

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

ESTUDIO ECOLÓGICO DE *Mammillaria grahamii* EN UNA POBLACIÓN DEL  
MATORRAL XERÓFILO DEL ESTADO DE SONORA



TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CON OPCIÓN EN: RECURSOS NATURALES TERRESTRES

PRESENTA:

JESÚS ARTURO BRACAMONTE TERÁN

Hermosillo, Sonora

Febrero de 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 Jesús Arturo Bracamonte Terán 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 Tinoco Ojanguren  
Director de Tesis

---

Dr. Francisco E. Molina Freaner  
Sinodal Secretario

---

Dra. Maria Cistina Peñalba Garmendia  
Sinodal

---

M.C. Gilberto Solís Garza  
Suplente

## DEDICATORIA

Con mucho amor para mis padres:

Por darme todo el cariño humanamente posible, por aceptar y apoyar cada una de las decisiones que he tomado, aunque no siempre fueran las mejores. Por darme las herramientas necesarias en la vida, pues sin sus regaños, ni sus correcciones, sin su amor y sin su disciplina no habría podido ser la persona de provecho que soy ahora. Gracias a su ejemplo y sus enseñanzas soy capaz de enfrentar cualquier adversidad.

A Angelita:

Gracias, por todo el amor que me has dado, pues desde que apareciste en mi vida la has llenado de momentos inolvidables que de alguna u otra forma la han enriquecido. Gracias también por tu paciencia mientras me perdía en el inmenso mundo de la biología, mientras me ausentaba días y noches estudiando o viajando. Por tu amor y tu sinceridad, por escuchar y entender mi frustración, te agradezco todos los sacrificios que has hecho por mí y por hacer desaparecer mi cansancio y desesperación con tan solo tu sonrisa.

“La paciencia es una planta de raíces muy amargas, pero de frutos muy dulces”.

## AGRADECIMIENTOS

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

Agradezco al CEES por permitirme realizar este trabajo dentro de sus instalaciones y área de reserva.

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.

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, así como una beca tesis.

A mi directora de tesis, la **Dr. Clara Tinoco Ojanguren** por confiar en mí desde un principio inclusive mucho antes de que esto fuera una tesis. Por alentarme a cada paso y ayudarme cada día a ser un mejor estudiante y profesionista. Por todo su apoyo, su tiempo y su paciencia muchas gracias.

A mi comité de tesis: la **Dra. María Cristina Peñalba Garmendia** por brindarme su tiempo, sus valiosos consejos y observaciones cada vez que lo necesité. Al **Dr. Francisco Molina** y al **M.C Gilberto Solís** por sus enseñanzas a lo largo de mis estudios, por sus ánimos y buenos consejos durante la realización de este trabajo.

A la **Dra. María Esther Sánchez Coronado** por brindarme su apoyo para la realización de uno de los ensayos de germinación.

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

A **Anabel Margarita 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.

Al **M.C Aldo Hiram Gutiérrez Saldaña** del CIAD por sus enseñanzas y por haber sido parte de una de las etapas más bonitas de mis estudios.

Al **Dr. Carlos Lizárraga Celaya** del Departamento de Física de la UNISON por depositar su confianza en mí y por alentarme a salir de mi zona de “comfort” y hacer cosas nuevas.

A la **Biol. Ma. Cristina Meléndez Torres** del CEDES Dirección General de Conservación, Vida Silvestre y CDC por apoyarme en la realización de mis Prácticas Profesionales y por encaminarme a una de las etapas más bonitas como profesionista.

A la **Ing. Rosa Lina León Borbón** del CEDES Dirección General de Conservación, Vida Silvestre y CDC por ayudarme en la elaboración de algunos de los mapas que aparecen en este trabajo.

A la **M.I.E. Claudia Berenice Ramírez Yáñez** del Departamento de Letras y Lingüística por su gran disposición para ayudarme a culminar mis estudios.

A **Alina Santos, Andrea López, Adán Silva, Emiliano Mora y Sergio Terán** por su gran amistad, sus valiosos consejos y asesorías. Siempre han sido un ejemplo para mí.

A la **Dr. Clara Tinoco Ojanguren, José Fulgencio Martínez Rodríguez, Anabel Margarita Díaz Martínez, Dulce Olivia Espinoza y Sergio Terán** por estar conmigo a cada paso durante los muestreos de campo, por reírnos y cansarnos juntos.

A mi mamá por su cariño y sus palabras de aliento, por enseñarme a esforzarme y dar el doble para alcanzar mis metas. A mi papá por ser siempre un ejemplo para mí de disciplina y puntualidad. Gracias a los dos por ser los mejores maestros que he tenido en mi vida.

A **Angelita** por estar a mi lado a cada momento, por enseñarme a integrar y derivar, por aguantar mis ratos de mal humor y por esperarme siempre con una sonrisa durante los “eternos” viajes de campo.

A los alumnos de estancias, que de alguna u otra forma me han ayudado. Gracias por cuidar y adoptar a mis “hijitas”.

A mis amigos de Biología por hacer más amenas esas largas horas de escuela.

## CONTENIDO

FORMATO DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. ANTECEDENTES	5
III.1. Las zonas áridas	5
III.2. El Desierto de Sonora	5
III.4. Las Cactáceas de Sonora	6
III.5. Densidad y Estructura de poblaciones de cactáceas	7
III.5.1. Densidad y Estructura de poblaciones de Cactáceas	8
III.6. Asociación Nodriza	9
III.7. Amenazas a las poblaciones	10
III.8. El género <i>Mammillaria</i>	11
III.8.1. Requerimientos para la germinación	13
IV. JUSTIFICACIÓN	16
V. HIPOTESIS	17
VI. OBJETIVOS	18
VI.1. Objetivo General	18
VI.2. Objetivos Específicos	18
VII. METODOLOGÍA	19
VII.1. Sitio de Muestreo	19
VII.2. Especie en Estudio	20
VII.3. Abundancia y Densidad	22
VII.4. Estructura de Tamaños	22
VII.5. Patrón de Distribución Espacial	22
VII.6. Cobertura vegetal	23

