa que requiere escarificación para que germine; las plántulas se establecen fácilmente en ambientes sedimentarios (Turner et al., 1995).

Otras características importantes de las especies que se consideraron para su selección fueron: 1) su fecha de producción de frutos, que fue de Mayo-Junio y las semillas estuvieron disponibles en la misma área de estudio. 2) el conocimiento de algunas características de su germinación, como: porcentaje alto de germinación, época de germinación de las cuatro especies y en el caso de *Parkinsonia* spp. el requerimiento de escarificación.

## **VII.2. Diseño Experimental**

### **VII.2.1. Efecto de tratamientos de eliminación de zacate buffel en el establecimiento y germinación de cuatro especies de árboles nativos**

Para evaluar el efecto del zacate buffel en la germinación y establecimiento de cuatro especies arbóreas, se realizó un experimento de campo. El experimento se realizó en una parcela (área experimental) de 7 por 8 m ( $56 \text{ m}^2$ ), con topografía y densidad de zacate buffel más o menos homogéneas. Dentro de esta área experimental se establecieron 20 sub-parcelas de  $1 \text{ m}^2$  con un espacio entre ellas de 0.5 m (figura 5).

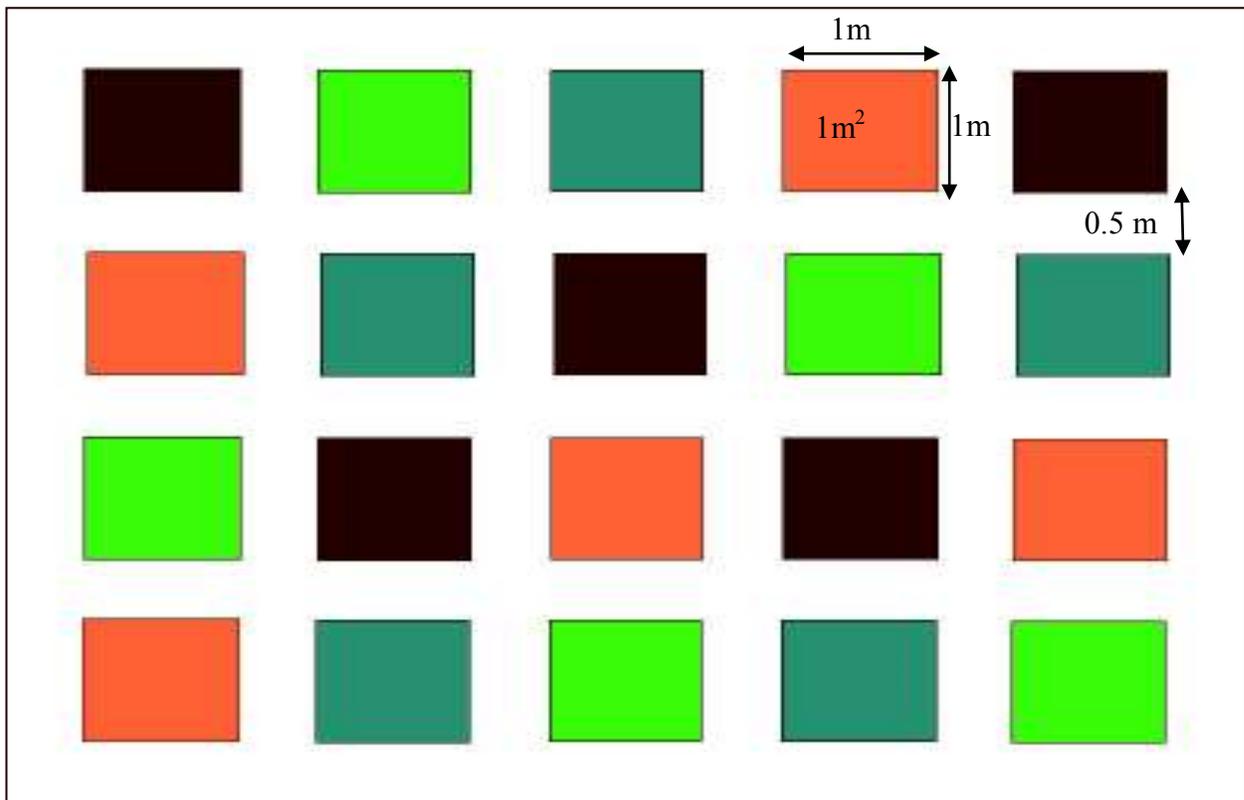


Figura 5. Distribución de los tratamientos en la parcela y medidas de la parcela y sub-parcelas. Los diferentes colores de los cuadrantes indican la distribución de los tratamientos: marrón, sin plantas de zacate buffel, azul, zacate buffel tratado con herbicida, naranja, plantas de zacate buffel sin parte aérea y verde con plantas de zacate buffel.

Con la ayuda de un cuadrante, con dimensiones de  $1 \times 1 \text{ m}$  ( $1 \text{ m}^2$ ) hecho de material de PVC, se definieron las sub-parcelas. Cada esquina de la sub-parcela se marcó con un clavo de acero. El zacate buffel establecido alrededor de la parcela se eliminó con una pala, también se

eliminó el zacate buffel que había entre cada una de las sub-parcelas. De manera aleatoria, en cada una de las sub-parcelas se estableció uno de los 4 tratamientos, 3 de eliminación y uno sin eliminación (control), con 5 repeticiones (5 sub-parcelas) cada uno, quedando un diseño de 4 tratamientos con 5 repeticiones.

Los tratamientos de eliminación de buffel fueron:

Tratamiento 1. *Eliminación de plantas de buffel*. En este tratamiento denominado SB (de “sin buffel”) se eliminaron completamente la parte superficial y la parte subterránea de las plantas de zacate buffel. La eliminación se realizó manualmente y con ayuda de una pala.

Tratamiento 2. *Herbicida*. En este tratamiento denominado H (por “herbicida”), se roció herbicida (Rival ® de Monsanto Company) a base de glifosato.

El herbicida tiene la fórmula empírica  $C_6H_{17}N_2O_5P$ , con una concentración de sustancia activa (N-(Fosfometil) de glicina) de 480g/l, lo que equivale a 360 g/l de glifosato. El herbicida en este tratamiento se preparó en solución diluyendo 25 gramos de herbicida en 8 litros de agua, como lo indicaron las instrucciones del producto. Para su aplicación se utilizó un dispensador con una capacidad de 1.5 litros con dosificador. Se roció sobre las 5 sub-parcelas seleccionadas para este tratamiento de herbicida (H) lo necesario para que quedara cubierta la parte fotosintética de la planta, ya que el herbicida funciona cuando la planta está transpirando. El herbicida se roció cuando el zacate buffel empezó a rebrotar y las hojas verdes tenían una altura de 15 cm aproximadamente.

Tratamiento 3. *Remoción de parte aérea del zacate buffel*. En este tratamiento denominado SA (sin “parte aérea de buffel”), se removió la parte aérea del zacate buffel, la cual se cortó hasta el ras del suelo con la ayuda de unas tijeras para podar.

Tratamiento 4. *Con zacate buffel*. En estas parcelas denominadas B no se removió material vegetal, se dejó tal como lo encontramos, de manera que este fue nuestro tratamiento control.

Las semillas de las cuatro especies seleccionadas se colectaron de al menos cinco individuos de cada especie, antes de la temporada de lluvias. Las semillas se limpiaron y se seleccionaron las que no estaban depredadas o abortadas. En cada sub-parcela se sembraron

20 semillas de cada especie (80 semillas por cada metro cuadrado). Por cada tratamiento el número total de semillas fue de 100. La siembra se llevó a cabo con la ayuda de una cuadrilla metálica dividida en 16 hendiduras (figura 6), la cual permitió localizar dónde se colocaron las semillas de cada especie, ya que se formó una hilera para cada especie. Después de realizada la siembra se cubrieron las semillas con una capa de 0.5 cm de suelo de alrededor del área de estudio.

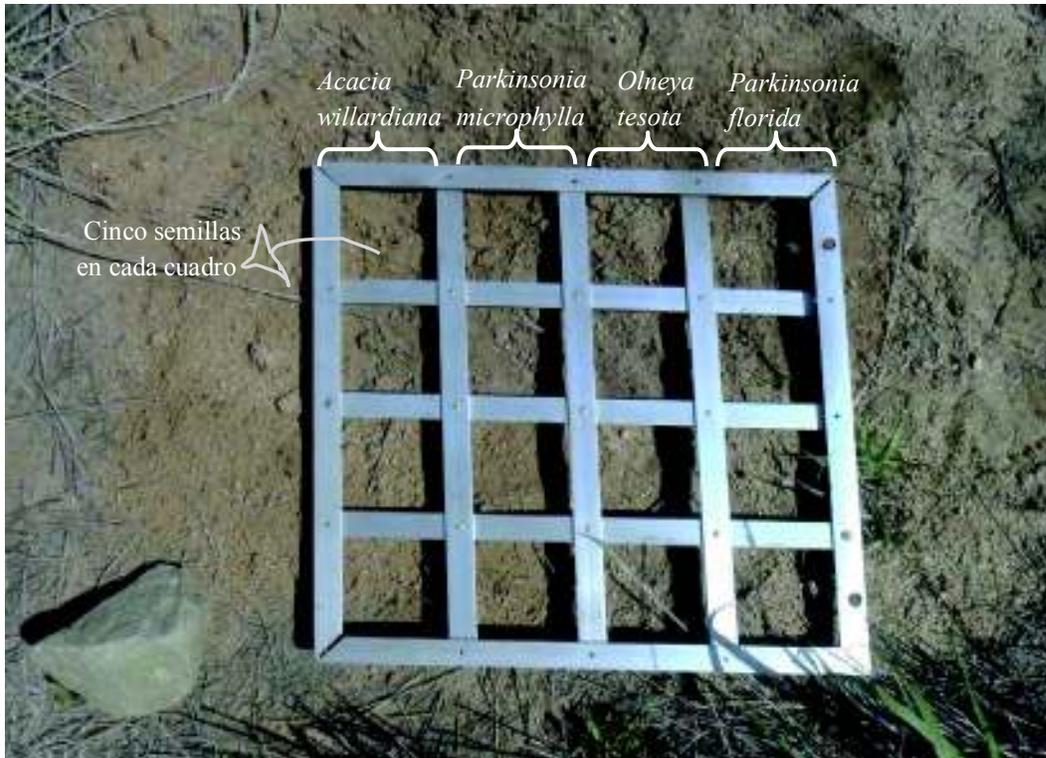


Figura 6. La siembra en cada sub-parcela se realizó con la ayuda de una gradilla que se muestra en la imagen, en la que en cada cuadro se sembraron cinco semillas de cada especie.

Las siguientes variables de respuesta fueron medidas en cada tratamiento: porcentaje de germinación (emergencia), sobrevivencia y crecimiento de plántulas. Las mediciones se realizaron semanalmente, a partir del inicio de la época de lluvias y a partir de Diciembre se midieron cada quince días, debido a que ya no se detectó más actividad de crecimiento y la sobrevivencia fue decayendo lentamente.

### **VII.3. Mediciones de Parámetros Ambientales**

Se documentaron además variables ambientales para caracterizar los ambientes de cada uno de los tratamientos, incluyendo: temperatura y humedad del suelo y luz, con el objetivo de evaluar si la eliminación de zacate buffel provoca diferencias microambientales.

#### **VII.3.1. Temperatura del suelo**

Se midió la temperatura de la superficie del suelo de las parcelas de dos maneras; la primera forma fue utilizando 4 dataloggers tipo HOBO. Cada HOBO se enterró a 2 cm de la superficie del suelo en una parcela de cada tratamiento. El HOBO registró la temperatura cada cinco minutos durante un mes. Se utilizó un HOBO extra para mediciones de temperatura ambiente, que fue colocado debajo del dosel de un árbol.

También se midió la temperatura de la superficie del suelo con la ayuda de un termómetro que funciona a base de infrarrojo. Se tomaron por la mañana 3 medidas en tres puntos de las sub-parcelas para tener un promedio representativo: en una esquina, la parte media y la otra esquina de forma diagonal en cada sub-parcela, para así obtener una muestra representativa de la temperatura. Se tomaron mediciones cada 15 días.

#### **VII.3.2. Humedad del suelo**

Las mediciones de humedad del suelo se realizaron en las mañanas con el medidor de humedad (MoistureMeter type HH2 ®), tomando mediciones puntuales a 10 cm de profundidad. Las mediciones se tomaron como las de temperatura, periódicamente en las mismas fechas que los muestreos de plántulas. Los datos que se obtuvieron con el medidor de humedad están dados en porcentaje de agua en el suelo.

### VII.3.3. Luz

La luz se midió en días completamente despejados, cuando el sol estaba cerca del zenit, con un sensor cuántico (LI-COR), que mide radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm) en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

### VII.4. Determinación de los Efectos del Herbicida (glifosato) en Plántulas Nativas (Experimento en Sombra)

Este experimento se llevó a cabo en un vivero en la Estación Regional Noroeste de la UNAM. Se germinaron semillas de *A. willardiana*, *P. microphylla*, *O. tesota* y *P. florida*, en charolas de aluminio; se utilizaron 20 semillas por charola. Una vez ocurrida la germinación las plántulas se trataron con herbicida en dos estadios de desarrollo. En el primer tratamiento se roció herbicida cuando las plántulas tuvieron los primeros dos pares de hojas verdaderas (H1); para el segundo tratamiento el herbicida se aplicó cuando la plántula alcanzó 10 cm de alto y tenía varios pares de hojas (H2). Cada tratamiento de diferente estadio de desarrollo de las plántulas tuvo 3 repeticiones por especie (3 charolas) y 3 más para el control, el cual no tuvo tratamiento de glifosato. Durante el experimento las plántulas se regaron cada dos días o diariamente con agua potable dependiendo de sus requerimientos. Los efectos del herbicida se cuantificaron como porcentaje de sobrevivencia y después de 15 días se cosecharon las plantas para determinar su biomasa. Para la determinación de biomasa se secaron las plantas en un horno de convección a 65 °C, por dos días. Posteriormente se pesaron en una balanza analítica.

## **VII.5. Efectos del Herbicida Sobre las Hojas de Plantas Nativas**

Con el fin de determinar de manera cualitativa si existe algún efecto del glifosato en plantas adultas establecidas en campo, se aplicó herbicida (glifosato) en ramas de plantas nativas establecidas y como control se marcaron ramas semejantes a las que no se les aplicó herbicida.

Las especies que se utilizaron en este experimento fueron: rama blanca (*Encelia farinosa*), sangregado (*Jatropha cardiophylla*), palo fierro (*O. tesota*), palo verde (*P. microphylla*) y la hierba anual *Boerhavia spicata*, que son especies que se encuentran cerca de la parcela de estudio, y son comunes en este tipo de vegetación. Para las plantas perennes se marcaron tres individuos de cada especie, y en cada planta se seleccionaron y se marcaron dos ramas con cinta, una rama para el tratamiento herbicida y una para el control. A cada rama se le tomó una fotografía al momento de la aplicación del herbicida y una y dos semanas después de la aplicación. Al tomar las fotografías se observó el daño, si habían caído hojas o si se tornaron amarillentas, comparando con el control. Es decir, la evaluación del efecto del herbicida fue cualitativa. Para el caso de la herbácea anual, la cual crece en parches, se seleccionaron cuatro parches, en cada uno se marcaron 50 plantas; de estas se marcaron 2 grupos de 25 plantas con unos palillos uno para el tratamiento herbicida y otro que sirvió de control. El efecto del herbicida se evaluó cuantitativamente, contando las plantas que sobrevivieron en el tratamiento y el control, y se obtuvo el porcentaje de sobrevivencia.

## **VII.6. Análisis Estadístico**

Para evaluar si existen diferencias significativas entre tratamientos de cada uno de los experimentos se realizaron pruebas estadísticas. Para datos de una vía que cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad (prueba de Barlett), se emplearon ANOVA's de

una vía. En caso de encontrar diferencias significativas entre tratamientos se realizó una prueba de Tukey, para identificar entre qué tratamientos existen diferencias. Cuando no se cumplieron los supuestos se realizaron pruebas no paramétricas de Wilcoxon con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados se analizaron de tres formas: la primera fue la comparación entre tratamientos, donde se tomaron todos los resultados obtenidos de las cuatro especies y se evaluó el efecto de los tratamientos en los parámetros de respuesta (germinación, sobrevivencia y crecimiento). La segunda fue por especies, donde cada una de las respuestas se comparó entre las especies sin importar los tratamientos. Y la tercera fue donde se evaluó la respuesta a los tratamientos dentro de cada una de las especies. Se realizó un análisis de correspondencias para determinar la dependencia en la germinación y sobrevivencia entre las especies hacia los tratamientos. Para identificar diferencias en las curvas de sobrevivencia se realizó un análisis de log Rank. Para el análisis estadístico se utilizó el programa JMP 7.0. Los datos se graficaron usando el paquete de software Systat (Sigma Plot versión 12.0).

## VIII. RESULTADOS

### VIII. 1. Tratamientos de Eliminación de Zacate Buffel

#### VIII.1.1. Germinación

La siembra de las semillas de las cuatro especies se realizó el día 15 de agosto del 2013, después de 20 días de la implementación de todos los tratamientos de zacate buffel. En el tratamiento H, el herbicida ya había provocado el marchitamiento de las hojas de zacate buffel, y en el tratamiento de eliminación de la parte aérea de buffel (SA) no había rebrote. Las semillas terminaron de germinar quince días después de ser sembradas; durante este tiempo los censos se realizaron a los 4, 8, 15 y 22 días (análisis por fecha en apéndice I). La comparación de germinación final se realizó con los datos del muestreo a los 15 días, dado que a los 22 días ya no incrementó el número de semillas germinadas.