VII.7. Patrón de asociación	23
VII.8. Análisis de regresión lineal	24
VII.9. Determinación de los requerimientos abióticos de germinación	24
VII.9.1. Requerimiento Luz	25
VII.9.2. Requerimiento Agua	25
VII.9.3. Requerimiento Temperatura	25
VIII. RESULTADOS	27
VIII.1. Abundancia y Densidad	27
VIII.2. Estructura de Tamaños	28
VIII.3. Patrón de Distribución Espacial	29
VIII.4. Cobertura vegetal	29
VIII.5. Patrón de asociación	31
VIII.6. Análisis de regresión lineal	33
VIII.7. Requerimientos abióticos de germinación	34
VIII.7.1. Requerimiento de Luz	34
VIII.7.2. Requerimiento de Agua	36
VIII.7.3. Requerimiento de Temperatura	39
IX. DISCUSIÓN	42
IX.1. Abundancia y Densidad	42
IX.2. Estructura de Tamaños	43
IX.3. Patrón de Distribución Espacial y Patrón de Asociación	44
IX.4. Requerimientos abióticos de germinación	47
IX.4.1. Requerimiento de Luz	47
IX.4.2. Requerimiento de Agua	48
IX.4.3. Requerimiento de Temperatura	49
X. CONCLUSIONES	50
XI. LITERATURA CITADA	51
ANEXO 1 Área del Centro Ecológico del Estado de Sonora quemada y <i>Mammillaria grahamii</i> quemada.	59
ANEXO 2 Estudios ecológicos de especies pertenecientes al género <i>Mammillaria</i> .	60



ANEXO 3 (Continuación) Estudios ecológicos de especies pertenecientes al género <i>Mammillaria</i> .	61
ANEXO 4 Estudios de germinación de especies pertenecientes al género <i>Mammillaria</i> .	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Número de individuos de <i>Mammillaria grahamii</i> creciendo bajo la copa de algún árbol o arbusto o en suelo desnudo en cada cuadro de muestreo. Se muestra también el total de individuos por cuadro y la densidad.	27
Tabla II	Análisis de varianza (ANOVA)	33
Tabla III	Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación de los tratamientos de luz en semillas con y sin escarificar. DIG son los días para el inicio de la germinación.	34
Tabla IV	Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación en respuesta a los tratamientos de potencial osmótico. DIG son los días para el inicio de la germinación.	37
Tabla V	Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación en respuesta a los tratamientos de temperatura. DIG son los días para el inicio de la germinación.	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del Centro Ecológico Del Estado De Sonora, en Hermosillo, Sonora.	20
Figura 2	De izquierda a derecha, <i>Mammillaria grahamii</i> creciendo agrupada y solitaria	21
Figura 3	Espinas de <i>Mammillaria grahamii</i>	22
Figura 4	Frutos de <i>Mammillaria grahamii</i> (A) y semillas (B)	22
Figura 5	Número de individuos de <i>Mammillaria grahamii</i> encontrados debajo de algún árbol o arbusto o en suelo desnudo en las diferentes categorías de tamaño: 1 a 2 tallos hasta más de diez tallos. Se presentan los datos del total del área muestreada en el sitio sin perturbación.	30
Figura 6	Porcentaje (%) de suelo desnudo y de cobertura total en el área no perturbada del muestreo. Se muestra también el porcentaje de cobertura correspondiente a cada especie en el área muestreada (500 m <sup>2</sup> ).	32
Figura 7	Porcentaje (%) de suelo desnudo y de cobertura total en el área invadida del muestreo. Se muestra también el porcentaje de cobertura correspondiente a cada especie en el área muestreada (500 m <sup>2</sup> ).	33
Figura 8	Se muestran de izquierda a derecha los individuos de <i>Mammillaria grahamii</i> observados y esperados creciendo bajo la copa de algún árbol o arbusto y los individuos observados y esperados creciendo en suelo desnudo.	33

Figura 9	Individuos de <i>Mammillaria grahamii</i> observados en campo creciendo bajo la copa de las especies nodrizas y los individuos que se esperaba que estuvieran creciendo debajo de la copa de las especies nodrizas si la distribución fuera al azar.	35
Figura 10	Análisis de regresión entre el número de individuos de <i>Mammillaria grahamii</i> y el porcentaje de cobertura de las especies nodrizas.	35
Figura 11	Efecto de la luz y la escarificación con ácido clorhídrico (HCl) en el porcentaje de germinación final. Las barras representan la media $\pm$ D.E. N = 5.	36
Figura 12	Efecto de la luz y la escarificación en el tiempo (días) para el inicio de germinación. Las barras representan la media $\pm$ D.E. N = 5	37
Figura 13	Efecto de la luz y la escarificación en la tasa de germinación. Las barras representan la media $\pm$ D.E. N = 5.	38
Figura 14	Efecto de los diferentes potenciales osmóticos sobre el porcentaje de germinación final de las semillas de <i>M. grahamii</i> . Cada columna representa la $X \pm$ D.E. N = 5.	38
Figura 15	Efecto del potencial osmótico sobre el inicio de la germinación en las semillas de <i>M. grahamii</i> . Cada columna representa la $X \pm$ D.E. N = 5.	39
Figura 16	Efecto del potencial osmótico sobre la tasa de germinación en las semillas de <i>M. grahamii</i> . Cada columna representa la $X \pm$ D.E. N = 5.	40
Figura 17	Efecto de temperatura sobre el porcentaje de germinación final de <i>Mammillaria grahamii</i> . Cada barra representa la media $\pm$ D. E. N = 5.	41

- Figura 18 Efecto de temperatura sobre el inicio de la germinación de *Mammillaria grahamii*. Cada barra representa la media  $\pm$  D. E. N = 5. 41
- Figura 19 Efecto de temperatura sobre la tasa de germinación de *Mammillaria grahamii*. Cada barra representa la media  $\pm$  D.E. N = 5. 43