La germinación mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $\chi^2 = 21.859$ ,  $P=0.0001$ ;  $n = 5$ ). Los valores más altos se observaron en el tratamiento H y los más bajos en el tratamiento SB (figura 7 a). Se observaron diferencias significativas en la germinación entre las especies ( $\chi^2 = 17.718$ ,  $P = 0.0005$ ;  $n = 4$ ). *Parkinsonia microphylla* presentó mayor porcentaje de germinación, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida* tuvieron germinación similar. *Acacia willardiana* presentó los valores más bajos de germinación, aunque fue la especie que germinó primero (figura 7 b).

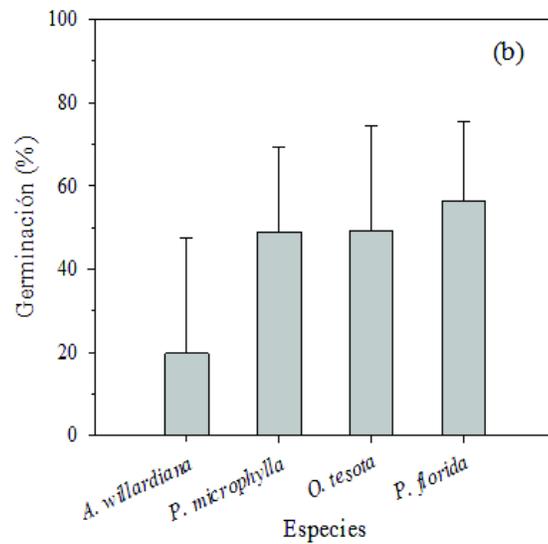
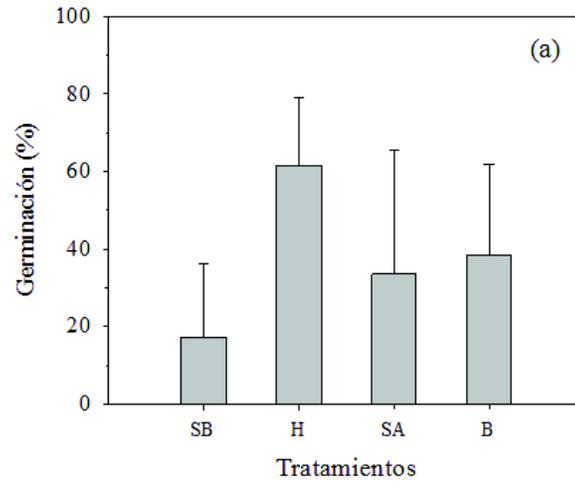


Figura 7. Porcentaje final de germinación entre los diferentes tratamientos (a) y entre especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a)  $n=5$  y en (b)  $n=20$ ).

La respuesta en germinación a los tratamientos en cada especie fue significativamente diferente para *A. willardiana* ( $\chi^2 = 12.905$ ,  $P = 0.004$ ;  $n = 5$ ) y *O. tesota* ( $\chi^2 = 13.328$ ,  $P = 0.004$ ;  $n = 5$ ). La germinación de ambas especies fue mayor en el tratamiento H, sin embargo la germinación de *A. willardiana* fue muy baja o nula en los demás tratamientos. En *O. tesota* el porcentaje menor de germinación se observó en SB y el mayor en H. Para las 2 especies del género *Parkinsonia* no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, a pesar de que se encontró una tendencia de menor germinación en SB y más en los otros tres tratamientos (Figura 8).

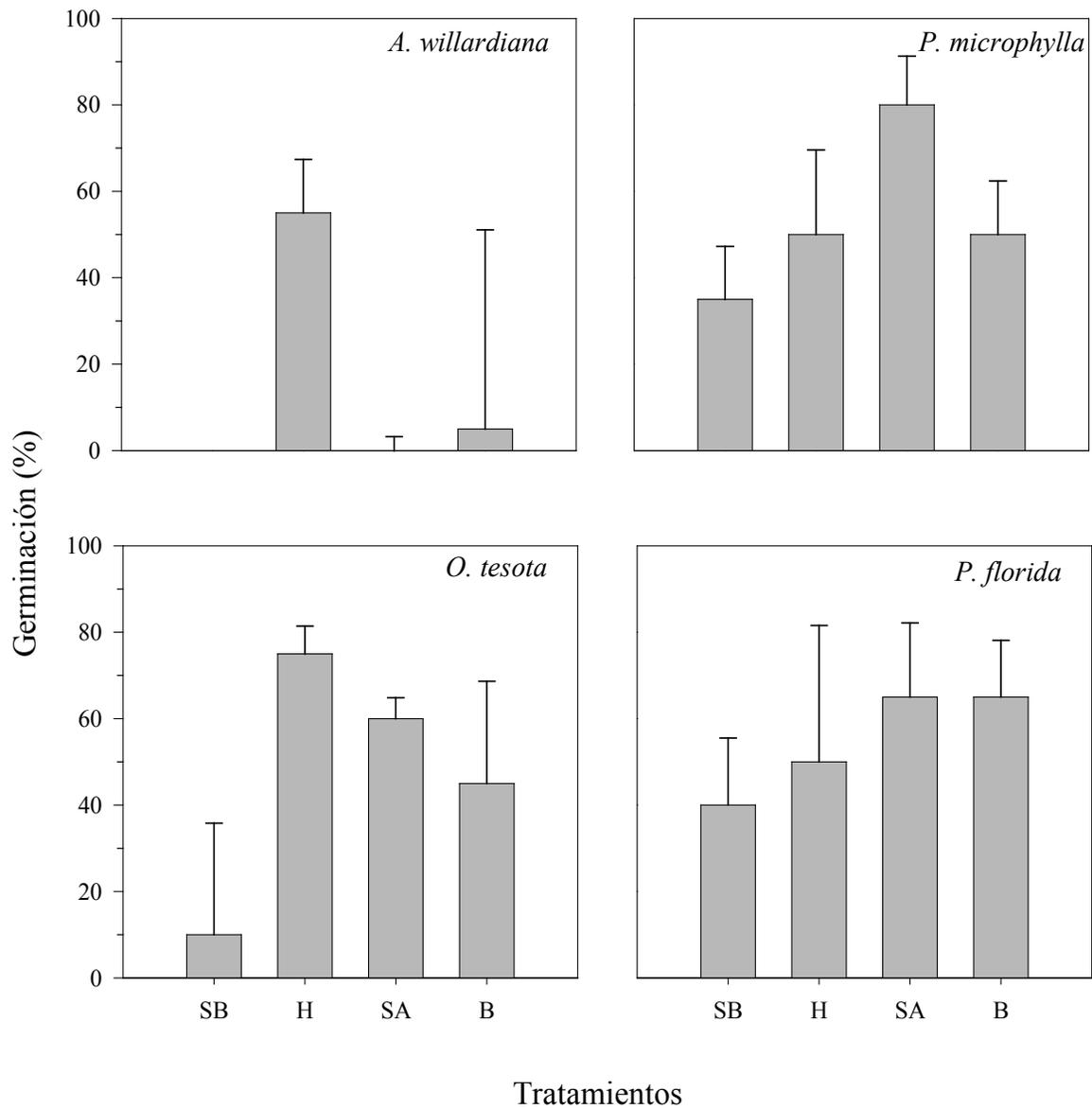


Figura 8. Germinación final entre tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n = 5).

### VIII.1.2. Altura de plántulas

Después de que la época de lluvias había pasado y se consideró que ya no iban a crecer más las plantas, y en cambio podría incrementar su mortalidad, se determinó su altura como medida del crecimiento; estas mediciones se llevaron a cabo 50 días después de la siembra. Se registraron diferencias significativas entre los tratamientos de eliminación de zacate buffel en el crecimiento de las plántulas ( $F = 25.741$ ,  $P = 0.0001$ ,  $n = 5$ ) (figura 9 a); el mayor crecimiento se observó en el tratamiento con herbicida H y presentaron una media similar en los otros tratamientos. Las pruebas estadísticas arrojaron diferencias significativas en el crecimiento de las plántulas entre las especies ( $F = 8.121$ ,  $P = 0.0436$ ,  $n = 20$ ). El mayor crecimiento se observó en *P. florida*, seguido de *P. microphylla* y se observó altura similar entre *A. willardiana* y *O. tesota* (figura 9 b).

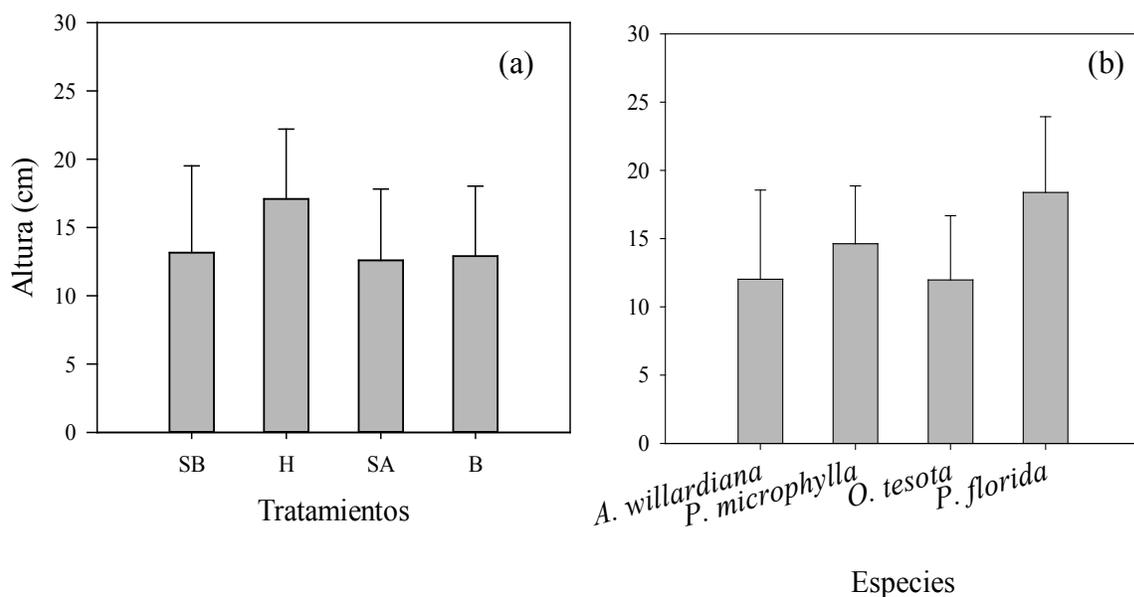


Figura 9. Altura de las plántulas a los 50 días de la siembra, en los diferentes tratamientos (a) y especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a)  $n = 5$  y (b)  $n = 20$ ).

Se observaron diferencias significativas en el crecimiento entre tratamientos por especie (Fig. 10). En el caso de *A. willardiana* ( $\chi^2 = 37.2$ ,  $P = 0.0001$ ;  $n = 5$ ) hubo bajo número de plántulas en los tratamientos SA y B y ninguna para SB, por lo que los datos están sesgados para el tratamiento H. La altura en plántulas de *P. microphylla* fue similar en los tratamientos SB, SA y B, pero mayor en el tratamiento H ( $\chi^2 = 43.0$ ,  $P = 0.0001$ ;  $n = 5$ ). De igual manera en *O. tesota* ( $\chi^2 = 64.7$ ,  $P = 0.0001$ ;  $n = 5$ ) y *P. florida* ( $\chi^2 = 18.6$ ,  $P = 0.0003$ ;  $n = 5$ ), pero las plántulas de *P. florida* presentaron mayor altura a comparación de las otras tres especies (>15 cm), y al igual que en las otras especies en el tratamiento H se encontró mayor altura

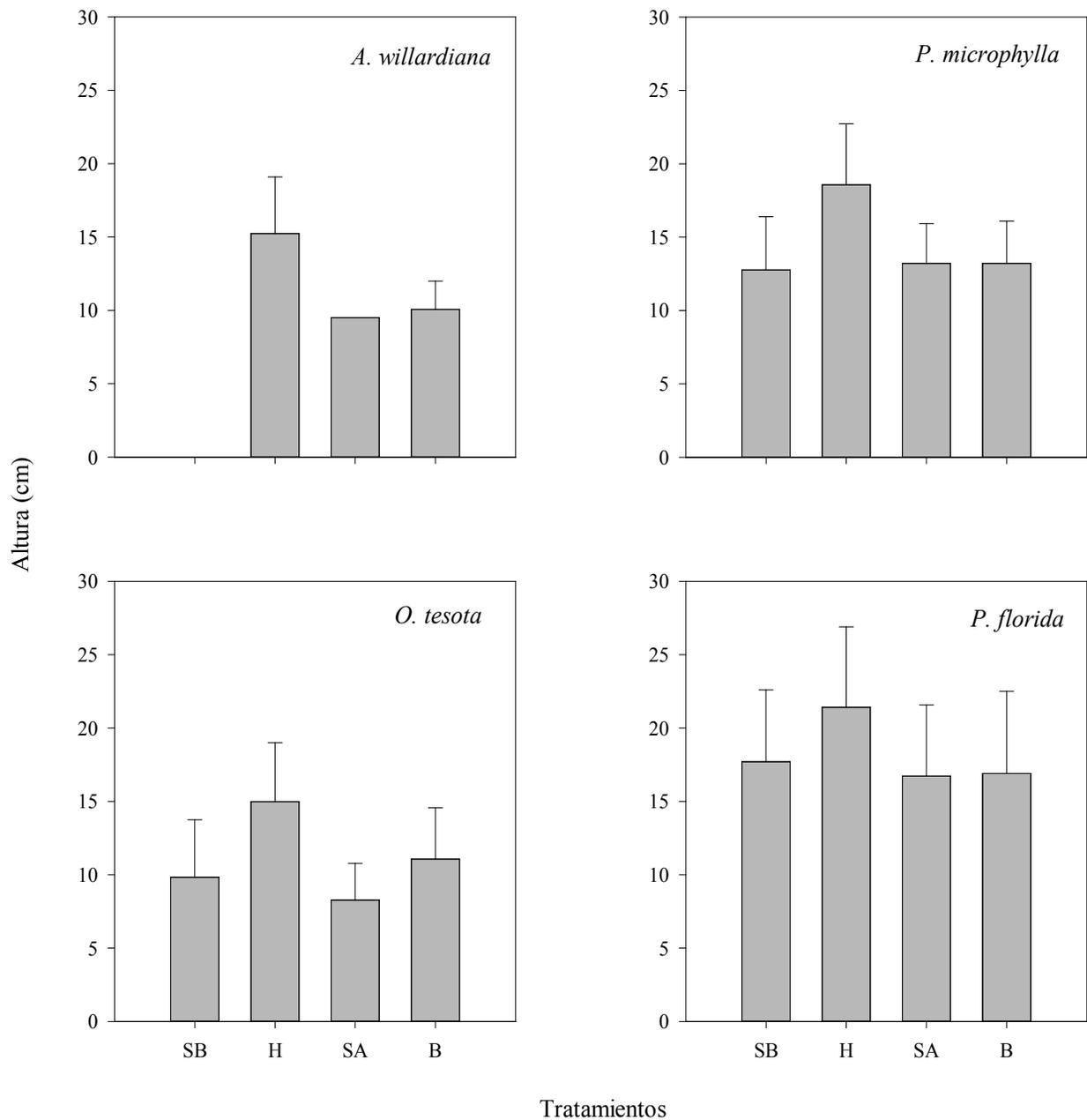


Figura 10. Altura de las plántulas a los 50 días después de la siembra, por tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n=5).

### VIII.1.3. Supervivencia

Para evaluar si existen diferencias significativas en la supervivencia entre tratamientos se analizó la supervivencia a los 236 días después de la siembra [Se presentan resultados estadísticos de comparación, realizada en cuatro tiempos durante el experimento en el apéndice 2]. Los resultados indican diferencias significativas en la supervivencia entre tratamientos ( $\chi^2 = 14.199$ ,  $P = 0.0026$ ,  $n = 5$ ) (figura 11 a). En H se observó la mayor supervivencia, seguido por SB y el porcentaje de supervivencia de los tratamientos SA y B fue menor. En las pruebas entre especies se encontraron diferencias significativas ( $\chi^2 = 15.022$ ,  $P = 0.0018$ ;  $n = 5$ ) (figura 11 b). Se encontró un porcentaje similar de supervivencia entre *O. tesota*, *P. microphylla* y *P. florida*, y un menor porcentaje de supervivencia en *A. willardiana*.

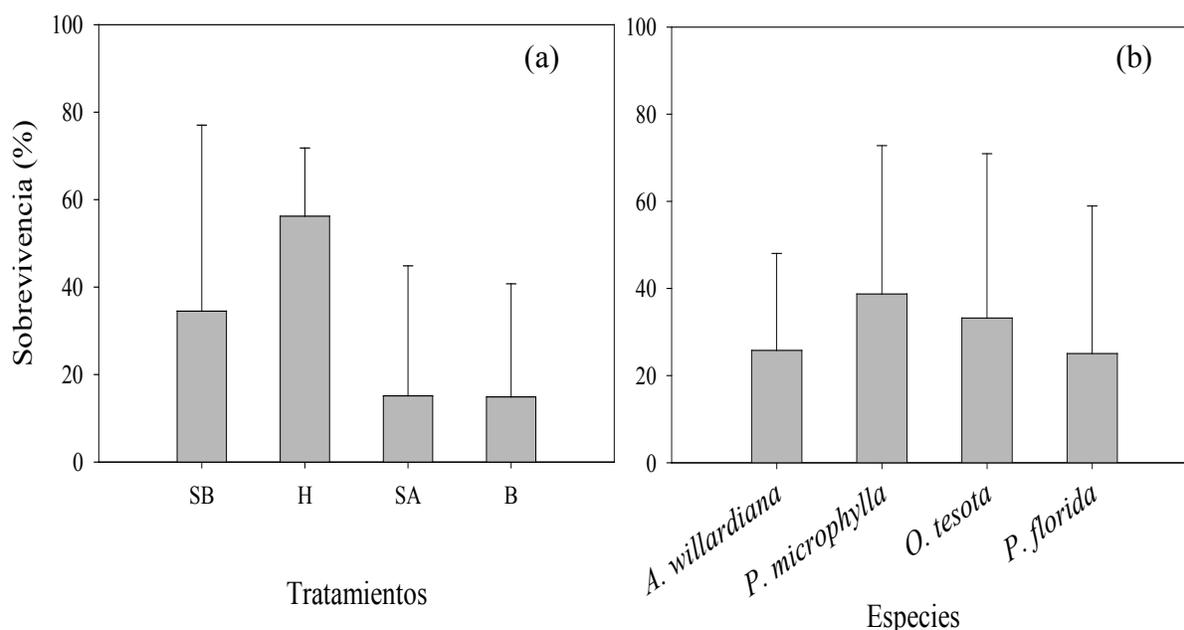


Figura 11. Supervivencia de plantas 236 días después de la siembra por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a)  $n = 5$  y (b)  $n=20$ ).

En la sobrevivencia entre los tratamientos por especie se encontraron diferencias significativas (figura 12). En el caso de *A. willardiana* ( $\chi^2 = 15.847$ ,  $P= 0.0012$ ;  $n = 5$ ), dado que no hubo germinación de *A. willardiana* en SB, no hubo sobrevivencia; mientras que en SA aunque germinaron semillas, no hubo sobrevivencia de plántulas, en H se presentó la mayor sobrevivencia. En el caso de *P. microphylla* ( $\chi^2 = 2.242$ ,  $P= 0.5237$ ;  $n = 5$ ), y *O. tesota* ( $\chi^2 = 3.623$ ,  $P= 0.3051$ ;  $n = 5$ ) no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Pero se observó una tendencia hacia una mayor sobrevivencia en SB y H, mientras que en SA y B se registró de manera similar el menor porcentaje de sobrevivencia. En *P. florida* hubo diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2 = 7.866$ ,  $P= 0.0488$ ;  $n = 5$ ), en SB y H, se presentó la mayor sobrevivencia, mientras que en SA y B la sobrevivencia fue menor.

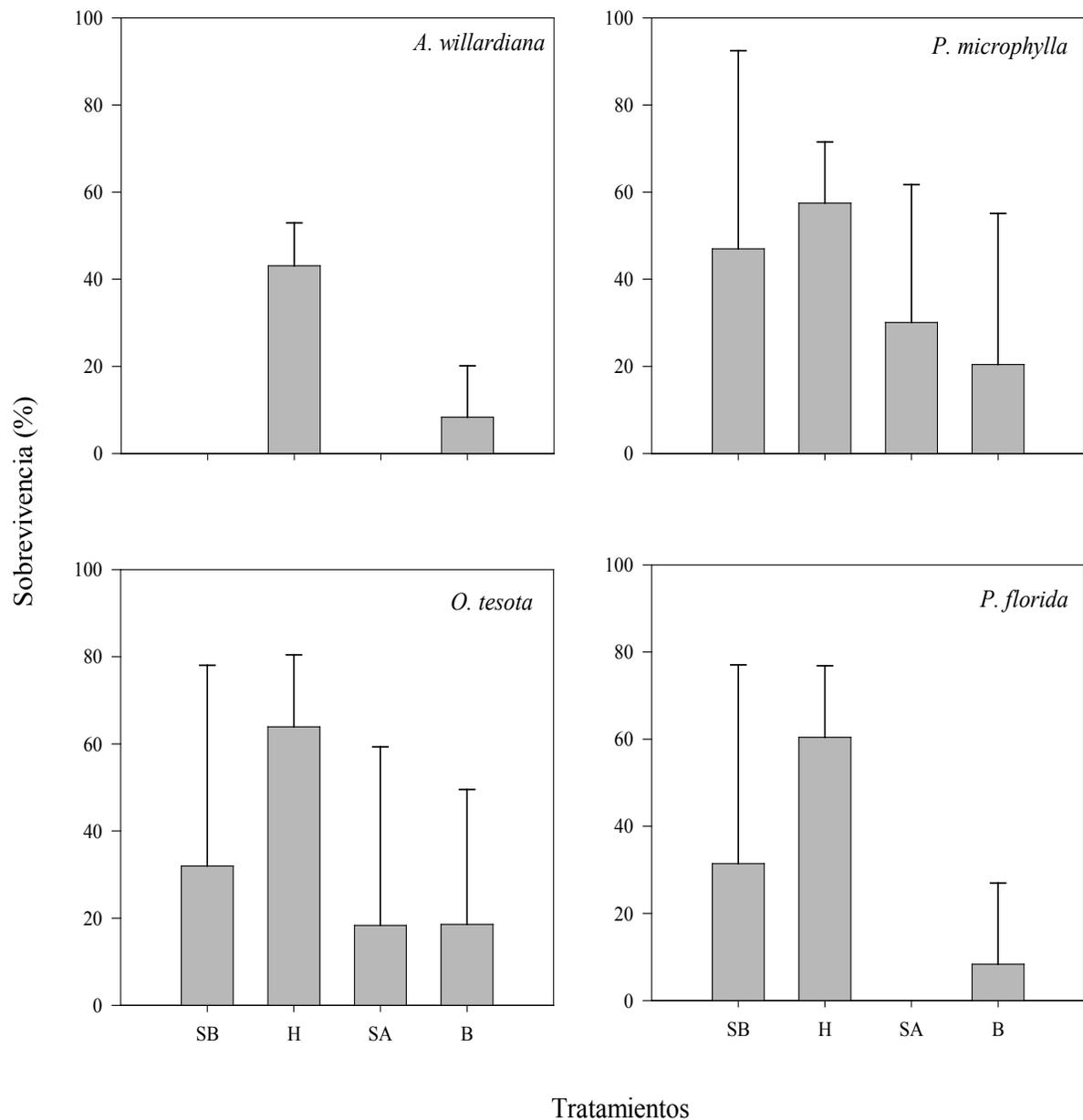


Figura 12. Sobrevivencia de plantas 236 días después de la siembra por tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n = 5).

#### VIII.1.4. Análisis de Correspondencias en Germinación y Sobrevivencia

El análisis de correspondencia para germinación muestra dos componentes que explican el 99.61% de la variación, es decir, la relación de especies y tratamientos que muestra el gráfico es la mejor para interpretar su dependencia; a mayor cercanía de las especies con los tratamientos mayor es su asociación. La germinación de *A. willardiana* está más asociada al tratamiento H, y por el otro lado es muy distinta a SB. En cambio la germinación de *P. florida* y *O. tesota* son más parecidas a la media y se asocian mejor al tratamiento B. La germinación de *P. microphylla* está más asociada al tratamiento SB. Por otro lado las especies *P. microphylla* y *P. florida* juntas están más asociadas al tratamiento SA (figura 13).

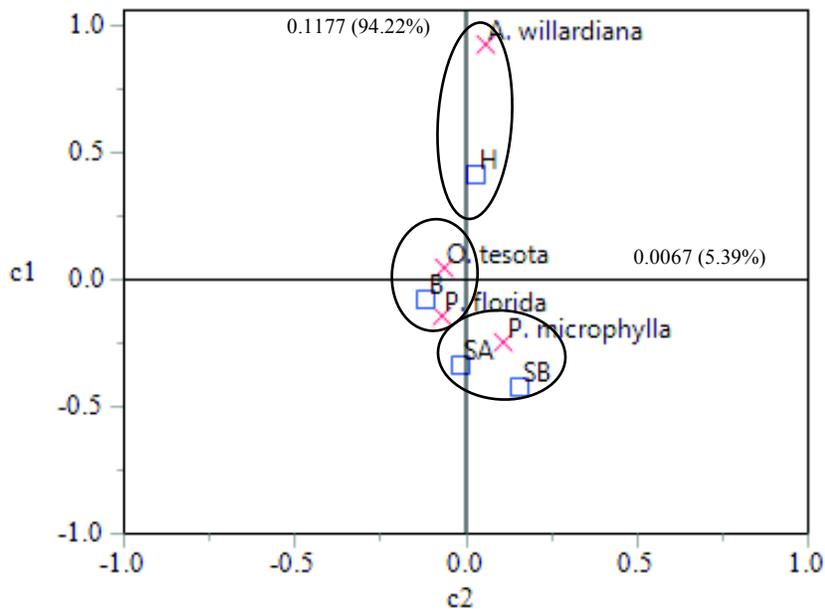


Figura 13. Análisis de correspondencia de germinación. Las especies (×) son: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Los tratamientos (□) son: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.

Las pruebas no paramétricas dadas por el paquete de datos indican que la ji cuadrada de la razón de verosimilitud y la prueba de Pearson ( $G^2 = 456.453$ , P: 0.0001, N 3175 y  $\chi^2 = 396.542$ , P: 0.0001, N 3175, respectivamente) son muy altas y con una p baja (menor al  $\alpha = 0.05$ ) por lo que hay una asociación clara entre especies y tratamientos.

El análisis de correspondencia para sobrevivencia muestra dos componentes que explican el 96.87% de la variación. La sobrevivencia de *P. microphylla* es mayor a las otras especies, y esta mayor sobrevivencia está mejor explicada por los tratamientos SA y SB, y se alinea en el plano de las y con el tratamiento H, dado que también tiene una contribución importante, pero no es mayor que la de los otros dos tratamientos juntos. Por otra parte la sobrevivencia en el tratamiento SA es la menor encontrada entre los tratamientos, y este solo aporta datos para la sobrevivencia de *P. microphylla* y en menor medida a *O. tesota*. En el caso de *A. willardiana* la sobrevivencia de esta se da mejor en el tratamiento H, dado que en los tratamientos SA y SB no hay sobrevivencia se encuentran en posiciones contrapuestas del gráfico. *O. tesota* es la segunda especie que sobrevive más y está mejor representada por el tratamiento H, pero se agrupa con B ya que en este tratamiento es la especie que más sobrevive. Y por último la sobrevivencia de *P. florida* se explica mejor con el tratamiento H, pero al alinearse con el tratamiento SB indica que este también tiene contribución a la sobrevivencia de esta especie. Las pruebas no paramétricas dadas por el paquete de datos indican que existe una dependencia de sobrevivencia entre especies y tratamientos, dadas las pruebas razón de verosimilitud ( $G^2 = 280.889$ , P= 0.0001, N= 1258) y prueba de Pearson ( $\chi^2 = 214.884$ , P= 0.0001, N= 1258) (figura 14).

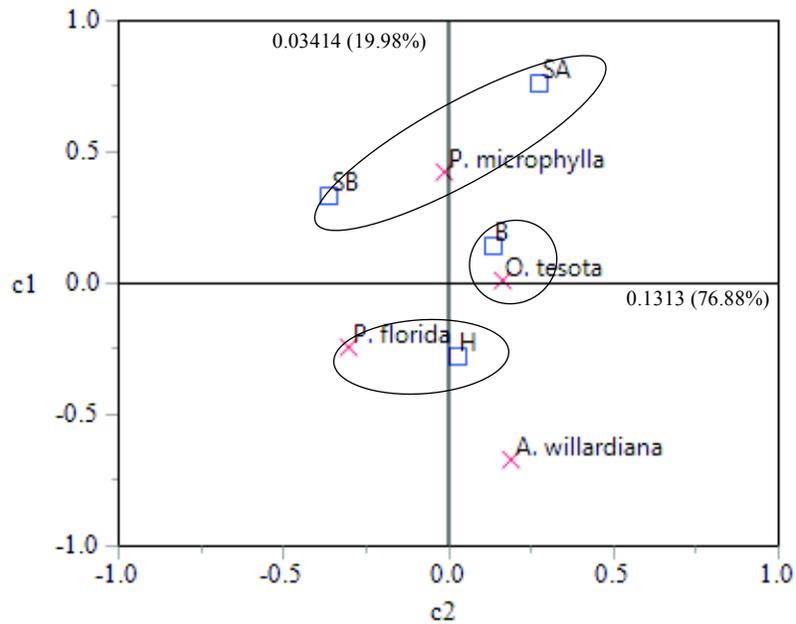


Figura 14. Análisis de correspondencia de sobrevivencia. El análisis se realizó con datos después de 236 días de la siembra. Las especies (×) son: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Los tratamientos (◻) son: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.

### VIII.1.5. Análisis de sobrevivencia

En el análisis de sobrevivencia la prueba Log Rank que indica la tasa de mortalidad, indica diferencias entre tratamientos ( $\chi^2= 2069.335$ ,  $P = 0.0001$ ) al igual que la prueba de Wilcoxon ( $\chi^2= 1882.409$ ,  $P = 0.0001$ ). El tratamiento H el tratamiento en el que hay mayor sobrevivencia en el tiempo, seguido del tratamiento SB, los de menor sobrevivencia fueron B y SA (figura 15).

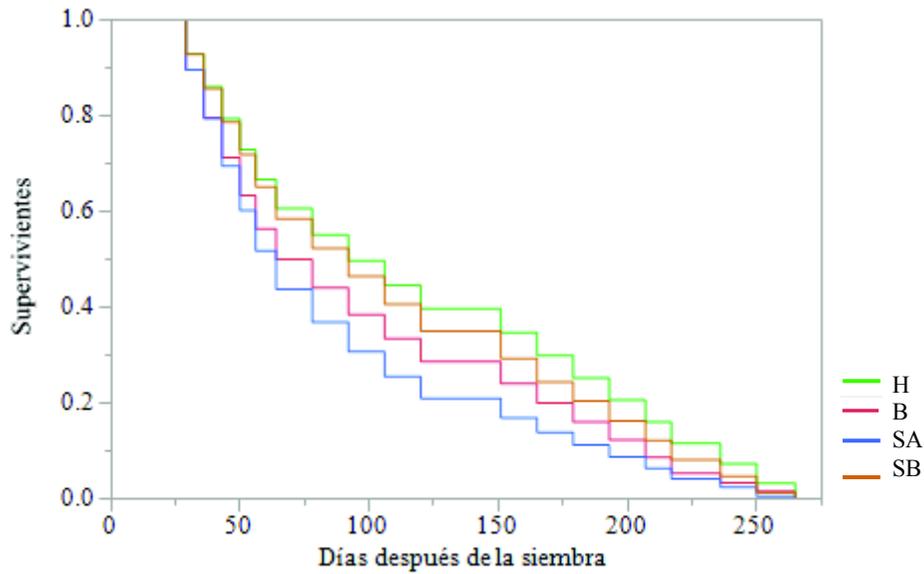


Figura 15. Análisis de supervivencia entre tratamientos. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, B con zacate buffel.

La prueba de Log Rank muestra diferencias significativas para la tasa de supervivencia por especies ( $\chi^2= 30.6876$ ,  $P = 0.0001$ ), al igual que la prueba de Wilcoxon ( $\chi^2=38.6149$ ,  $P = 0.0001$ ). La especie con menor supervivencia fue *P. florida*, mientras que la de mayor supervivencia fue *P. microphylla* (figura 16).

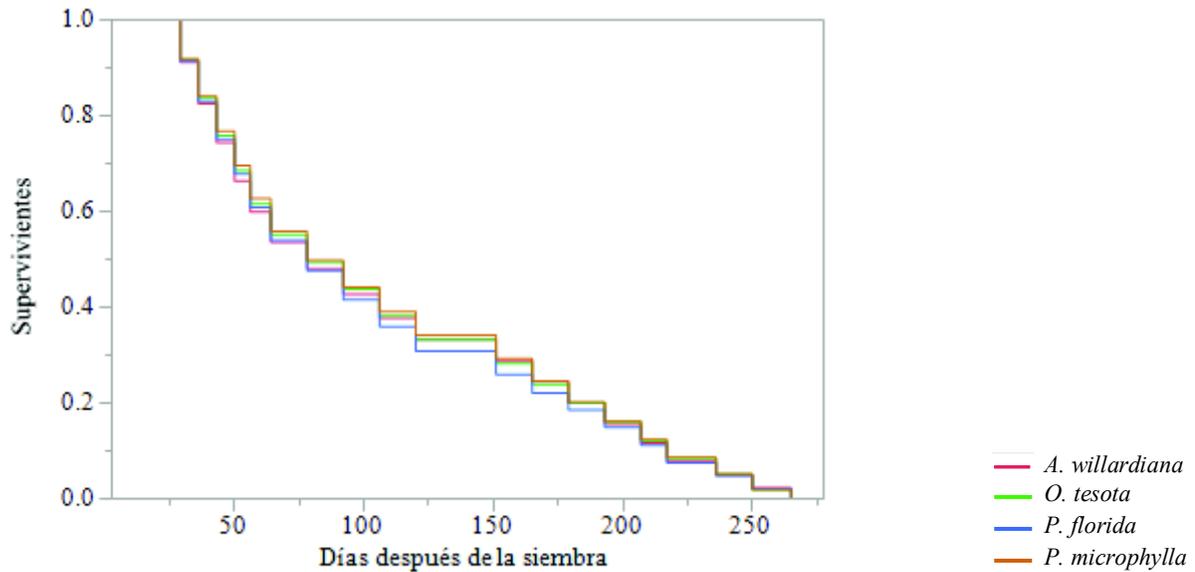


Figura 16. Análisis de supervivencia entre especies. Las especies son: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*.