## I. RESUMEN

Se presenta un estudio sobre la ecología y los requerimientos de germinación de una población de *Mammillaria grahamii* en el Matorral Xerófilo del Centro Ecológico de Hermosillo, Sonora. Los objetivos fueron: caracterizar la población en términos de abundancia, densidad, estructura de tamaños y distribución espacial, en áreas invadidas y no invadidas por buffel. Determinar los requerimientos abióticos para su germinación. Determinar si naturalmente existe una asociación de *M. grahamii* con especies nodrizas, y si existe alguna preferencia en esta relación, y determinar el grado de intensidad de esta asociación. Metodología: El número de individuos y su tamaño, así como su distribución espacial se determinó en 5 parcelas (réplicas) de matorral xerófilo natural de 2 x 10 m (total del área muestreada 500 m<sup>2</sup>), y 5 parcelas del mismo tamaño, adyacentes, pero en una área invadida por zacate buffel. Para los ensayos de germinación, las semillas se sembraron en cajas de petri con agar al 1%, se sembraron 5 cajas (repeticiones) con 20 semillas por caja para cada tratamiento. Todos los tratamientos se colocaron en cámaras de germinación a 25°C, y la germinación se registró todos los días. Los resultados mostraron que la población de *Mammillaria grahamii* en el CEES, está conformada por individuos pequeños que se distribuyen de forma agregada en el espacio y su densidad se ve considerablemente disminuida en los sitios con presencia de zacate buffel. Las semillas son fotoblásticas positivas, su potencial osmótico óptimo para la germinación está entre -0.3 a -0.9 MPa y las temperaturas óptimas para la germinación están entre 20°C y 35°C. Se encontró una relación lineal positiva y estadísticamente significativa entre el número de individuos de *M. grahamii* con respecto al porcentaje de cobertura. Sin embargo se observan individuos creciendo fuera de las copas de los árboles, aunque en menor número.

## II. INTRODUCCIÓN

Una población se define como los individuos de una especie que cohabitan en una área determinada, que interaccionan entre sí y con otras especies, se reproducen y renuevan; estos últimos procesos mantienen las poblaciones en el tiempo (Sarmiento, 2001; Silvertown y Charlesworth, 2001). La ecología de poblaciones tiene como principal objetivo explicar y predecir las variaciones espacio-temporales en el número de individuos que conforman una población (Sarmiento, 2001; Silvertown y Charlesworth, 2001), mediante el uso de parámetros como la densidad y la estructura poblacional, los cuales nos ayudan comprender cómo están conformadas y el estado biológico actual en el que se encuentran.

La variación que presenta una población se expresa a través de cambios en la densidad, la distribución, el crecimiento, la reproducción y sobrevivencia; estos cambios son producto de las modificaciones que ocurren en el medio ambiente, y en la disponibilidad de los recursos. No todas las modificaciones actúan de manera negativa sobre las poblaciones, sin embargo, un factor que contribuye de manera importante al deterioro de las poblaciones es la perturbación de los hábitats (Godínez-Álvarez et al., 2003).

La perturbación o deterioro del hábitat se define como todos aquellos procesos que afectan de manera negativa el funcionamiento de la población, provocando la eliminación de especies y por tanto reducen la diversidad biológica. La pérdida de diversidad biológica es en gran parte el resultado de la fragmentación de los hábitats, pues aísla a las poblaciones reduciendo su tamaño poblacional, y poniendo en riesgo la viabilidad de las especies; la contaminación ambiental afecta la fisiología y la reproducción de las especies y la extracción y comercio ilegal de las especies ejerce una presión sobre la regeneración de las poblaciones (Sánchez et al., 2007; Aguilar, 2010; Plascencia et al., 2011.)

Las poblaciones de plantas en general son las que se ven más afectadas, principalmente aquellas que presentan un lento crecimiento, requerimiento de condiciones ecológicas o ambientales muy particulares o que son poco resilientes. Aquellas especies con distribución amplia son menos vulnerables a la extinción que aquellas con distribución restringida, o que se distribuyen en pequeños parches (Rabinowitz, 1981). Actualmente en Sonora el incremento en actividades antropogénicas como el cambio de uso de suelo para la agricultura y/o ganadería, así como la introducción de especies exóticas han contribuido significativamente a la perturbación de las poblaciones, incluyendo las de cactáceas (Van Devender, 2010).

En México, la familia cactaceae es particularmente importante, pues es exclusiva del continente americano, y cerca del 37% de las especies están solo en México. Además, muchas especies han sido utilizadas en prácticas religiosas, medicinales, alimenticias y de ornamentación (Bravo Hollis, 1991; Arias 1997). El género de cactáceas con más especies en peligro de extinción es el de *Mammillaria* (Bravo Hollis, 1991), el cual no ha sido muy estudiado, pero cuenta con especies importantes ecológica y comercialmente. Este género se compone de aproximadamente 306 especies y presenta un alto grado de endemismo en México (Hernández y Godínez, 1994; Villaseñor, 2004); también es uno de los más llamativos por la forma de sus tallos y sus flores conspicuas. Las especies de este género se distribuyen sobre la mayor parte del territorio mexicano, principalmente al sur y centro de la república y en la zona noroeste (Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2010).

Para Sonora se estima un aproximado de 21 especies de *Mammillaria* de las cuales 12 se encuentran enlistadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-2010) (Paredes Aguilar et al., 2000; Molina-Freaner y Van Devender, 2010; Diario Oficial de la Federación, 2010). Sin embargo el estado actual de sus poblaciones en Sonora no está bien documentado, ya que no hay estudios sobre la biología de las especies, ni de la ecología y genética de sus poblaciones, ni de los efectos de las presiones antropogénicas en sus hábitats y poblaciones (Groom et al., 2006). El desarrollo de estos estudios es de suma importancia pues a partir de ellos se pueden entender los factores que afectan negativamente estas poblaciones además de contribuir al conocimiento sobre el estatus de las especies, y de esta manera poder lograr una conservación efectiva.



Es importante estudiar no solo las especies que están en peligro, pues en Sonora existen más especies de las que no se sabe mucho sobre los aspectos ecológicos de sus poblaciones, sin embargo, su estudio permite obtener información útil para su manejo y la conservación de aquellas especies que se encuentran amenazadas. Es por eso que el presente estudio está enfocado al análisis de las poblaciones de *Mammillaria grahamii* bajo condiciones naturales con y sin invasión de zacate buffel, incluyendo las interacciones que pueda tener con otras especies vegetales (tanto nodrizas como exóticas). Se estudio también la germinación, con la finalidad de conocer sus requerimientos para germinar y establecerse, con miras a su restablecimiento en áreas perturbadas.