## VIII.2. Parámetros Ambientales

### VIII.2.1. Mediciones puntuales de temperatura

Para evaluar si hubo diferencias significativas de temperatura del suelo en la mañana entre los tratamientos, se realizaron pruebas de Wilcoxon. Para visualizar estos resultados se realizaron gráficos de temperatura en cuatro fechas diferentes por gráfica, tratando de abarcar diferentes estaciones del año, para una mejor observación de los resultados (figura 17). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2 = 0.734$ ,  $P = 0.865$ ,  $n = 5$ ). Sin embargo en un análisis por fechas el ANOVA, mostró diferencias significativas para el día 16 de Agosto ( $F=6.208$ ,  $P = 0.0053$ ) y 20 de Mayo ( $F = 3.297$ ,  $P = 0.0476$ ).

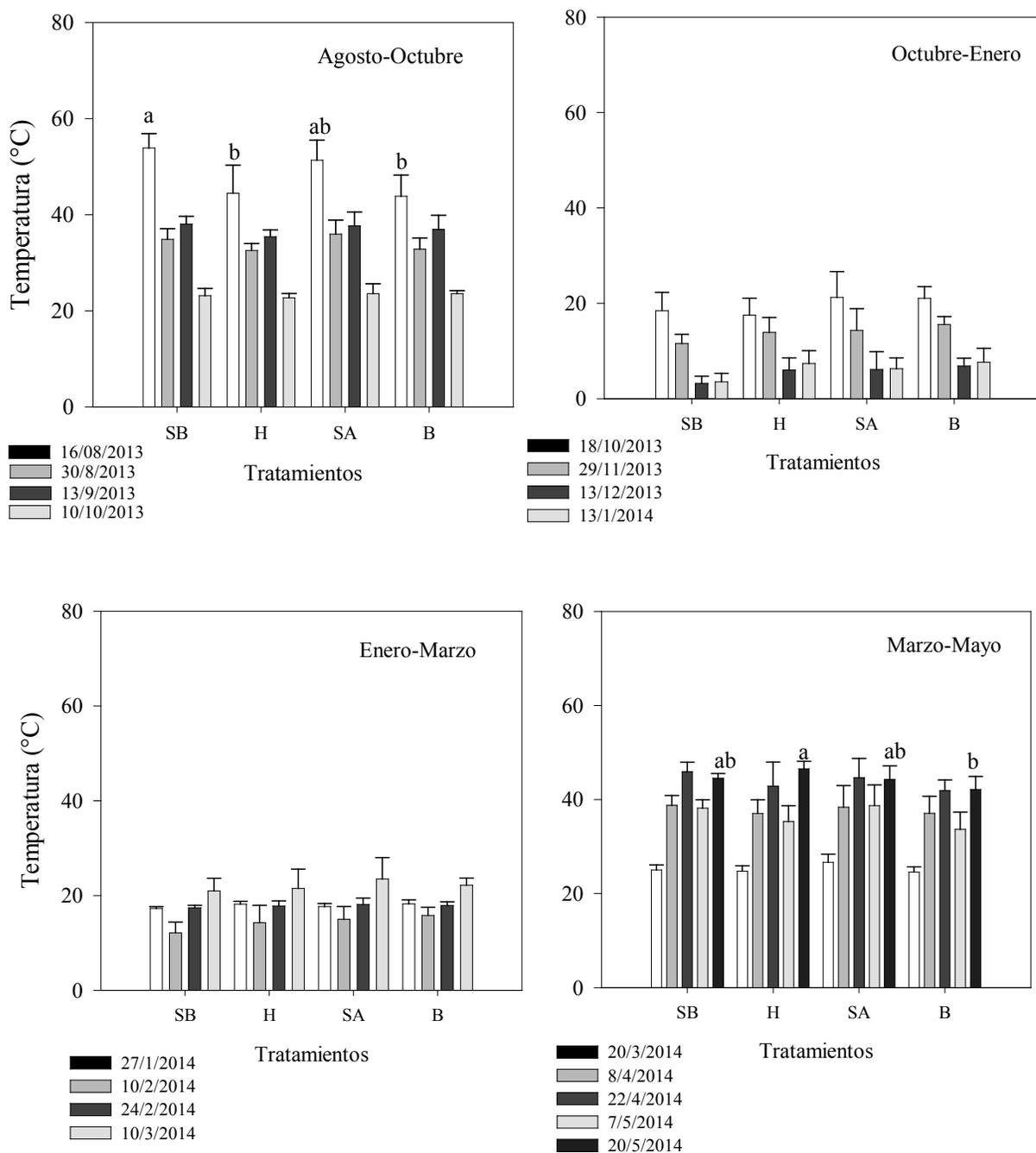
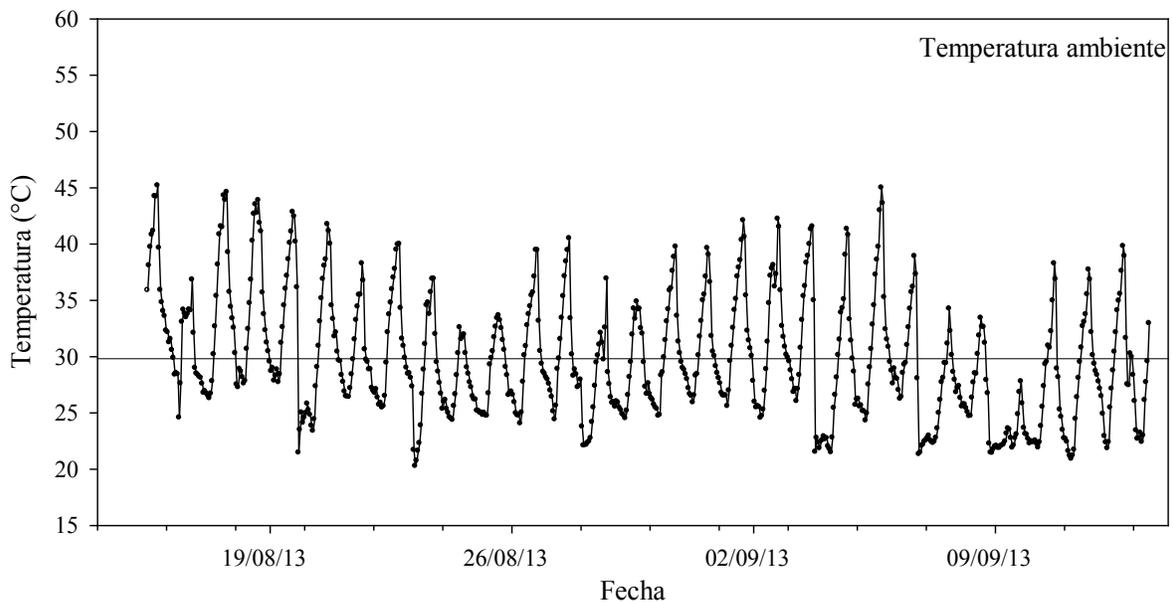


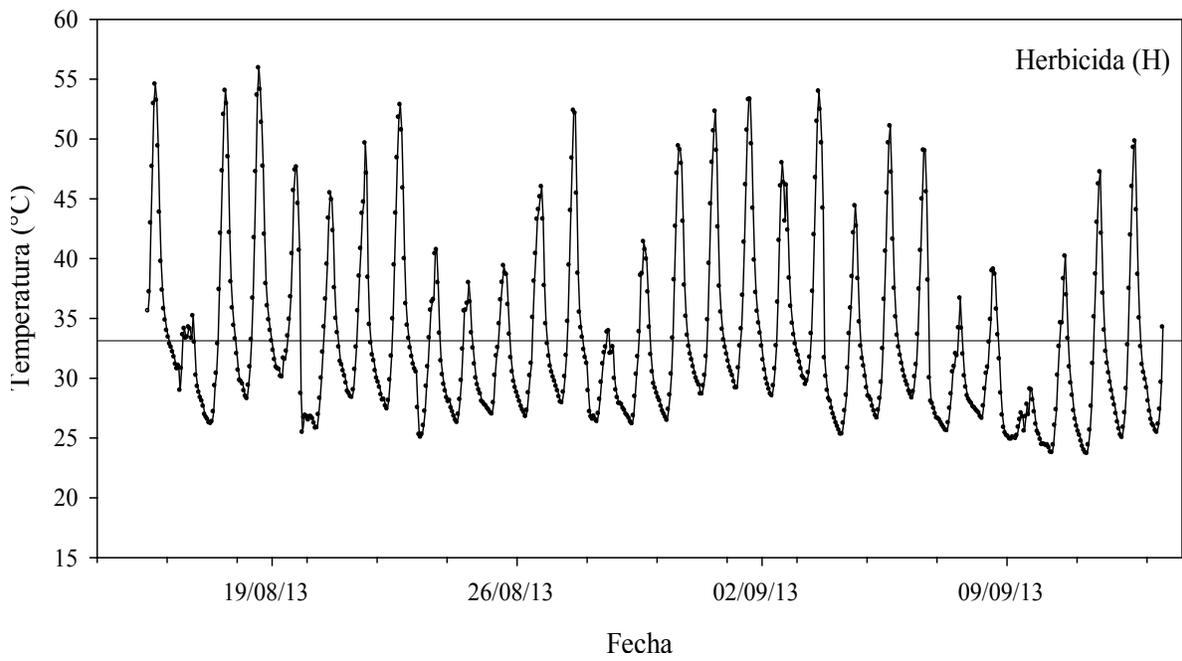
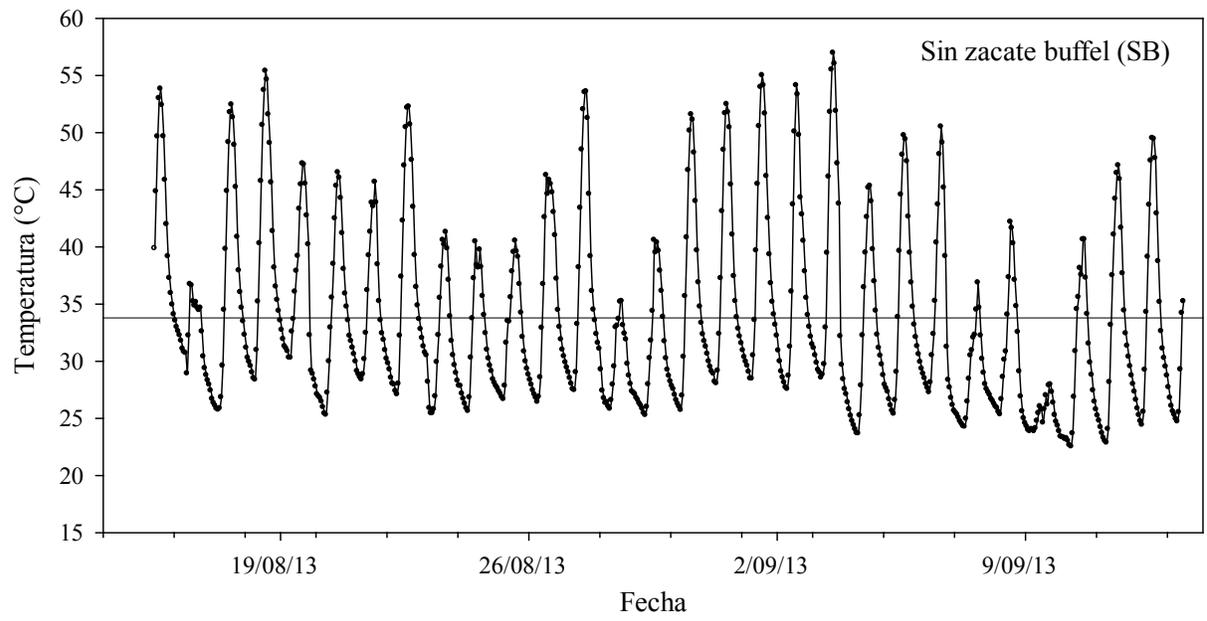
Figura 17. Temperatura (°C) por fechas y tratamientos. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n=5). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea de zacate buffel, y B con zacate buffel.

## VIII.2.2. Mediciones continuas de temperatura

Con los datos obtenidos de las mediciones continuas, se realizaron dos distintos análisis estadísticos y gráficas para evaluar si las diferencias de temperatura del suelo fueron significativas entre los tratamientos. Estas dos formas contemplaron: a) con promedios de cada hora del día y b) se compararon las temperaturas promedio, mínima y máxima por día (Figs. 18 y 19).

Para todos los datos de temperatura obtenidos por los hobos se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2 = 122.26$ ,  $P = 0.0001$ ,  $n = 1$ ) (figura 18). Las medias de la temperatura en ese periodo fueron: en el tratamiento SB 34.7, en SA 34.24, en H 33.88 y B 33.68° C. Para los promedios de temperatura mínima y máxima del periodo de medición, (figura 19) no se encontraron diferencias significativas.





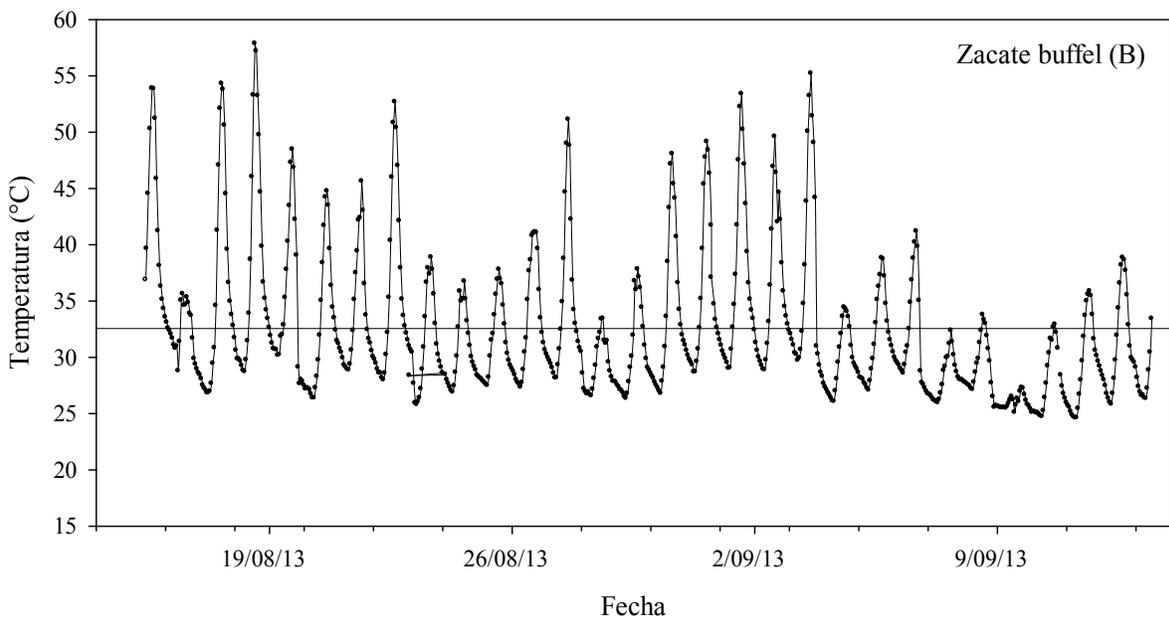
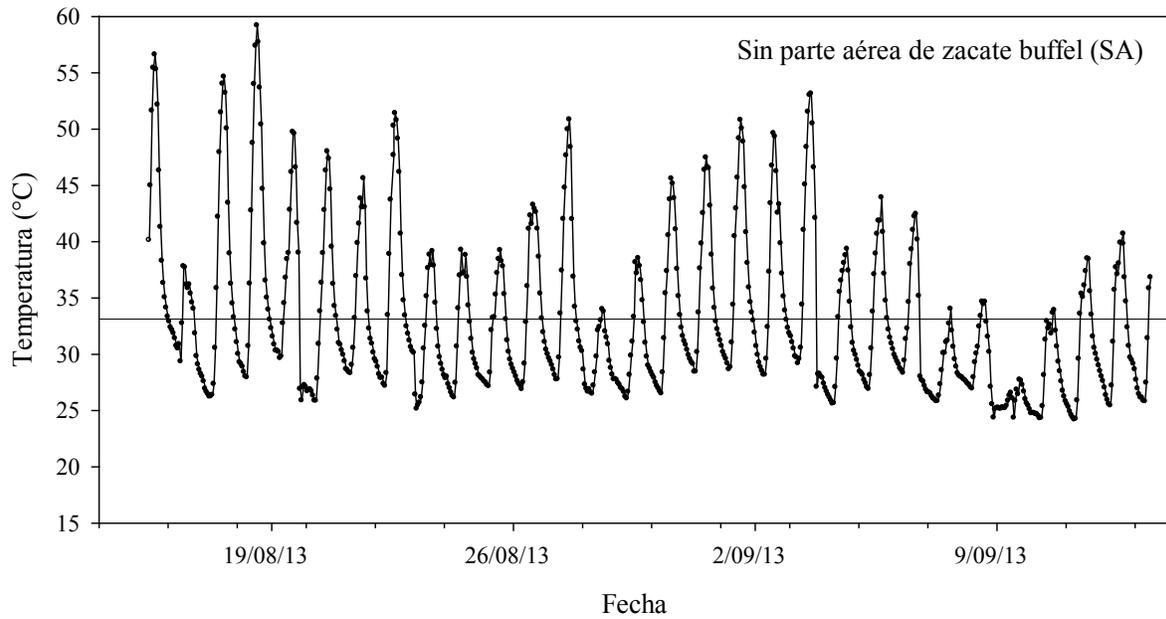


Figura 18. Temperatura del suelo (°C) obtenidas por los HOBOS en el periodo del 15 de Agosto al 13 de septiembre del 2013 entre 1 y 2 cm de profundidad. Tratamientos: SB, sin zacate buffel; H, con herbicida; SA, sin parte aérea de zacate buffel; y B, con zacate buffel.