### **III. ANTECEDENTES**

#### **III.1. Las Zonas Áridas**

Las zonas áridas pueden definirse como aquellas regiones en donde la evapotranspiración potencial es muy superior a la precipitación y donde, además, esta última es extremadamente irregular (González-Medrano, 2012). No todas las zonas áridas son iguales, por lo que se utilizan estimadores para poder determinar qué tan árida es una región. Comúnmente se utiliza el índice de aridez, que consiste en la relación de la precipitación media anual (P) entre la evapotranspiración potencial media anual (PET) de un determinado lugar. Dependiendo de este valor (P/PET), las regiones pueden clasificarse en semiáridas (0.20-0.50), áridas (0.05-0.20) e hiperáridas (menor 0.05). (UNEP 1997; FAO 2004).

Los lugares con valores menores a 0.5 se les denominan desiertos y se ubican en los trópicos de cáncer y capricornio (Ezcurra et al., 2006). Se distribuyen de esa manera debido al patrón de circulación de los vientos tropicales (Células de Hadley), estos movimientos son de ascenso cerca del ecuador y de descenso en latitudes medias, lo cual provoca que en esas regiones la temperatura sea elevada (González-Medrano, 2012). Los desiertos en el mundo se encuentran localizados en África, Australia, Norte América, Sudamérica y Asia Central. En Norte América se encuentran el desierto de la Gran Cuenca, el desierto de Mohave, el desierto de Sonora, y el desierto de Chihuahua (Cutler et al., 2008).

#### **III.2. El Desierto Sonorense**

El Desierto de Sonora es el segundo desierto más grande de Norte América, con una extensión 260 000 km<sup>2</sup> cubre más de la mitad del estado. Se extiende en dos tercios de la Península de Baja California así como en todas las islas del Mar de Cortés y abarca hasta los estados de Arizona y California en Estados Unidos (Martínez-Yrizar et al., 2010). Es considerado la zona más árida de México, pues las temperaturas más altas que se registran en los meses de junio y julio son de 50°C en la sombra y más de 70°C en la superficie del suelo. Sin embargo, la lluvia anual en el desierto de Sonora es 75 a 400 mm aproximadamente, convirtiéndolo en el desierto

más húmedo de Norte América (Phillips & Wentworth, 2000). Aproximadamente un 80% de la precipitación cae durante los meses de julio, agosto y septiembre y se caracteriza por ser de alta intensidad (lluvias torrenciales), mientras que el 20 % ocurre durante los meses de diciembre y febrero siendo una lluvia de larga duración y poca intensidad (Brito-Castillo et al., 2010). Esta última es particularmente importante para la vegetación, ya que al ser menos intensa puede llegar a infiltrarse a mayor profundidad en el suelo, lo que la hace disponible durante los periodos de sequía hasta las próximas lluvias (Phillips y Wentworth, 2000).

Debido a la baja disponibilidad de agua y a las condiciones extremas de temperatura, la vegetación va a estar conformada por plantas resistentes y/o tolerantes a estas condiciones adversas. Por esta razón las plantas han desarrollado características morfológicas, fisiológicas y de ciclo de vida que les permite sobrevivir a condiciones ambientales extremas, como los largos periodos de sequía y la alta salinidad del suelo. Las plantas xerófilas son tolerantes a la escasez del agua, las freatofitas por el contrario, no soportan la falta de agua por lo que poseen raíces profundas las cuales les permiten absorber humedad de los mantos freáticos, las halofitas soportan los altos niveles de salinidad. Algunas plantas llamadas suculentas han desarrollado estrategias para el almacenamiento de agua que se ve a simple vista, como en el caso de cactáceas; otras plantas disminuyen la pérdida de agua reduciendo la superficie transpiratoria, ya sea que posean hojas muy pequeñas (micrófilas) o tiren las hojas como respuesta a la falta de agua (caducifolias) (González-Medrano, 2012).

### **III.3. Las Cactáceas de Sonora**

Las cactáceas son las plantas más representativas de los ecosistemas desérticos pues presentan características conspicuas que les permiten sobrevivir en estos ambientes (González-Medrano, 2012). Una de las estructuras fácilmente identificables en los cactus son sus tallos los cuales son suculentos y poseen costillas que les permiten expandirse para almacenar agua; además cumplen con las funciones de fotosíntesis y soporte (Márquez et al., 2013).

Las características morfológicas de los tallos sirven de base para la identificación de las especies, pues su forma se puede relacionar directamente con un género o la especie. Podemos encontrar tallos cilíndricos, circulares, largos, con ramificaciones o sin ramificaciones (*Ferocactus cylindraceus*); tallos globosos o esféricos con ramificaciones simples o densamente ramificados (cespitosos), que se pueden relacionar con géneros como el de *Mammillaria* y *Coryphantha*, también podemos encontrar tallos aplanados lateralmente o cladodios (*Opuntia*, *Epyphyllum*) (Márquez et al., 2013).

Sonora cuenta con aproximadamente 107 especies de cactus y la mayoría son nativas de la región. Los géneros que podemos encontrar son *Carnegiea*, *Coryphantha*, *Cylindropuntia*, *Echinocactus*, *Ferocactus*, *Grusonia*, *Lophocereus*, *Mammillaria*, *Opuntia*, *Pachycereus*, *Peniocereus*, *Pereskiaopsis*, *Selenicereus*, *Stenocereus*. (Paredes Aguilar et al., 2000; Molina-Freaner y Van Devender, 2010).

#### **III.4. Densidad y Estructura de Poblaciones**

Una población se define como los individuos de una especie que cohabitan en un área determinada, que interactúan entre sí y con otras especies, se reproducen y renuevan; estos últimos procesos mantienen las poblaciones en el tiempo (Sarmiento, 2001; Silvertown y Charlesworth, 2001). Los parámetros que nos permiten describir una población y evaluar las condiciones en que se encuentra son: abundancia, densidad, estructura poblacional (como patrones de distribución de edades o tamaños), y distribución espacial; además de parámetros demográficos (Barbour et al., 1987)

La abundancia se define como el número de individuos de la misma especie en un sitio particular. La densidad es el número de individuos por unidad de área. Esta información por sí misma es estática y no nos permite conocer la dinámica y el estado de las poblaciones, para lo que se necesita además datos sobre la estructura poblacional (Odum, 1972).

La estructura poblacional es una representación de la frecuencia de edades o tamaños que permite estimar el estado biológico actual de una especie, reflejando indirectamente las oportunidades de reclutamiento y los riesgos de mortalidad a los cuales los individuos han sido expuestos, lo cual permite hacer inferencias sobre la dinámica poblacional de dicha especie

(Hutchings 1986; Barbour et al., 1987). Así, por ejemplo, diferentes poblaciones de una misma especie pueden presentar densidades poblacionales similares, pero estar conformadas por proporciones distintas de categorías de tamaño. Poblaciones con una distribución de edades (o tamaños que reflejen edades) con una frecuencia alta de individuos adultos (grandes) y sin jóvenes (pequeños), indica que no se están regenerando. En comparación, poblaciones que incluyen todas las categorías de edades, incluyendo individuos reproductivos y juveniles, nos indicarían que estas poblaciones no tienen problemas para regenerarse (Arvizu-Valenzuela, 2014).

La distribución espacial hace referencia al lugar que ocupan las especies en el espacio y la forma en que lo hacen, junto con mediciones de densidad, nos informa sobre la preferencia de hábitat, dinámica de competencia y distribución en microhábitats específicos. De acuerdo con Barbour (1987), existen tres tipos de distribución espacial: la aleatoria, la uniforme y la agregada:

- La *distribución aleatoria* es aquella en la que los individuos de una población se localizan en el espacio independientemente de la distribución de los demás individuos. Este tipo de distribución indica que no hay interacciones de atracción o repulsión entre los individuos de la población, esto puede deberse a que los recursos son abundantes en el hábitat.
- La *distribución uniforme* establece que los organismos están ubicados en el espacio de forma regular unos con otros. Este tipo de distribución indica que existen interacciones negativas entre los individuos de las poblaciones que no les permiten estar cerca entre sí; estas interacciones se dan generalmente cuando los recursos en el hábitat escasean, provocando competencia entre los individuos de las poblaciones.
- La *distribución agregada* ocurre cuando los individuos de las poblaciones se juntan entre sí; este tipo de distribución indica que los recursos en el hábitat se encuentran concentrados en un lugar específico.

### **III.4.1. Densidad y Estructura de Poblaciones de Cactáceas**

Las cactáceas presentan ciclos de vida largos, lento crecimiento y un bajo reclutamiento de plántulas; al sumarse a estas características factores como la baja disponibilidad de agua y nutrientes en algunos ambientes, esto ocasiona tasas de crecimiento bajas (Godínez-Álvarez et al., 2004). Una tasa de crecimiento baja afecta directamente la reproducción, pues se sabe que la capacidad reproductiva aumenta en función del tamaño de los individuos (Godínez-Álvarez, 2003). Estas y otras características biológicas como requerimientos de condiciones ambientales específicas, como características del suelo, de luz, disponibilidad de agua y temperaturas para su germinación y establecimiento, provocan que sea una de las familias de plantas que se encuentra con mayor número de especies amenazadas y/o en peligro de extinción por perturbación de su hábitat (Hernández y Godínez, 1994).

### **III.5. Asociación Nodriza**

En las poblaciones de cactáceas la distribución de sus individuos en el espacio muchas veces tiende a ser agregada. Este tipo de distribución puede ser un indicador de las interacciones que presentan las cactáceas con las rocas y/o con árboles o arbustos, creciendo bajo sus copas (Valiente-Baunet et al., 1991; Cody, 1993; Turner et al., 1996; Drezner, 2006). Estas interacciones les permiten de alguna manera minimizar los efectos adversos del medio ambiente favoreciéndolas con un microclima o microhabitat en donde pueden desarrollarse de pequeñas sin tanto estrés. Este fenómeno se conoce como nodricismo (Méndez et al., 2006).

Las plantas nodrizas al igual que las rocas modifican el ambiente, pues bajo sus copas o en las grietas las condiciones de temperatura y humedad son mucho más favorables que las del resto del entorno. En el caso de las plantas nodriza el intercambio de energía se da en la copa, disminuyendo en gran parte la radiación solar directa, y por lo tanto la temperatura del suelo bajo la misma; así se reduce también la pérdida de agua por evaporación; también sirven de protección contra depredadores (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991; Nobel y Franco, 1988).

No todas las especies de cactus requieren de nodriza para su germinación y establecimiento (Rodríguez y Ezcurra, 2000), depende de la magnitud e intervalo de variación de factores ambientales como la temperatura, la disponibilidad del agua y la intensidad de luz solar. En gradientes de aridez en Sonora, se observa con más frecuencia el nodricismo en la zona de mayor aridez (Tewksbury et al., 2001).

### **III.6. Amenazas a las Poblaciones**

Debido a que no todas las especies de cactus requieren de las mismas condiciones ambientales y fisiológicas, las especies se distribuyen en hábitats específicos que les permitan sobrevivir. La especificidad del hábitat provoca que en la familia de las cactáceas se desarrollen altos niveles de endemismo, esto quiere decir que la distribución de una especie se limita a un ambiente geográfico reducido o restringido y no se encuentra en forma natural en otra parte. En México la familia de las cactáceas cuenta con 946 especies nativas y presenta un 82.6% de especies endémicas (Llorente y Ocegueda, 2008; Durand y Neyra, 2010).

Particularmente las zonas áridas son las regiones donde se tiene mayor número de especies endémicas, específicamente el Valle de Cuicatlán-Tehuacán (50%), el desierto Chihuahuense (28%) y la península de Baja California (23%) (Santos-González, 2010). Los altos niveles de endemismo, al sumarse con la destrucción de sus hábitats, provocan que sus poblaciones se reduzcan drásticamente y eventualmente desaparezcan (Hernández-Oria et al., 2006). Sonora cuenta con más de 100 especies de plantas endémicas de las cuales el 33.3% son herbáceas, el 34.6% son plantas leñosas y el 30.8% son suculentas (cactus y magueyes) (Van Devender et al., 2010).

Las características biológicas de las cactáceas y sus altos niveles de endemismo ocasionan que las poblaciones de cactáceas sean mucho más vulnerables a la perturbación de sus hábitats (Frankham, 1998; Morgan, 1999; Keith, 2000). Actualmente la familia de las cactáceas es una de las familias con mayor número de especies amenazadas debido a la destrucción de las áreas naturales y las colectas clandestinas (Jiménez-Sierra, 2011).