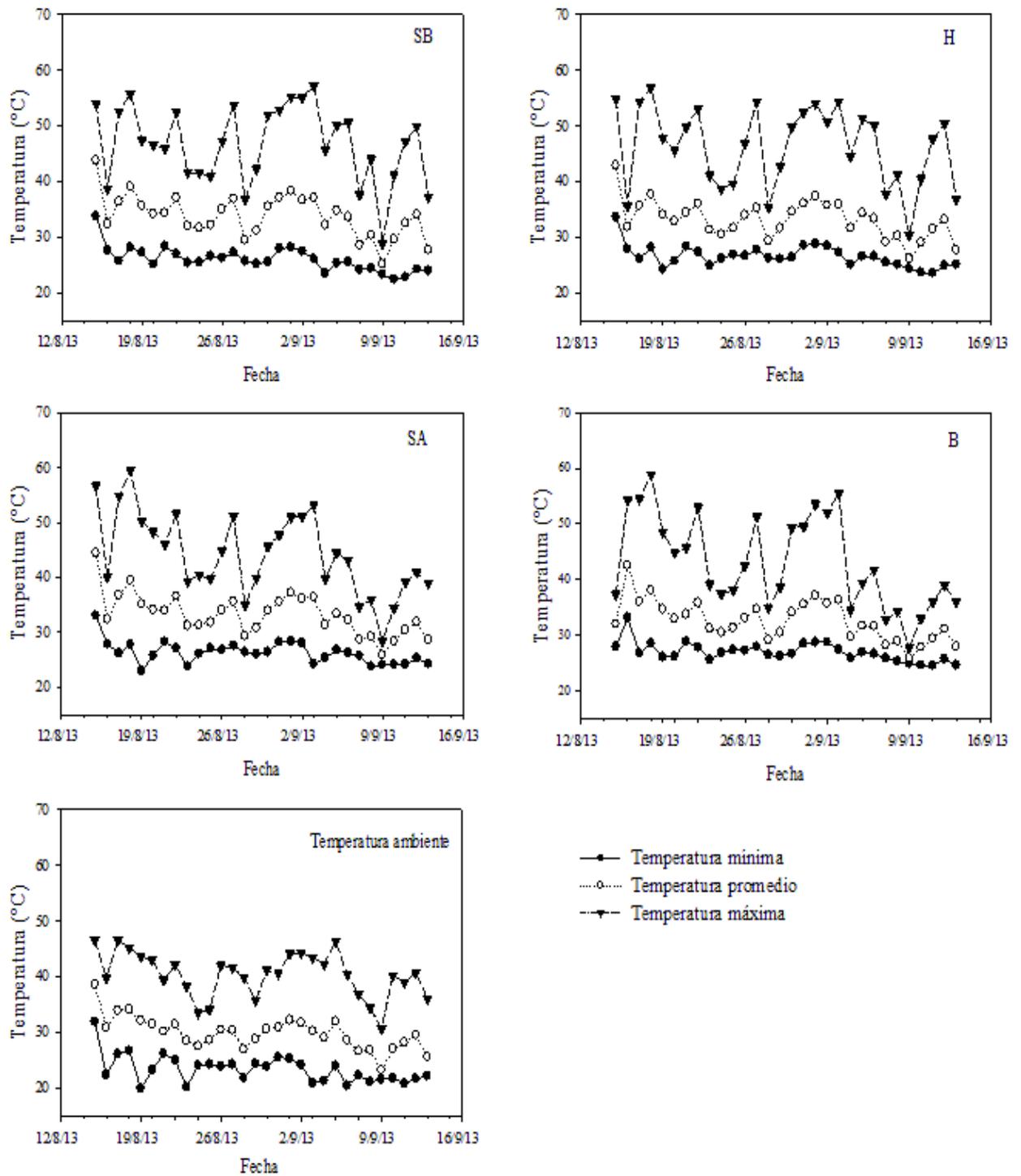


Figura 19. Promedio diario de temperaturas del suelo, mínimas, y máximas, obtenidas por los HOBOS del 15 de Agosto al 13 de Septiembre del 2013. Tratamientos: SB, sin de zacate buffel; H, con herbicida; SA, sin parte aérea de zacate buffel; y B, con de zacate buffel.

### VIII.2.3. Humedad del suelo

La humedad del suelo, al igual que la temperatura, se midió de manera puntual en la mañana cada vez que se realizaba un censo. Se realizó una prueba no paramétrica de Wilcoxon, con un nivel de confianza del 95% para evaluar si hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizaron gráficos de 4 fechas para una mejor visualización de los resultados. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2 = 1.0379$ ,  $P = 0.7921$ ,  $n = 5$ ). Se realizaron pruebas estadísticas de ANOVA por fecha entre los tratamientos, pero solo se encontraron diferencias significativas para la fecha del 24 de Febrero ( $F = 3.420$ ,  $P=0.0428$ ) (figura 20).

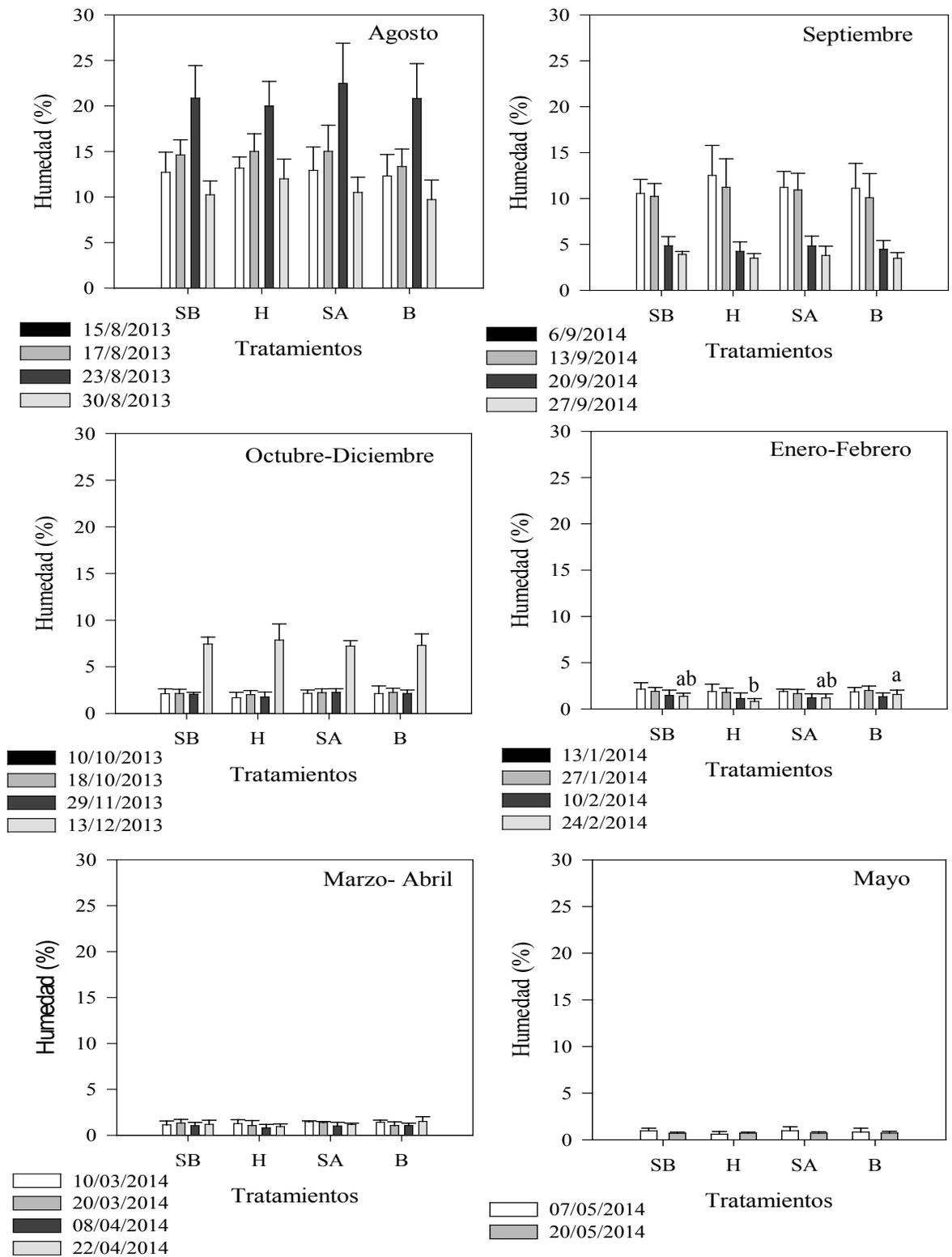


Figura 20. Humedad del suelo por fechas y tratamientos. Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea del zacate buffel, B con zacate buffel. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n = 5).

## VIII.2.4. Luz

Se midió la radiación fotosintéticamente activa en dos ocasiones durante la estación de crecimiento, cuando el cielo estuvo despejado. Se realizaron mediciones los días 30 de Agosto y 13 de Septiembre del 2013; los datos analizados con ANOVA indicaron diferencias significativas entre los tratamientos, la luz promedio fue mayor para el tratamiento SB, mientras que para los otros tratamientos la media encontrada fue similar ( $F = 6.471$ ,  $P = 0.0013$ ) (figura 21).

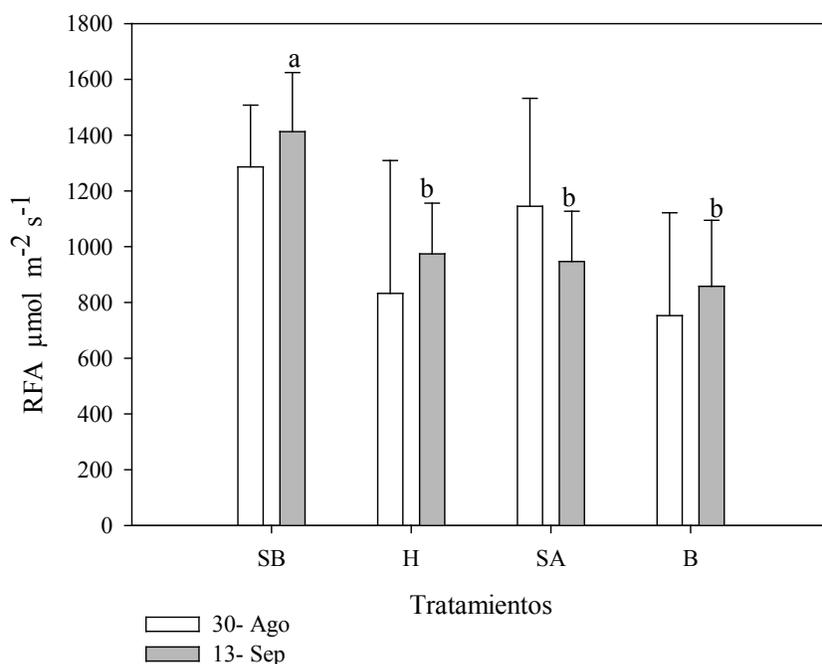


Figura 21. Radiación fotosintéticamente activa por tratamientos (RFA). Tratamientos: SB sin zacate buffel, H con herbicida, SA sin la parte aérea del zacate buffel, B con zacate buffel. Se muestran diferencias significativas entre los tratamientos con letras. Las barras representan la media  $\pm$  DS ( $n = 20$ ).

### VIII.3. Experimento de Herbicida en Plántulas Nativas

#### VIII.3.2. Supervivencia

La supervivencia de las plántulas a la aplicación de herbicida fue muy baja para ambos tratamientos, menos del 20%. Se encontraron diferencias significativas en la supervivencia de plántulas entre los estadios de desarrollo, ( $\chi^2 = 27.647$ ,  $P = 0.0001$ ,  $n=3$ ). La supervivencia fue mayor en plántulas recién germinadas en comparación con las más grandes, la supervivencia en el control (C) fue del 100% (figura 22 a). No se encontraron diferencias significativas en la supervivencia entre especies ( $\chi^2 = 0.991$ ,  $P = 0.803$ ,  $n=9$ ) (figura 22 b). La aplicación de glifosato en plántulas nativas afectó también negativamente su crecimiento.

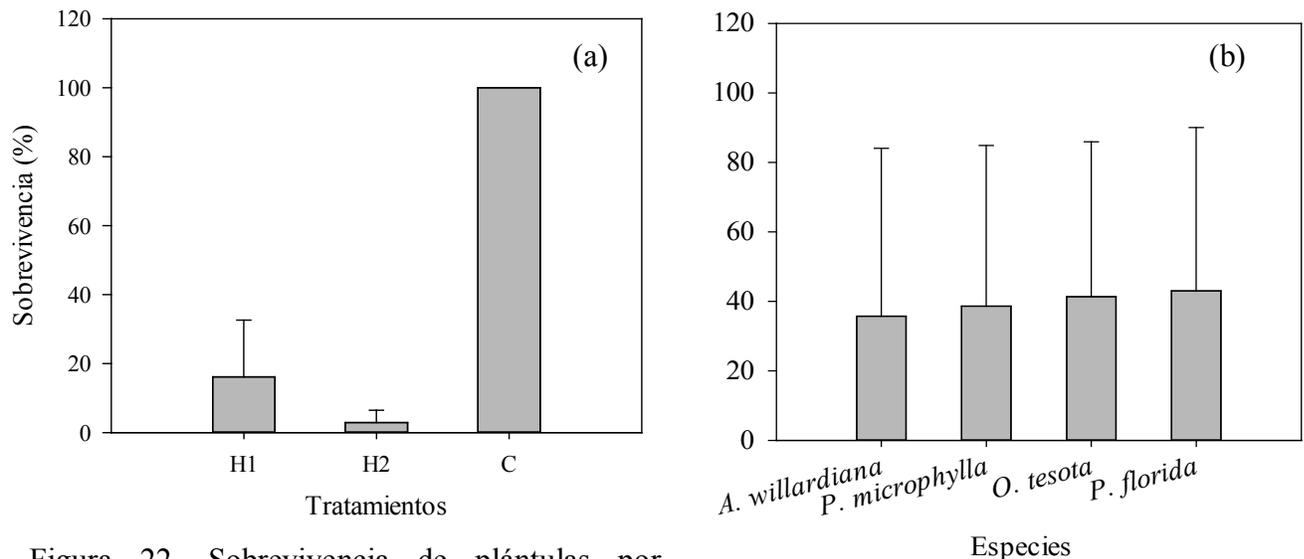


Figura 22. Supervivencia de plántulas por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas, y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm y varios pares de hojas verdadera y C fue el control. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (en (a)  $n = 3$  y en (b)  $n= 9$ ).

La sobrevivencia entre tratamientos por especie mostro diferencias significativas en *A. willardiana* ( $\chi^2 = 7.783$ ,  $P = 0.0204$ ,  $n = 3$ ), *P. microphylla* ( $\chi^2 = 5.634$ ,  $P = 0.0598$ ,  $n = 3$ ), *O. tesota* ( $\chi^2 = 7.513$ ,  $P = 0.0234$ ,  $n = 3$ ), y *P. florida* ( $\chi^2 = 7.019$ ,  $P = 0.0299$ ;  $n = 3$ ). Las plántulas que sobrevivieron presentaron una talla menor, principalmente en el tratamiento H1, observándose algunos rebrotes, pero en H2 no se mostró crecimiento después de la implementación del tratamiento. En el tratamiento H1 *O. tesota* y *P. florida* presentan una mayor sobrevivencia, mientras que para *A. willardiana* y *P. microphylla* fue menor. En el tratamiento H2, solo se registró sobrevivencia para *P. microphylla* y *O. tesota* (figura 23).

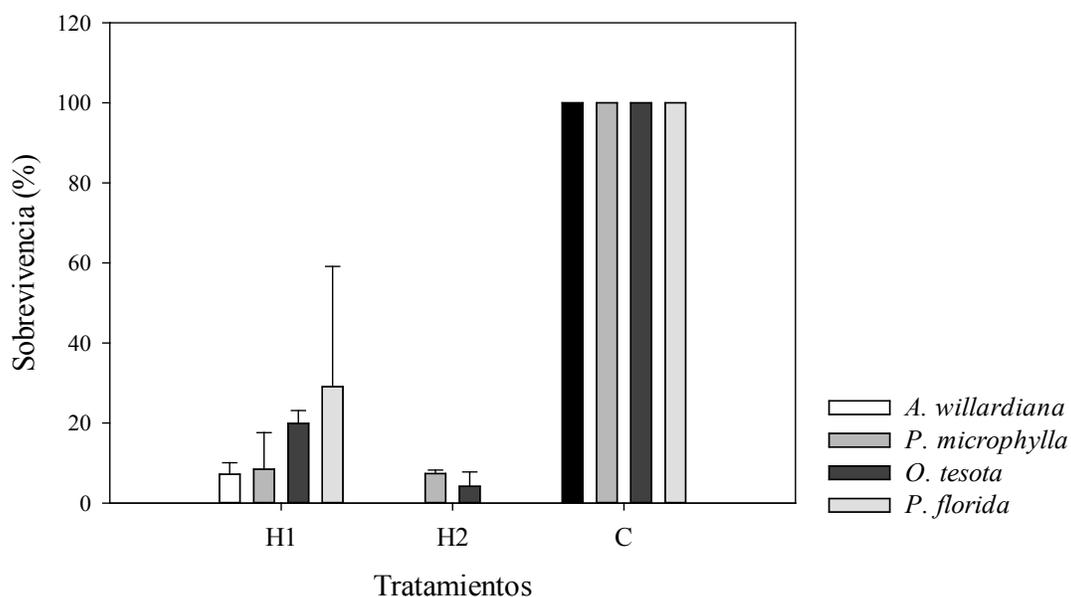


Figura 23. Sobrevivencia de plántulas de especies en los tratamientos en cada una de las especies. Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue el control. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS ( $n = 3$ ).