La destrucción de las áreas naturales en Sonora se debe principalmente al cambio de uso de suelo, el aumento de la población humana y la urbanización (Van Devender et al., 2010). El cambio de uso de suelo ya sea para la agricultura y/o ganadería, además de los incendios forestales, son uno de las principales amenazas para las poblaciones de cactáceas pues se pierde parcial o totalmente su ecosistema, por la reducción de la cubierta vegetal y por la afectación del suelo (salinidad, reducción de infiltración, etc.) (Lambin et al., 1999). La introducción de especies exóticas como el zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) para establecer praderas y su reciente invasión a ecosistemas naturales, afectan la supervivencia, la germinación y el establecimiento de las plantas nativas. Estudios del cactus columnar *Pachycereus pecten-aboriginum* en Sonora, revelan que las plántulas fueron incapaces de establecerse en las praderas debido a los altos niveles de mortalidad. Las principales causas de mortalidad fueron alta irradiación, que conlleva a la disminución en la disponibilidad de agua y el pisoteo del ganado (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008). El desmonte del matorral xerófilo para la construcción de granjas camaroneras, así como el desarrollo turístico en las playas de San Carlos y Bahía de Kino, ocasionan una profunda pérdida en los hábitats de las cactáceas en Sonora (Van Devender et al., 2010). Además, la explotación comercial de las especies contribuye en menor escala a la destrucción o fragmentación de sus hábitats y disminución de sus poblaciones (Jiménez-Sierra, 2011).

El estado actual de las poblaciones de plantas en Sonora, principalmente de cactáceas, no está bien documentado, ya que no hay estudios ecológicos que permitan evaluarlo claramente. Según la NOM-059-2010, Sonora cuenta con 18 especies de la familia de las cactáceas que se encuentran en alguna categoría de riesgo: *Echinocereus bristolii*, *E. laui*, *E. leucanthus*, *E. stoloniferus*, *E. subinermis*, *Echinomastus erectocentrus* var. *acunensis*, *E. intertextus*, *Ferocactus cylindraceus*, *Glanculicactus uncinatus*, *Mammillaria boolii*, *M. johnstonii*, *M. hertrichiana*, *M. marksiana*, *M. miegiana*, *M. saboae*, *M. thornberi* var. *yaquensis*, *Peniocereus greggii* y *P. marianus*. El género con más número de especies amenazadas y/o en peligro de extinción es el de *Mammillaria* (Paredes-Aguilar et al, 2000; Van Devender et al., 2010; Diario Oficial de la Federación, 2010).



### III.9. El Género *Mammillaria*

*Mammillaria* es uno de los géneros de cactáceas más diversos y más llamativos por la forma de sus tallos y sus flores; sin embargo ha sido muy poco estudiado. Las especies de *Mammillaria* se distribuyen sobre la mayor parte del territorio mexicano. Sin embargo el mayor número de especies se registra al sur de la república, en los estados de Oaxaca (26), y Puebla (22), al centro en los estados de Hidalgo (20), Querétaro (28), Guanajuato (28), y San Luis Potosí (31) y al norte en los estados de Sonora (22), Chihuahua (14), Sinaloa (12), Tamaulipas (22) y Baja California sur (14) (Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2010).

A pesar de ser abundantes en ciertas regiones del país, el género presenta un alto grado de endemismo en México (Villaseñor, 2004). Los estados que presentan mayor grado de endemismo son Baja California sur (57%), Oaxaca (34%), Sonora (27%), Tamaulipas (27%) y Puebla (22%). Así mismo, es uno de los géneros que presenta mayor número de especies enlistadas en la NOM, los estados con más especies enlistadas bajo alguna categoría son Tamaulipas (50%), Oaxaca (46%), Puebla (45%), Baja California sur (42%) y Sonora (40%) (Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2010).

De los escasos estudios que se tienen acerca de las poblaciones de *Mammillaria*, pocos son tan completos como los de Navarro-Carvajal y Castillo-Campohermoso (2007), los cuales muestran valores muy bajos de establecimientos de plántulas así como de abundancia y densidad. Los valores bajos de establecimiento, abundancia y densidad de las poblaciones, se atribuyen a que muchas especies de *Mammillaria* muestran preferencia hacia un tipo de suelo, y requerimientos abióticos muy específicos para germinar y establecerse (Flores-Martínez et al., 2005). La preferencia hacia un tipo de sustrato y los requerimientos ambientales en rangos particulares provocan que los individuos de las poblaciones de *Mammillaria* se distribuyan espacialmente en patrones específicos. Por ejemplo *Mammillaria pectinifera* se encuentra en espacios abiertos y bajo nodrizas como resultado de una distribución al azar, mientras que *M. carnea* solo se encuentra bajo nodrizas presentando una distribución agregada (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2000).

Los patrones de distribución aleatoria y distribución agregada son muy comunes en las poblaciones de *Mammillaria*. Estos patrones de distribución son originados por las interacciones que presentan las especies de *Mammillaria* con otras especies de plantas y/o rocas. Para *Mammillaria fraileana*, una cactácea endémica de Baja California sur, estudios recientes de las poblaciones de esta especie revelan que crece únicamente en grietas o fisuras de las rocas y que la variación en su distribución y abundancia depende de la presencia y concentración de varios elementos en el sustrato tales como K, Si, Na, Nd, La, Ce, Zr, Nb, Y, y Rb (López et al., 2009). En cuanto a *Mammillaria heyderii* en estudios efectuados en poblaciones de Tamaulipas mostraron que solo es posible encontrar a esta especie de cactácea creciendo bajo la copa de algún arbusto o árbol y que presentó preferencia hacia el abrojo (*Opuntia tunicata*) y el mezquite (*Prosopis laevigata*), lo que significa que su abundancia y distribución se ven considerablemente afectadas con la disminución de alguna de estas plantas nodrizas (Muro Pérez et al., 2011).

Los estudios para Sonora, que muestren que las especies de *Mammillaria* presentan asociación con alguna planta o arbusto, son muy escasos, sin embargo existen observaciones como la de Paredes Aguilar et al. (2000) en donde describe a *Mammillaria multidigitata*, la cual es abundante en las laderas empinadas y rocosas del cerro San Pedro Nolasco, y crece asociada a *Agave chrysoglossa* y *Echinocereus websterianus*. Otra especie que describe es *Mammillaria thornberi* la cual considera vulnerable, se localiza al noroeste de Sonora en las planicies arenosas de Caborca y presenta asociación con *Ambrosia deltoidea* y *Atriplex polycarpa* (Paredes-Aguilar et al., 2000). Sin embargo se requieren estudios ecológicos de estas especies.