### VIII.3.3. Biomasa

El crecimiento de las plántulas medido como biomasa seca mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $\chi^2 = 67.110$ ,  $P < 0.0001$ ) (figura 24 a); el control muestra el promedio más alto de biomasa, H2 presentó mayor biomasa que H1, debido a que el tratamiento se realizó cuando la plántula tenía 10 cm de altura, en comparación de H1, donde las plántulas tenían menos de 5 cm de altura y solo un par de hojas verdaderas. La respuesta de las especies estudiadas difirió entre ellas, ( $\chi^2 = 220.320$ ,  $P = 0.0001$ ,  $n = 3$ ) las pruebas estadísticas indican que hubo diferencias significativas entre la biomasa producida por las especies estudiadas, la especie con mayor biomasa fue *P. microphylla*, *O. tesota* y *P. florida* presentan biomasa producida similar, la especie con menor biomasa fue *A. willardiana* (figura 24 b).

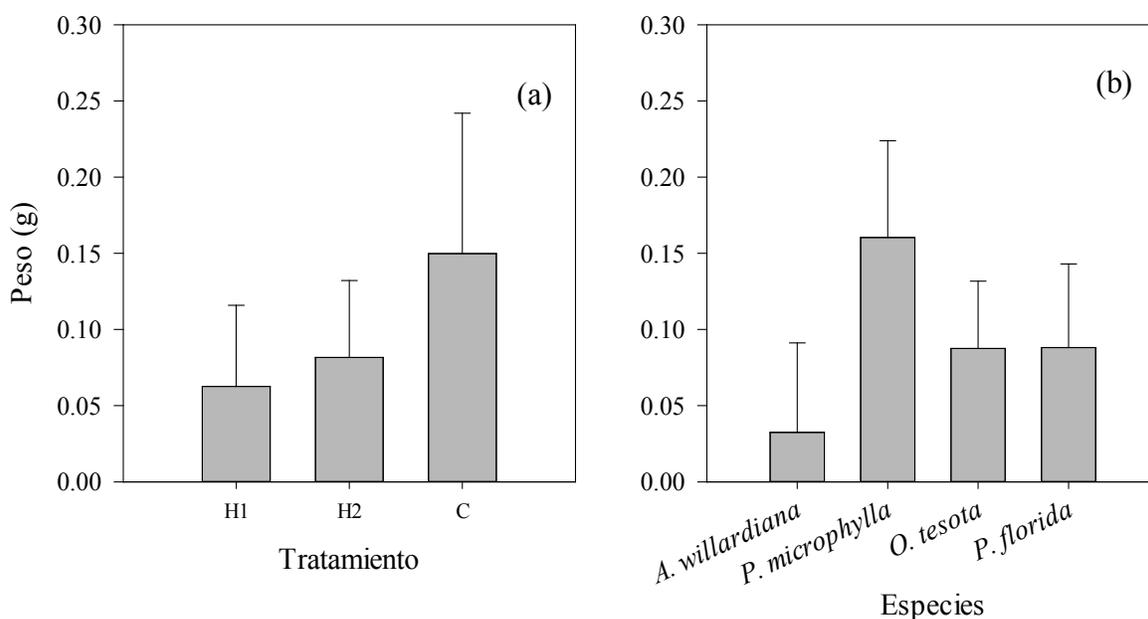


Figura 24. Biomasa de plántulas por tratamientos (a) y por especies (b). Tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue el control. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida* Las barras representan la media  $\pm$  DS ( $n = 3$ ).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el peso de las plántulas entre tratamientos por especie: *A. willardiana* ( $\chi^2 = 69.886$ ,  $P < 0.0001$ ), *P. microphylla* ( $\chi^2 = 48.051$ ,  $P < 0.0001$ ), *O. tesota* ( $\chi^2 = 55.721$ ,  $P = 0.0001$ ), y *P. florida* ( $\chi^2 = 24.229$ ,  $P = 0.0001$ ). El control mostro una media mayor seguido del tratamiento H2 y con menor H1 en todas las especies (figura 25).

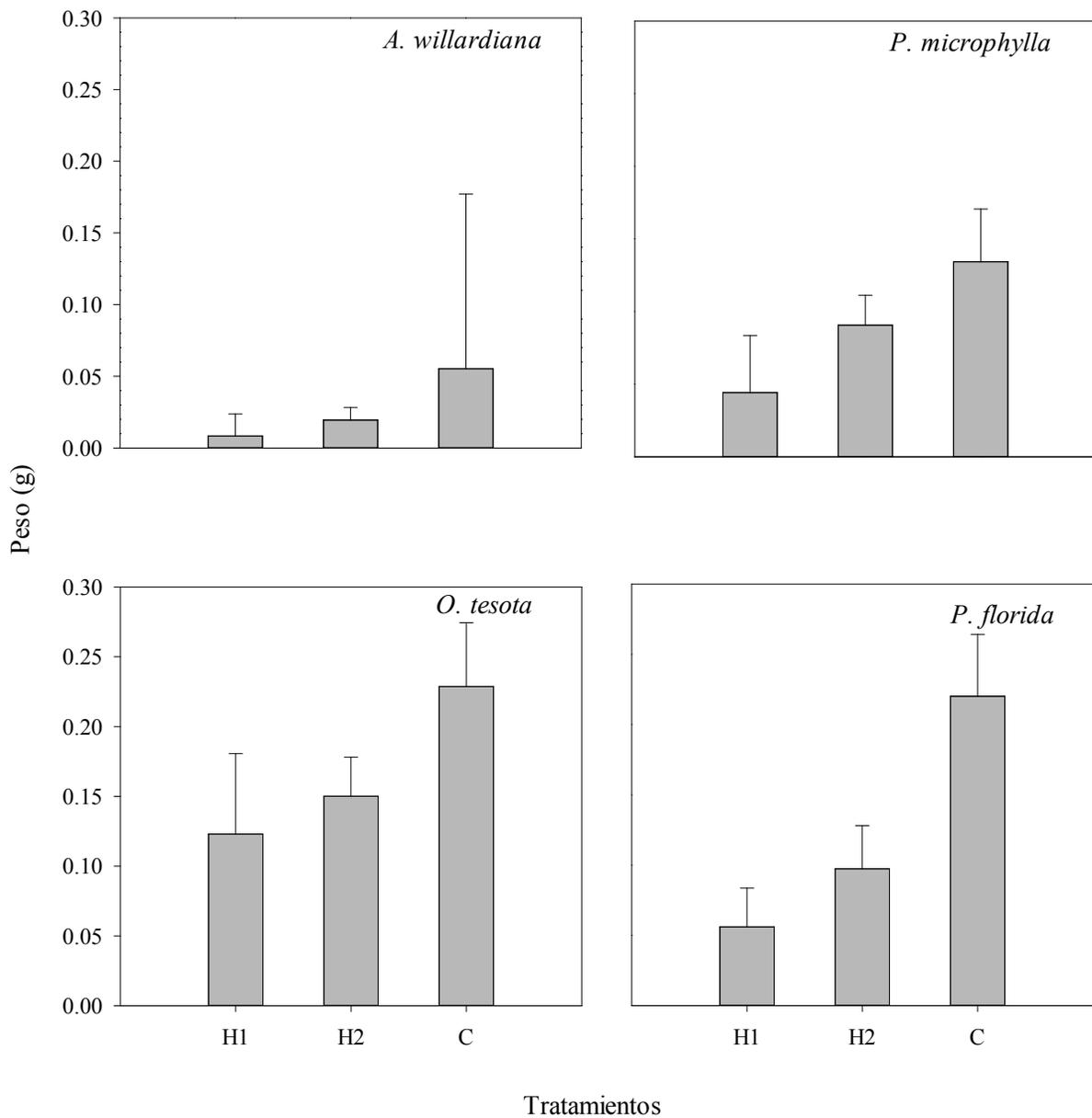


Figura 25. Biomasa de plántulas en tratamientos en cada una de las especies. Los tratamientos: H1, aplicación del herbicida con el primer par de hojas verdaderas y H2, aplicación de herbicida con una altura de 10 cm; C fue el control. Especies: *Acacia willardiana*, *Parkinsonia microphylla*, *Olneya tesota* y *Parkinsonia florida*. Las barras representan la media  $\pm$  DS (n=3).

#### VIII.4. Efecto de Glifosato en Plantas Nativas

El día 30 de Agosto se realizó este experimento, y se evaluó el daño del herbicida una semana después (6 Septiembre) y dos semanas después (13 Septiembre). Las ramas de los árboles y arbustos, presentaron daños, pero los más evidentes fueron en *J. cardiophylla* y *Encelia farinosa*, para *O. tesota* y *P. microphylla* el daño fue menor, pero visible. En la tabla I se muestran los resultados.

TABLA I. Porcentaje de sobrevivencia de hojas de ramas control y ramas tratadas con herbicida en plantas de: *Olneya tesota*, *Parkinsonia microphylla*, *Jatropha cardiophylla* y *Encelia farinosa*.

TRATAMIENTO	ESPECIE	RAMA 1	RAMA 2	RAMA 3
Control	<i>O. tesota</i>	100%	100%	100%
Herbicida		60%	70%	80%
Control	<i>P. microphylla</i>	100%	100%	100%
Herbicida		30%	50%	75%
Control	<i>J. cardiophylla</i>	100%	100%	100%
Herbicida		0%	50%	0%
Control	<i>E. farinosa</i>	100%	100%	100%
Herbicida		95%	0%	90%

En el caso de la hierba anual *Boerhavia spicata* los datos se analizaron con la prueba Wilcoxon, se encontró un efecto negativo por el herbicida, se encontraron diferencias significativas en la sobrevivencia entre los tratamientos ( $\chi^2 = 9.314$ ,  $P = 0.0023$ ,  $n = 4$ ) (figura 26). Las plantas perdieron sus hojas y murieron debido a la aplicación de herbicida en comparación con el control donde mantuvieron sus hojas.

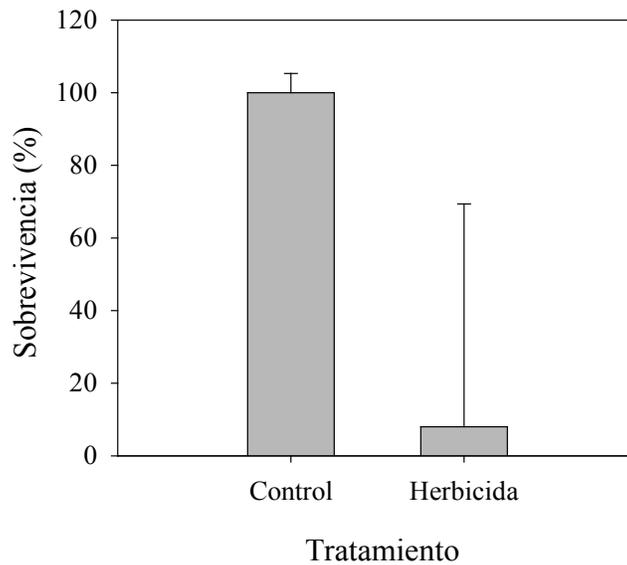


Figura 26. Sobrevivencia de *Boerhavia spicata* por tratamiento. En el tratamiento herbicida las plantas fueron tratadas con glifosato y en el control no fueron tratadas.

## IX. DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que los tratamientos de eliminación de zacate buffel afectan la germinación y sobrevivencia de plántulas de especies nativas. El tratamiento de eliminación de zacate buffel, usando glifosato, fue el que favoreció la germinación y sobrevivencia de plantas nativas; en comparación los tratamientos de eliminación aérea o total de las plantas de zacate buffel, y con zacate buffel, tuvieron un efecto negativo en la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas. Se encontraron además diferencias en la respuesta de las especies nativas a estos tratamientos, siendo *Parkinsonia microphylla* la especie menos afectada. La aplicación de glifosato a plántulas de las especies nativas estudiadas afecta de manera importante su sobrevivencia y crecimiento. Se discuten los resultados en relación a los posibles mecanismos involucrados, incluyendo microclima, alelopatía y competencia por agua, además de las implicaciones de estas técnicas de eliminación de zacate buffel en su uso para la restauración del matorral en zonas áridas.

Se ha documentado que la germinación de pastos y herbáceas se ve afectada negativamente en praderas de zacate buffel (Daehler y Goergen, 2005; Sands, et al., 2009); en contraste el estudio de Morales-Romero y Molina-Freaner (2008) muestra que en praderas activas de zacate buffel germinaron mejor las semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* que en matorral espinoso, donde hay más depredación de semillas. Sin embargo las plántulas de *P. pecten-aboriginum* presentaron menor sobrevivencia en la pradera. En el presente estudio sí hay germinación en presencia de zacate buffel, pero no fue el tratamiento donde se encontró mayor germinación, encontrando una mayor germinación en el tratamiento H, seguido del tratamiento B y una menor germinación en los tratamientos SA y SB.

La mayor germinación en los tratamientos H y B nos indica que la presencia de hojas muertas o vivas de zacate buffel favorece la germinación. En el caso de H la mayor germinación observada podría relacionarse a dos posibles mecanismos: el primero, al morir las hojas de buffel por el efecto herbicida, la planta no ejerce efecto alelopático en las semillas y/o competencia por agua, y segundo la presencia de hojas muertas creó un microclima favorable en términos de luz, temperatura y disponibilidad de agua que favoreció la germinación, como lo demuestran los datos obtenidos de luz, y los de temperatura obtenidos

después de la siembra. En otros estudios se ha visto que al eliminar químicamente un pasto exótico el tejido muerto favorece el reclutamiento de especies nativas, debido al microclima creado por las hojas (Medeiros et al., 2014). En este estudio lo más probable es que los dos mecanismos estén actuando, debido a que el tratamiento B con zacate buffel presenta menor germinación que el tratamiento H, a pesar de que las hojas puedan crear un microambiente favorable para que las semillas germinen. Esta diferencia indica la posibilidad de que al mantener las hojas vivas se lixivie algún compuesto alelopático de éstas que inhiba o retarde hasta cierto punto la germinación en el tratamiento. Además hay estudios que demuestran en experimentos de laboratorio los efectos de alelopatía de zacate buffel en varias especies, incluyendo leguminosas (Hussain et al., 2011; Nurdin y Fulbright, 1990; Silva, 2013). El argumento del microclima puede ser apoyado por los resultados de los otros dos tratamientos en los que se elimina la parte aérea del zacate buffel y la planta completa de buffel, por lo que las semillas estuvieron expuestas a condiciones de luz, temperatura y humedad más extremas, afectando negativamente la germinación. Un estudio en Sonora reporta que hay poca germinación de una cactácea en suelo desnudo, incluso con exclusión de depredadores (Morales-Romero et al., 2012).

Entre especies se encontraron diferencias en la respuesta de germinación a los tratamientos. Estas diferencias pueden ser debidas a diferencias en los requerimientos abióticos para la germinación de las especies, y/o a una sensibilidad diferencial al efecto alelopático del zacate buffel. *Acacia willardiana* fue la especie más restringida en su germinación y se vio favorecida solamente en el tratamiento H, y en los otros tratamientos la germinación fue menor al 5%. *O. tesota* también tuvo porcentajes bajos de germinación al estar más expuesta en los tratamientos SA y SB. En contraste las dos especies de *Parkinsonia* parecen tener mayores rangos de tolerancia a cambios ambientales, lo que las convierte en posibles candidatas para su uso en la restauración de praderas. Las diferencias en la respuesta específica deben ser estudiadas en experimentos de germinación bajo gradientes de diferentes factores ambientales, y la respuesta a lixiviados de buffel, principalmente en *A. willardiana* y *Olneya tesota*, donde se obtuvieron porcentajes menores de germinación (<50%).

Existen evidencias de que el zacate buffel es alelopático, se ha demostrado principalmente en laboratorio, donde los efectos son negativos para varias especies, pero en

campo se ha argumentado que los efectos de plantas alelopáticas podrían variar (Li et al., 2010). Hierro y Callaway (2003) sugieren que el que una especie exótica pueda ser exitosa y volverse invasora no solo se podría explicar por la manera de extraer recursos mejor que una planta nativa, sino que también la alelopatía podría influir. Hay estudios donde se sugiere que el zacate buffel es mejor competidor por recursos por no permitir la germinación de herbáceas nativas (Daehler y Goergen, 2005; Sands, et al., 2009), lo que también podría explicarse por el efecto alelopático del zacate buffel.