A pesar de las marcadas tendencias a tener distribución agregada y asociación positiva, existen registros de especies de *Mammillaria* que no presentan ninguna asociación ya sea con plantas o rocas, y que posiblemente, si se da esta asociación, no sea determinante para su establecimiento. Tal es el caso de *Mammillaria lasiacantha* (Rodríguez y Ezcurra, 2000). La asociación de algunas especies de *Mammillaria* a plantas nodrizas, depende de los requerimientos de temperatura, la disponibilidad del agua e intensidad de luz solar en los procesos de germinación y establecimiento (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991).

### **III.8.1. Requerimientos Para La Germinación**

Las fases más críticas del ciclo de vida de las cactáceas son la germinación y el establecimiento, ya que factores abióticos (como el exceso de luz, temperaturas extremas y falta de agua) y bióticos (como altas tasas de predación de frutos, semillas y plántulas) pueden limitar estas fases. La producción de una alta densidad de semillas, incrementa la probabilidad de que se establezcan al menos unos pocos individuos (Méndez et al., 2006). No todas las cactáceas necesitan de las mismas condiciones abióticas para germinar, pues los requerimientos para la germinación de las cactáceas en general reflejan mucho del ambiente en donde se encuentren; para estudiar estos requerimientos se caracteriza principalmente la respuesta de germinación a las variables de luz, temperatura y disponibilidad de agua (Flores y Jurado, 2009; Sánchez-Soto, 2010).

Debido a que las semillas requieren estar en contacto físico con el agua para iniciar el proceso de germinación, las semillas de las cactáceas aprovechan los periodos de mayor precipitación en los desiertos. Algunas especies poseen inhibidores químicos en la testa, que se van lavando con el agua de lluvia, lo que les proporciona una manera de detectar las condiciones hídricas del ambiente y así aseguran la germinación en época de crecimiento. Cuando estas condiciones no se dan, las semillas pueden entrar en un periodo de latencia, esperando las condiciones adecuadas para germinar (Rojas Aréchiga y Vásquez-Yanes, 2000; Carbajal et al., 2008).

Después del agua, la luz es uno de los factores ambientales más importantes para la germinación pues permite detectar los sitios adecuados para establecerse, de acuerdo a sus requerimientos de sol o sombra, permitiendo el buen desarrollo de la plántula. No todas las semillas requieren luz para poder germinar pues algunas son inhibidas por este factor (fotoblásticas negativas), otras no germinan sin luz (fotoblásticas positivas) y unas pocas no se ven afectadas por la ausencia o la presencia de este factor (Vázquez-Yáñez et al., 1990; Flores y Jurado, 2009; Rojas-Aréchiga, 2013).

La temperatura puede inhibir el proceso de germinación. En general las semillas de cactáceas presentan temperaturas óptimas para germinación entre 20-25°C, pero algunas especies pueden germinar a temperaturas relativamente bajas entre 10°C a 15°C, mientras que otras a temperaturas considerablemente altas entre 30°C a 35°C (Baskin y Baskin, 1998; Bradbeer, 1994, Rojas Aréchiga et al., 1997).

Los estudios sobre germinación y establecimiento de *Mammillaria* son escasos. Sin embargo se sabe que muchas de las especies son fotoblásticas positivas y en algunas especies la escarificación revierte los requerimientos de luz. Tal es el caso de *Mammillaria zephyranthoides* (Carbajal et al., 2008).

Por otra parte la disponibilidad de agua es muy importante, pues en estudios de *M. hamata* se observó que las semillas germinan sin necesidad de escarificación, pero que en general las plántulas mueren por deshidratación en zonas sin cubierta vegetal, mientras que en zonas con vegetación la germinación y establecimiento es mayor. Estos resultados sugieren un requerimiento de sombra que les permita crecer bajo condiciones de mayor disponibilidad de agua y temperaturas menos extremas (Castillo-Campohermoso et al., 2009).

#### IV. JUSTIFICACIÓN

*Mammillaria* es el género de cactáceas mexicanas con más especies en peligro de extinción. Este género ha sido poco estudiado, a pesar de incluir especies importantes ecológica y comercialmente. En Sonora, se tienen 21 especies, una de estas especies es *Mammillaria grahamii*, de la que tampoco se cuenta con estudios ecológicos ni de poblaciones que proporcionen datos acerca de su biología y de las interacciones con la comunidad vegetal. Es por eso que el presente estudio está enfocado al análisis de las poblaciones de *Mammillaria grahamii*, su germinación y las interacciones con otras especies vegetales, tanto nodrizas como invasoras (zacate buffel), lo que permite contribuir con el conocimiento de esta cactácea para futuros planes de manejo y conservación entre otros aspectos.

## V. HIPÓTESIS CIENTÍFICA

*Mammillaria grahamii* germina y se establece bajo la protección de copas de árboles y arbustos u otro elemento físico como las rocas, que le brindan protección de condiciones ambientales extremas; por lo que la pérdida de la cubierta vegetal disminuirá la densidad de su población. La respuesta de germinación a la luz, temperatura y potencial osmótico reflejará los requerimientos que le permiten germinar y establecerse en condiciones naturales.

## **VI. OBJETIVOS**

### **VI.1. Objetivo general**

Determinar algunas variables ecológicas y fisiológicas de una población de *Mammillaria grahamii* bajo condiciones naturales sin invasión y con invasión de zacate buffel en el matorral xerófilo del estado de Sonora.

### **VI.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la población de *M. grahamii* en términos de abundancia, densidad, estructura de tamaños y distribución espacial en una población del Centro Ecológico del Estado De Sonora, en áreas sin invasión por buffel y con invasión por buffel,
- Determinar la cobertura vegetal de las especies en los sitios de muestreo.
- Determinar si naturalmente existe una asociación de *M. grahamii* con especies nodrizas, y si existe alguna preferencia en esta relación, determinar el grado de intensidad de esta asociación.
- Determinar los requerimientos abióticos para la germinación de la especie (luz, temperatura y potencial hídrico).