La sobrevivencia difirió entre tratamientos: como en el caso de la germinación, la sobrevivencia de plantas fue mayor en el tratamiento H. Esta mayor sobrevivencia se puede deber al microclima generado por las hojas muertas de zacate buffel, específicamente a la reducción de luz y temperatura. Aunque en un estudio realizado en Arizona la adición de hojarasca no ayudó al reclutamiento de especies nativas, por el contrario se encontraron plántulas de zacate buffel debajo de la hojarasca (Woods et al., 2012). En ese mismo estudio se realizó eliminación química y manual de zacate buffel y se encontró que la germinación y sobrevivencia de plantas de varias especies nativas fue muy baja. En este estudio la sobrevivencia en los tratamientos SB, SA y B fue similar. Las plántulas en los tratamientos de SA y SB están expuestas a la irradiación directa, por lo que el estrés es mayor en comparación con el tratamiento H. En estos tratamientos las especies de *Parkinsonia* fueron las que mostraron mayor sobrevivencia. La causa de muerte de las plántulas fue la desecación, dado que no se encontraron plántulas depredadas. Para plántulas de cactáceas trasplantadas y germinadas en campo se ha registrado que hay una menor sobrevivencia en praderas inducidas de zacate buffel, a pesar de que hubo una mayor germinación, en comparación las plántulas sobreviven por más tiempo en matorral natural. Las principales causas de muerte en praderas fueron: el pastoreo en la pradera y en matorral natural la desecación y depredación (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008; Morales-Romero et al., 2012).

Aunque los resultados presentados solo indican diferencias en los datos de luz incidente; y temperatura pueden existir otros factores que influyen en la sobrevivencia diferencial de plantas entre los tratamientos. Se ha documentado que el pasto exótico perenne *Bromus madritensis* var. *rubens* produce un efecto de estrés en plantas nativas del desierto de Mojave dependiendo del tamaño del pasto. En invierno, las plantas de *B. madritensis* var.

*rubens* se establecen sin afectar a las plantas nativas dado que están en estado de latencia. Para la siguiente época de lluvias se observa que hay menor crecimiento en *Larrea tridentata*; sin embargo si el pasto se establece en primavera, debido a su tamaño menor que el de las nativas no hay competencia y la planta nativa puede crecer (DeFalco et al., 2007). Pero en ese estudio no se encontraron diferencias en el potencial hídrico, que pudieran explicar la diferencia de crecimiento, indicando que el menor crecimiento no es por competencia por agua. Eilts y Huxman (2013) documentaron que el zacate buffel causa estrés en árboles establecidos de *Parkinsonia microphylla*; pero no se ha documentado lo que sucede en las primeras fases de establecimiento de árboles. D' Antonio et al. (1998) encontraron que una planta nativa puede aprovechar mejor el nitrógeno en ausencia de pastos exóticos. También se ha reportado que la cantidad de N en praderas de buffel es menor debajo del dosel de árboles nativos (Celaya et al., 2010). Woods et al. (2012) encontraron baja sobrevivencia de plantas nativas en sitios donde eliminaron zacate buffel, concluyendo que es el microclima lo que determina el establecimiento de nativas en praderas. Sin embargo se ha documentado competencia de especies herbáceas, con plantas maduras de zacate buffel (Daehler y Goergen, 2005; Sands, et al., 2009). En este estudio, la sobrevivencia en el tratamiento B fue baja, lo que podría estar relacionado con alelopatía y/o competencia con plantas establecidas de zacate buffel. Esto es debido a que se ha documentado que la presencia de zacate buffel (10-15 años) no causa impacto en nutrientes como nitrógeno, fósforo y/o en factores fisicoquímicos como conductividad eléctrica o pH, que son mayores que en suelo desnudo y los valores son similares a los de debajo del dosel de plantas nodrizas (Abella et al., 2012, 2013). Con esto se podría pensar que el zacate buffel podría ser una planta nodriza, pero en campo no se ha demostrado, por el contrario, la presencia de zacate buffel disminuye la cobertura de especies nativas (Abella et al., 2012, 2013). En caso de los tratamientos SA y SB, es clara la influencia negativa del microclima en la germinación.

Las plántulas de *P. microphylla*, *O. tesota* y *P. florida* sobreviven mejor en los tratamientos SB y H, mientras que en los tratamientos SA y B la sobrevivencia es menor al 50%. Esto nos indica que las plántulas de estas especies son resistentes a la irradiación directa del sol siendo las dos especies de *Parkinsonia* las que presentaron mayor sobrevivencia en comparación con *A. willardiana* y *O. tesota* que tienen una sobrevivencia parecida entre ellas. Se ha registrado para *P. microphylla* que la sobrevivencia en años lluviosos puede ser mayor

al 50% para el siguiente año, y en años menos favorables una sobrevivencia menor al 20% en vegetación natural (Shreve, 1917).

Además de los datos de sobrevivencia, la diferencia en altura de plántulas nos indica que en el tratamiento H las plántulas crecen más, debido a que se genera un mejor microclima; además es eliminada cualquier competencia con buffel por recursos o alelopatía. Esto da como resultado una mejor sobrevivencia y vigor/altura de las plántulas. Los demás tratamientos de una u otra forma afectan a las especies nativas encontrándose menor sobrevivencia y altura. Las plántulas de *P. microphylla*, *O. tesota* y *P. florida* sobrevivieron mejor, pero no tuvieron una mejor respuesta en vigor/altura en el tratamiento SB. La altura de todas las plántulas se vio favorecida en el tratamiento H, en los otros tratamientos fue similar la respuesta, pero *P. florida* presentó mayor altura que las demás plántulas.

Como en estudios anteriores, el glifosato mostró ser un eficiente herbicida, eliminando al zacate buffel (Dixon, et al., 2005, Daehler y Goergen, 2005, Abella et al., 2013). Sin embargo, antes de ser seleccionado como un método eficiente para la eliminación de zacate buffel es necesario probar si afecta a las plantas pequeñas de especies nativas que podrían ser expuestas al herbicida al aplicarlo a zacate buffel. En este estudio se encontró un efecto negativo del glifosato en las plántulas de las cuatro especies estudiadas. Sin embargo, Dixon et al. (2002) publicaron que la utilización de glifosato para la eliminación de zacate buffel en una isla de Australia resultó solo en el daño de un pasto nativo, no resultaron afectadas más especies nativas. En este estudio la aplicación del herbicida en las plantas crecidas experimentalmente produjo una baja biomasa y una alta mortandad en invernadero, ya que el glifosato fue aplicado sobre la parte aérea de la plántula, que es como sucedería si se aplica como método para eliminar zacate buffel cuando hay plántulas de nativas. Y con esto se demuestra que si se aplica glifosato sin tener en cuenta plantas no objetivo se puede afectar a plantas nativas. Se ha documentado en estudios de laboratorio en cajas de Petri que el glifosato no afecta la germinación de algunas especies silvestres. Cuando es aplicado en el suelo puede inhibir el crecimiento de brotes de solo una de las especies estudiadas, lo que se atribuye a que el glifosato en el suelo es inactivado y además es poco absorbido por plantas, por lo que la mayoría de las especies no se afectó (Egley y Williams, 1978; Sprankle et al.,

1975). Por lo tanto, se podría aplicar glifosato si las semillas aún no germinan las plantas nativas pueden germinar, pero si hay plántulas si se pueden ver afectadas por el glifosato.

El glifosato también ha sido utilizado para plantas perennes: se ha registrado su uso en restauración para disminuir la cubierta de *Rubus ulmifolius*, una especie arbustiva que es invasora (Mazzolari et al., 2011). En ese estudio la aplicación, de glifosato redujo a cerca de cero la cubierta de *R. ulmifolius*. Pero estos resultados dependieron de la época aplicación siendo más fuerte el efecto de glifosato cuando las hojas del arbusto empiezan la senescencia y/o empieza la época de reproducción (Mazzolari et al., 2011) En el experimento de aplicación de herbicida a ramas de plantas nativas se encontró un efecto negativo solo en las plantas de *Encelia farinosa* y *Jatropha cardiophylla*.

## X. CONCLUSIÓN

Según los resultados obtenidos, el zacate buffel afecta negativamente la germinación y sobrevivencia de las cuatro especies nativas del matorral xerófilo de Sonora estudiadas. Afecta principalmente a *Acacia willardiana*, y la especie menos afectada es *Parkinsonia microphylla*, tomando en cuenta tanto germinación como sobrevivencia. Aunque *Parkinsonia florida* es la especie que germina más en zacate buffel, sobrevive muy poco. La mejor forma de conservar especies nativas es eliminando el zacate buffel. Según este estudio es mejor eliminarlo de forma química, debido a que en el tratamiento herbicida es en donde se registró la mayor germinación y sobrevivencia, y así se podrían conservar las hojas secas de zacate buffel que favorece la germinación, por lo que el costo de eliminación podría ser menor que si se realiza una eliminación completa de las plantas. Mientras que el tratamiento de eliminación de zacate buffel se encontró la mejor sobrevivencia después del tratamiento herbicida, pero la restauración de un sitio invadido por zacate buffel con la eliminación manual o mecánica puede ser costosa si el área a restaurar es grande. Dado el efecto negativo del glifosato en plántulas, al eliminar zacate buffel su aplicación deberá hacerse antes de que inicie la germinación de las especies nativas, incluyendo especies herbáceas. La ventaja es que en esta área del desierto Sonorense, el zacate buffel comienza a reverdecer antes de la época de sequía y el herbicida puede ser aplicado antes de la germinación de especies nativas. Su aplicación debe también centrarse a los macollos del zacate buffel, ya que puede afectar incluso plantas herbáceas y arbustivas ya establecidas, como se comprobó en este estudio en arbustos como la rama blanca y en la herbácea *Boerhavia spicata*.

La especie con mejor germinación fue *Olneya tesota*, pero *P. microphylla* obtuvo mejor sobrevivencia. Cualquiera de las dos especies es una opción para reforestar en el área de estudio. La especie con menor germinación fue *A. willardiana*, esta especie se distribuye principalmente en los cerros del área de estudio, donde el zacate buffel también es común. Los resultados presentados demuestran que esta especie no se regenera en presencia de zacate buffel. Estos resultados son de una revegetación semi-activa, debido a que las semillas fueron sembradas, pero sin adición de agua. Dado que ninguna de las cuatro especies de plantas

sobrevivió más de 300 días, la adición de agua puede ser una buena opción de intervención para aumentar la sobrevivencia en caso de restauración.

## XI. LITERATURA CITADA

- Abella, S. R., L. P. Chiquoine y D. M. Backer. 2012. Ecological Characteristics of Sites Invaded by Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). *Invasive Plant Science and Management* 5(4):443-453.
- Abella, S. R., L. P. Chiquoine y D. M. Backer. 2013. Soil, vegetation, and seed bank of a Sonoran Desert ecosystem along an exotic plant (*Pennisetum ciliare*) treatment gradient. *Environmental Management* 52:946-957.
- Allington, G. R. H. y T. J. Valone. 2011. Long-Term Livestock Exclusion in an Arid Grassland Alters Vegetation and Soil. *Rangeland Ecology & Management* 64(4):424-428.
- Arriaga, L. 2009. Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental* 1(1):11.
- Arriaga, L., A. E. Castellanos, E. Moreno y J. Alarcón. 2004. Potential Ecological Distribution of Alien Invasive Species and Risk Assessment: a Case Study of Buffel Grass in Arid Regions of Mexico. *Conservation Biology* 18(6):1504-1514.
- Bott, S., T. Tesfamariam, A. Kania, B. Eman, N. Aslan, V. Römheld, y G. Neuman. 2011. Phytotoxicity of glyphosate soil residues re-mobilised by phosphate fertilisation. *Plant soil* 342:249-263.
- Bracamonte, A. 2015. Estudio ecológico de *Mammillaria grahamii* en una población del matorral xerófilo del estado de sonora. Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México.
- Bravo-Peña, L. C., O. S. Doode, A. E. Castellanos y I. Espejel. 2010. Políticas rurales y pérdida de cobertura vegetal: Elementos para reformular instrumentos de fomento agropecuario relacionados con la apertura de praderas ganaderas en el noroeste de México. *Región y sociedad* 22(48):3-35.

- Brenner, J. C. 2010. Pastures conversión, private ranchers, and the invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) in Mexico's Sonoran Desert. *Annals of the Association of American Geographers* 101(1):84-106.
- Brenner, J. C. y L. L. Kanda. 2013. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) Invades Lands Surrounding Cultivated Pastures in Sonora, Mexico. *Invasive Plant Science and Management* 6(1):187-195.
- Búrquez, A., y J. A. Aparicio. 1993. Propuesta al ejecutivo del Estado para decretar zona sujeta a conservación ecológica, Centro Ecológico de Sonora-Agualurca, Hermosillo, Sonora México. Gobierno del Estado de Sonora. Secretaria de Infraestructura Urbana y Ecológica. México.
- Búrquez-Montijo, A., M. E. Miller y A. Martínez-Yrizar. 2002. Mexican grasslands, thornscrub, and the transformation of the Sonoran Desert by invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). 126- 146. en: Tellman, B. (ed.), *Invasive Exotic Species of the Sonoran Region*. The University of Arizona Press Arizona Desert Museum Tucson, AZ.
- Castellanos-Villegas, A. E., L. C. Bravo, G. W. Koch, J. Llano, D. López, R. Méndez, J. C. Rodríguez, R. Romo, T. D. Sisk y G. Yanes-Arwayo. 2010. Impactos ecológicos por el uso de terreno en el funcionamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos. 157-186. en: Molina, F. y Van Devender, T. (eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM-CONABIO. México.
- Clarke, P. J., P. K. Latz y D. E. Albrecht. 2005. Long-term changes in semi-arid vegetation: Invasion of an exotic perennial grass has larger effects than rainfall variability. *Journal of Vegetation Science* 16(2):237-248.
- Cox, J. R., M. H. Martin-R, F. A. Ibarra-F, J. H. Fourie, J. F. G. Rethman y D. G. Wilcox. 1988. The Influence of Climate and Soils on the Distribution of Four African Grasses. *Journal of Range Management* 41(2):127-139.
- Cubiña, A. y T. M. Aide. 2001. The Effect of Distance from Forest Edge on Seed Rain and Soil Seed Bank in a Tropical Pasture. *Biotropica* 33(2):260-267.

- D'Antonio, C. M. y P. M. Vitousek. 1992. Biological Invasions by Exotic Grasses, the Grass/Fire Cycle, and Global Change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23:63-87.
- Daehler, C. C. y E. M. Goergen. 2005. Experimental Restoration of an Indigenous Hawaiian Grassland after Invasion by Buffel Grass (*Cenchrus ciliaris*). *Restoration Ecology* 13(2):380-389.
- De la Barrera, E. y A. E. Castellanos. 2007. High temperature effects on gas exchange for the invasive buffel grass (*Pennisetum ciliare* [L.] Link). *Weed Biology and Management* 7(2):128-131.
- De la Barrera, E. 2008. Recent invasion of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) of a natural protected area from the southern Sonoran Desert. *Revista Mexicana De Biodiversidad* 79:385-392.
- Dixon, I. R., K. W. Dixon y M. Barrett. 2002. Eradication of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) on Airlie Island, Pilbara Coast, Western Australia, 92-101 p. En: Veitch, C. R. y M. N. Clout (eds.), *Turning the tide: eradication of invasive species*. International Union for the Conservation of Nature Invasive Species Specialist Group IUCN SSC, Gland, Switzerland y Cambridge, Reino Unido.
- Egley, G. H., R. D. Williams. 1978. Glyphosate and paraquat effects on weed seed germination and seedling emergence. *Weed Science* 26(3): 249-251.
- Eilts, J. A. y T. E. Huxman. 2013. Invasion by an exotic, perennial grass alters responses of native woody species in an arid system. *Journal of Arid Environments* 88: 206-212.
- Fairfax, R. J. y R. J. Fensham. 2000. The effect of exotic pasture development on floristic diversity in central Queensland, Australia. *Biological Conservation* 94(1):11-21.
- Felger, R. S., M. B. Johnson y M. F. Wilson. 2001. *The trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press. Estados Unidos de América.

- Flanders, A. A., W. P. Kuvlesky, D. C. Ruthven, R. E. Zaiglin, R. L. Bingham, T. E. Fulbright, F. Hernández, L. A. Brennan y J. H. Vega. 2006. Effects of invasive exotic grasses on south Texas rangeland breeding birds. *The Auk* 123(1):171-182.
- Franklin, K. y F. Molina-Freaner. 2010. Consequences of buffelgrass pasture development for primary productivity, perennial plant richness, and vegetation Structure in the drylands of Sonora, Mexico. *Conservation Biology* 24(6):1664-1673.
- Franklin, K. A., K. Lyons, P. L. Nagler, D. Lampkin, E. P. Glenn, F. Molina-Freaner, T. Markow y A. R. Huete. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) land conversion and productivity in the plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation* 127:62-71.
- Gaertner, M., P. M. Holmes y D. M. Richardson. 2012. Biological invasions, resilience and restoration. 265-280. En: van Andel, J. y J. Aronson (eds.), *Restoration Ecology: The New Frontier*, 2da ed. John Wiley & Sons Ltd. Reino Unido.
- Gann, G.D., y D. Lamb (eds.). 2006. *La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida (versión 1.1)*. Society for Ecological Restoration (SER) International, Tucson, Arizona, EE.UU. y IUCN, Gland, Suiza.
- García E. 1973. *Apuntes de Climatología*. 5a. ed. México, D.F.
- Gutiérrez-Ozuna, R., L. E. Eguiarte y F. Molina-Freaner. 2009. Genotypic diversity among pasture and roadside populations of the invasive buffelgrass (*Pennisetum ciliare* L. Link) in the north-western Mexico. *Journal of Arid Environments* 73: 26-32.
- Hall, L. M., M. R. George, D. D. McCreary y T. E. Adams. 1992. Effects of cattle grazing on blue oak seedling damage and survival. *Journal of Range Management* 45(5):4.
- Halvorson, W. 2003. Factsheet for: *Pennisetum ciliare* (L.) Link. En: U.S. Geological Survey, S.B.S.C. (Eds.), *USGS Weeds in the West Project: Status of Introduced Plants in Southern Arizona Parks*. U.S. Geological Survey, National Parks Service, Tucson, Arizona, USA.
- Hierro, J. L. y R. Callaway. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and soil* 256:29-39.

- Holl, K. D. 1999. Factors Limiting Tropical Rain Forest Regeneration in Abandoned Pasture: Seed Rain, Seed Germination, Microclimate, and Soil. *Biotropica* 31(2):229-242.
- Hussain, F., I. Ilahi, S. A. Malik, A. A. Dasti y B. Ahmad. 2011. Allelopathic effects of rain leachates and root exudates of *Cenchrus ciliaris* L. and *Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus. *Journal Science and Technology* 33(1):47-55.
- Li, Z., Q. Wang, X. Ruan, C. Pan y D. Jiang. 2010. Phenolics and Plant Allelopathy. *Molecules* 15: 8933-8952.
- Ibarra, F. A., J. R. Cox, M. H. Martin, T. A. Crowl y C. A. Call. 1995. Predicting buffelgrass survival across a geographical and environmental gradient. *Journal of Range Management* 48(1):53-59.
- Issoufou, M., M. Z. Allah, A. Ferchichi y E. Ferjani. 2008. Clipping effects on the growth variation, water use efficiency and photosynthetic activity in buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) Poaceae. *Asian Journal of Plant Sciences* 7(1): 95-99.
- Marshall, V. M., M. M. Lewis y B. Ostendorf. 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *Journal of Arid Environments* 78:1-12.
- Marushia, R. G., M. W. Cadotte y J. S. Holt. 2010. Phenology as a basis for management of exotic annual plants in desert invasions. *Journal of Applied Ecology* 47: 1290-1299.
- Mazzolari, A. C., V. M. Comparatore y F. Bedmar. 2011. Control of elmleaf blackberry invasion inn a natural reserve in Argentina. *Journal for Nature Conservation* 19:185-191.
- McDonald, C. J. y G. R. McPherson. 2011. Fire behavior characteristics of buffelgrass-fueled fires and native plant community composition in invaded patches. *Journal of Arid Environments* 75:1147-1154.
- Medeiros, A. C., E. I. von Allmen y C. G. Chimera. 2014. Dry forest restoration and unassisted native tree seedling recruitment at Auwahi, Maui. *Pacific Science* 68(1):33-45.

- Miller, G., M. Friedel, P. Adam y V. Chewings. 2010. Ecological impacts of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) invasion in central Australia - does field evidence support a fire-invasion feedback? *Rangeland Journal* 32(4):353-365.
- Molina-Freaner, F. y C. Tinoco-Ojanguren. 1997. Vines of a Desert Plant Community in Central Sonora, México. *Biotropica* 29(1):46-56.
- Morales-Romero, D. y F. Molina-Freaner. 2008. Influence of buffelgrass pasture conversion on the regeneration and reproduction of the columnar cactus, *Pachycereus pecten-aboriginum*, in northwestern Mexico. *Journal of Arid Environments* 72:228-237.
- Morales-Romero, D., H. Godinez-Alvarez, J. Campo-Alves y F. Molina-Freaner. 2012. Effects of land conversion on the regeneration of *Pachycereus pecten-aboriginum* and its consequences on the population dynamics in northwestern Mexico. *Journal of Arid Environments* 77:123-129.
- Nurdin, y T. E. Fulbright. 1990. Germination of 2 legumes in leachate from introduced grasses. *Journal of Range Management* 43(5): 466-467.
- PATROCIPES. 1995. Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. [www.patrocipes.org.mx](http://www.patrocipes.org.mx). Reporte actualizado en Julio de 1995. (<http://www.patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/P95009.php>).
- Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). 2010. Datos de la estación 26139. [peac-bc.cicese.mx](http://peacbc.cicese.mx). (<http://peacbc.cicese.mx/datosclim/graficabc.php?seccion=nacional&idestacion=26139&tablaestado=SON>).
- SAS, Institute, 1997. JMP statistical software package, version 3.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Sands, J. P., L. A. Brennan, F. Hernández, W. P- Kuvlesky Jr., J. F. Gallager, D. C. Ruthven III y J. E. Pittman III. 2009. Impacts of buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) on a forb community in South Texas. *Invasive Plant Science and Management* 2(2): 130-140.

- Schiermeier, Q. 2005. Pall hangs over desert's future as alien weeds fuel wildfires. *Nature* 435:724-724.
- Shreve, F. 1917. The establishment of desert perennials. *Journal of Ecology* 5(3):210-216.
- Shreve F. y Wiggins L.I. 1964. *Vegetation of the Sonoran Desert Vol. I, II*. Stanford University Press. Stanford, California.
- Silva, A. 2013. Efecto alelopático de *Pennisetum ciliare* (L.) Link en la germinación y desarrollo inicial de plantas del desierto sonorense. Licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México.
- Stevens, J. y D. A. Falk. 2009. Can Buffelgrass Invasions Be Controlled in the American Southwest? Using Invasion Ecology Theory to Understand Buffelgrass Success and Develop Comprehensive Restoration and Management. *Ecological Restoration* 27(4):417-427.
- Sprankle. P. W. F. Meggitt y D. Penner. 1975. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Science* 23(3): 224-228.
- Suzán, H., G. P. Nabahn y D. T. Patten. 1996. The importance of *Olneya tesota* as a nurse plant in the Sonoran Desert. *Journal of Vegetation Science* 7:635-644.
- Tinoco-Ojanguren, C., A. Diaz, J. Martinez y F. Molina-Freaner. 2013. Species diversity and regeneration of native species in *Pennisetum ciliare* (buffelgrass) pastures from the thornscrub of Sonora, Mexico. *Journal of Arid Environments* 97:26-37.
- Tinoco-Ojanguren, C., I. Reyes-Ortega, M. E. Sánchez-Coronado, F. Molina-Freaner y A. Orozco. (En prensa). Germination of an invasive *Cenchrus ciliaris* L., (Buffel grass) species of the Sonoran Desert under various environmental conditions. *South African Journal of Botany*.
- Turner, R. M., J. E. Bowers y T. L. Burgess. 1995. *Sonoran desert plants: an ecological atlas*. The University of Arizona Press. Estados Unidos de América.

- Tix, D. 2000. *Cenchrus ciliaris* invasion and control in southwestern US grasslands and shrublands. Restoration and Reclamation Review 6. (University of Minnesota, Department of Horticultural Science, Student On-Line Journal).
- Tjelmeland, A. D., T. E. Fulbright y J. Lloyd-Reilley. 2008. Evaluation of herbicides for restoring native grasses in buffelgrass-dominated grasslands. Restoration Ecology 16(2):263-269.
- Ward, J. P., S. E. Smith y M. P. McClaran. 2006. Water requirements for emergence of buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). Weed Science 54(4):720-725.
- Williams, D. y Z. Baruch. 2000. African Grass Invasion in the Americas: Ecosystem Consequences and the Role of Ecophysiology. Biological Invasions 2:123-140.
- Woods, S. R., J. S. Fehmi y D. M. Backer. 2012. An assessment of revegetation treatments following removal of invasive *Pennisetum ciliare* (buffelgrass). Journal of Arid Environments 87:168-175.
- Zimmerman, J. K., J. B. Pascarella y T. M. Aide. 2000. Barriers to Forest Regeneration in an Abandoned Pasture in Puerto Rico. Restoration Ecology 8(4):350-360.

## XII. APÉNDICE

### XII. 1. Registro de la germinación en el experimento de eliminación de zacate buffel

La germinación se presentó primeramente en el tratamiento H, cuatro días después de la siembra, mientras que en los demás tratamientos la germinación fue nula (Tabla II). A los 8 días la germinación se presentó en los demás tratamientos, aunque el porcentaje de germinación de H fue mayor. La germinación de los tratamientos SB y SA fue similar, pero menor que en H. A los 15 días la mayor parte de las semillas de los tratamientos había germinado.

A los 4 días después de la siembra, las especies que presentaron más germinación fue en *A. willardiana*, y en menor porcentaje *P. microphylla* y *P. florida*; la germinación de *O. tesota* fue nula. A los ocho días después de la siembra las semillas de todas las especies tuvieron germinación similar, excepto por *A. willardiana* que aumento poco su porcentaje de germinación.

TABLA II. Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la germinación entre los tratamientos y entre las especies en los primeros cuatro censos después de la siembra. Se muestran resultados por tratamientos y por especies.

Fecha	Por tratamiento		Por especie	
	$\chi^2$	Significancia	$\chi^2$	Significancia
19-Ago-2013	28.5464	<0.0001	9.2498	0.0261
23-Ago-2013	25.0451	<0.0001	13.2161	0.0042
30-Ago-2013	21.8597	<0.0001	17.7188	0.0005
06-Sep-2013	23.5002	<0.0002	17.8634	0.0005

La germinación por especies entre tratamientos se censó a los cuatro días después de la siembra, dando como resultado una mayor germinación en el tratamiento H. En este tratamiento la germinación de *A. willardiana* fue mayor, seguido de *P. microphylla* y *P. florida*, la germinación de *O. tesota* fue muy poca. En los tratamientos SB, SA y B, no hubo germinación de *O. tesota* y *P. florida*, y la germinación de *A. willardiana* y *P. microphylla* fue mayor en B. Después de quince días de la siembra se dio una mayor germinación en todos los demás tratamientos. En el tratamiento H la germinación de *A. willardiana*, *O. tesota* y *P. florida* fue mayor, pero en esta última especie los valores son similares en el tratamiento SA. En el tratamiento SB se dio la menor germinación en todas las especies.

TABLA III. Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la germinación entre tratamientos para cada especie, en cada uno de los primeros cuatro censos después de la siembra.

Fecha	Especie	$\chi^2$	Significancia
19-Ago-2013	<i>A. willardiana</i>	12.6472	0.0055
	<i>P. microphylla</i>	8.5451	0.0360
	<i>O. tesota</i>	3.0000	0.3916
	<i>P. florida</i>	9.9805	0.0187
23-Ago-2013	<i>A. willardiana</i>	13.7317	0.0033
	<i>P. microphylla</i>	5.7648	0.1236
	<i>O. tesota</i>	11.8801	0.0078
	<i>P. florida</i>	4.4731	0.2147
30-Ago-2013	<i>A. willardiana</i>	12.9056	0.0048
	<i>P. microphylla</i>	5.0434	0.1686
	<i>O. tesota</i>	13.3288	0.0040
	<i>P. florida</i>	4.6412	0.2000
06-Sep-2013	<i>A. willardiana</i>	14.3074	0.0025
	<i>P. microphylla</i>	3.0301	0.3870
	<i>O. tesota</i>	11.5252	0.0092
	<i>P. florida</i>	10.3734	0.0156

## XII.2. Registro de la sobrevivencia

De la base de datos obtenida, se determinaron 4 periodos de tiempo para establecer si existían diferencias en la sobrevivencia de las plántulas entre los tratamientos. Los tiempos seleccionados fueron: a los 50 ( $T_1$ ) y 120 ( $T_2$ ), 165 ( $T_3$ ) y 236 ( $T_4$ ) días, después de la siembra.

Las pruebas estadísticas en la sobrevivencia por indican que hay diferencias significativas en la sobrevivencia de plántulas entre los tratamientos, al igual se observaron diferencias significativas entre especies (Tabla IV). En todas las fechas el tratamiento H posee la mayor sobrevivencia.

TABLA IV. Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la sobrevivencia entre los tratamientos y entre las especies en los primeros cuatro censos después de la siembra. Se muestran resultados por tratamientos y por especies.

Fecha	Por tratamiento		Por especie	
	$\chi^2$	Significancia	$\chi^2$	Significancia
$T_1$	14.7485	0.0020	13.8896	0.0031
$T_2$	14.1992	0.0026	15.0222	0.0018
$T_3$	17.9924	0.0004	12.0879	0.0071
$T_4$	25.7412	<0.0001	8.1211	0.0436

La sobrevivencia de plántulas por especie entre tratamientos (tabla V) fue distinta en ciertos casos. En el caso de la sobrevivencia de plántulas al  $T_1$ , *A. willardiana* y *O. tesota* presentaron diferencias significativas. En  $T_2$  *A. willardiana* y *P. florida* solo presento diferencias significativas. En  $T_3$  solo *A. willardiana* se encontró que hubo diferencias significativas y en  $T_4$  en *A. willardiana* y *P. microphylla*.

TABLA V. Resultados estadísticos de la prueba Wilcoxon. Se comparó la sobrevivencia entre tratamientos para cada especie, en cada uno de los primeros cuatro censos después de la siembra.

Fecha	Especie	$\chi^2$	Significancia
T1	<i>A. willardiana</i>	11.8929	0.0078
	<i>P. microphylla</i>	6.6028	0.0857
	<i>O. tesota</i>	7.8910	0.0483
	<i>P. florida</i>	2.1330	0.5453
T2	<i>A. willardiana</i>	15.8471	0.0012
	<i>P. microphylla</i>	2.2421	0.5237
	<i>O. tesota</i>	3.6235	0.3051
	<i>P. florida</i>	7.8667	0.0488
T3	<i>A. willardiana</i>	15.8471	0.0012
	<i>P. microphylla</i>	2.4061	0.4925
	<i>O. tesota</i>	4.5406	0.2087
	<i>P. florida</i>	7.0810	0.0694
T4	<i>A. willardiana</i>	16.6114	0.0008
	<i>P. microphylla</i>	3.1677	0.3665
	<i>O. tesota</i>	4.4823	0.2139
	<i>P. florida</i>	10.7005	0.0135

La dinámica de sobrevivencia se representa en la figura 27, se muestran los promedios de sobrevivencia para cada fecha en la que se realizaron los censos.

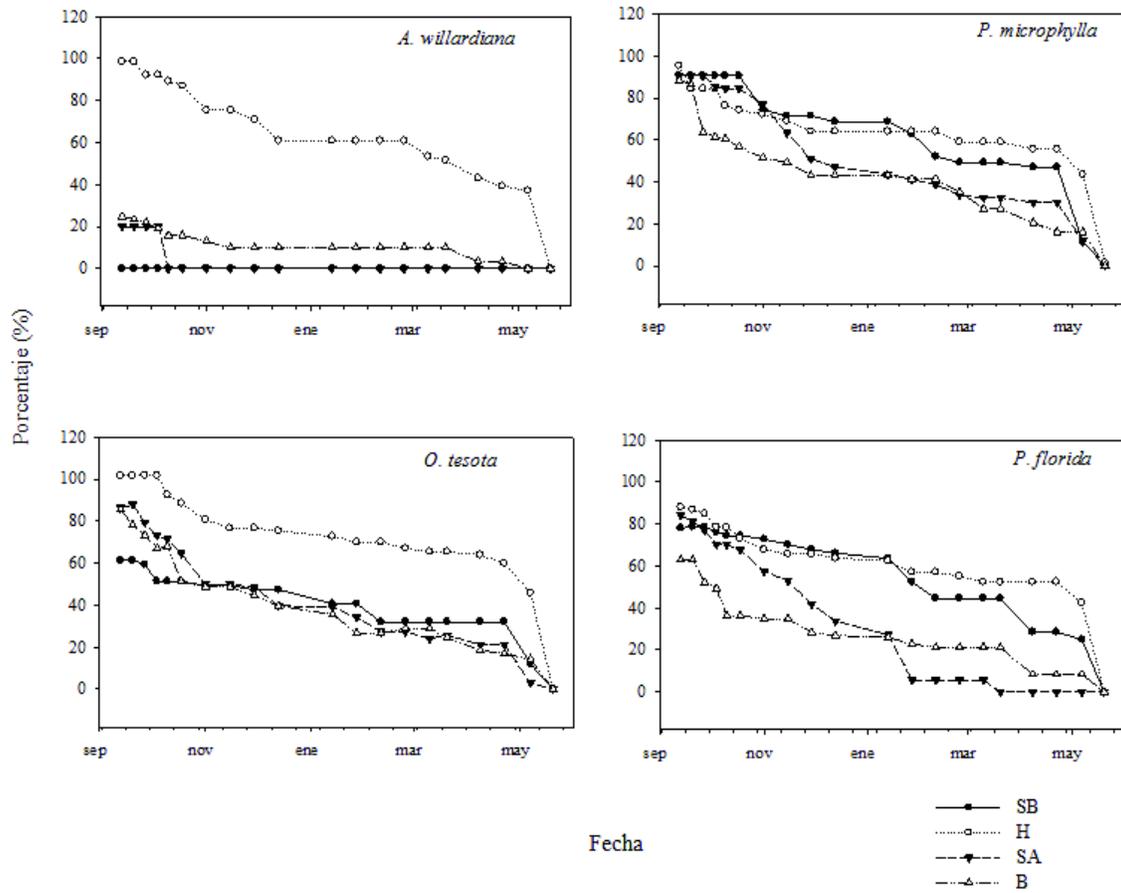


Figura 27. Dinámica del porcentaje de sobrevivencia de plántulas en los diferentes tratamientos para cada especie.