## VI. METODOLOGÍA

### VI.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el Centro Ecológico del Estado de Sonora (CEES), el cual es un parque natural que tiene como objetivo difundir y promover la cultura y valores ecológicos a través de la exhibición de especies nativas de flora y fauna del Estado. Se encuentra ubicado al sur de la ciudad de Hermosillo a  $29^{\circ} 01' N$ ;  $110^{\circ} 57' W$ ; 245 m de altitud (Figura 1).

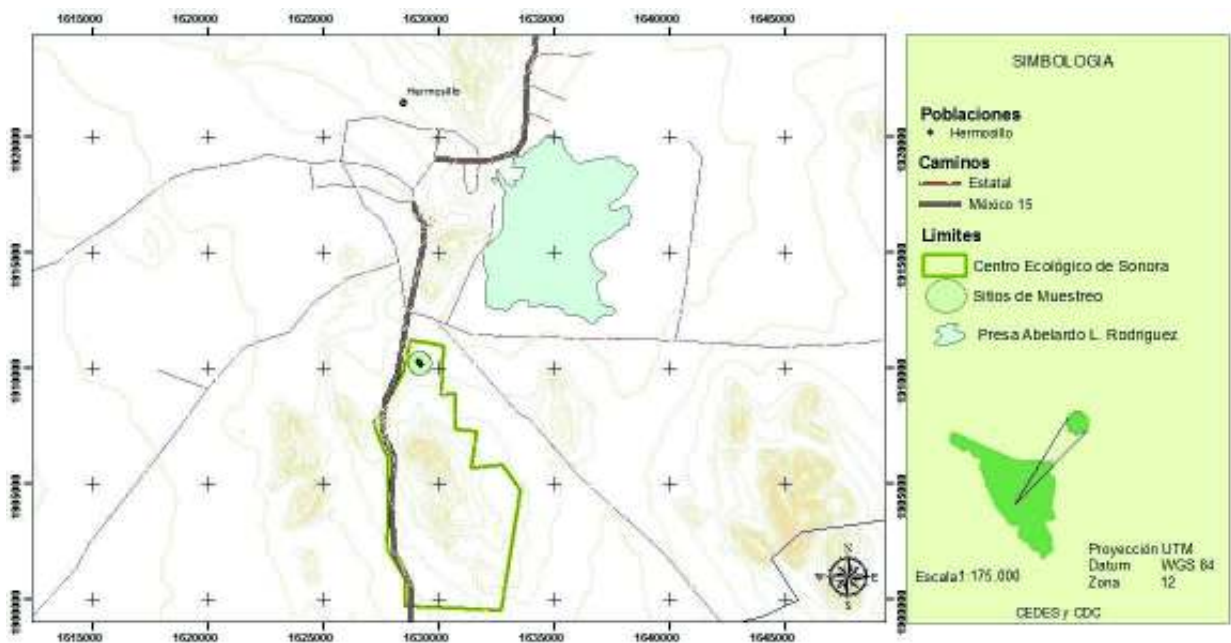


Figura 1. Ubicación del Centro Ecológico Del Estado De Sonora. Hermosillo, Sonora.

El CEES presenta un clima muy seco, donde los principales eventos de precipitación ocurren durante el verano. Las temperaturas medias anuales máximas y mínimas son de  $22^{\circ}C$  y  $18^{\circ}C$  respectivamente. El suelo está compuesto por granito (TeGr) del mesozoico, aluvi3n (Qhoal) del cuaternario y calizas (P Cz-Ar) del paleozoico; además presenta tres tipos de suelo: litosol, Yermosol y xerosol (Carta topográfica H12D41, Hermosillo, Sonora, 1975; Carta uso de suelo y vegetaci3n H12-8, 1981).



La vegetación del CEES es matorral xerófilo, con árboles de *Olneya tesota* y *Parkinsonia microphylla* como dominantes del estrato arbóreo incluye también especies arbóreas como *Acacia willardiana*, *Bursera fagaroides*, *B. laxiflora*, *Jatropha cordata*, *Lysiloma divaricatum*, *Mimosa laxiflora* y *Stenocereus thurberi*, entre otras; como dominante del estrato arbustivo se observa *Encelia farinosa* (Shreve, 1951; Turner y Brown 1982; Molina-Freaner y Tinoco-Ojanguren, 1997). Sin embargo la invasión del área por zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) en 1997, así como la disminución y perturbación del área debido al aumento de la población y urbanización a los alrededores del CEES, ha transformado significativamente la vegetación, principalmente de las planicies, la cual después de repetidos incendios producidos por el mismo zacate buffel se ha convertido en una comunidad dominada por *P. ciliare* (De la Barrera, 2008).

## VI.2. Especie estudiada

*Mammillaria grahamii* es un cactus globular pequeño, menor de 15 cm; los tallos pueden crecer solitarios o agrupados (Figura 2 y 3). Las espinas son delgadas y flexibles, con apariencia de cerdas o pelos, además su terminación es en forma de gancho (Figura 4). Las flores son de color rosa o rosa lavanda puede tener tonalidades purpuras o rojizas y a veces blanco. Los frutos son pequeños y tubulares, y su color típico es el rojo, crecen sobre la parte superior del cactus y son comestibles; poseen una alta densidad de semillas oscuras muy pequeñas (menos de un milímetro de diámetro) (Figura 5 y 6). Se distribuye ampliamente en Sonora, y parte de Arizona. Los Seris y los Pimas utilizan el tallo para curar dolor de oído y enfermedades respiratorias.



Figura 2. De izquierda a derecha, *Mammillaria grahamii* creciendo agrupada y solitaria.



Figura 3. Espinas de *Mammillaria grahamii*



A

B

Figura 4. Frutos de *Mammillaria grahamii* (A) y semillas (B)

*Caracterización de la población de M. grahamii en áreas adyacentes sin invasión y con invasión de zacate buffel.*- Para llevar a cabo este objetivo se determinó la abundancia, densidad, estructura de tamaños y distribución espacial de la población. El número de individuos y su tamaño se determinó en 5 parcelas (réplicas) de matorral xerófilo natural de 2 x 10 m (total del área muestreada 500 m<sup>2</sup>), y 5 parcelas del mismo tamaño, adyacentes, pero en una área invadida por zacate buffel.

**VII.3. Abundancia y Densidad.**- La abundancia se define como la cantidad de individuos que conforman una población. La densidad es el número de individuos que ocupa alguna unidad de espacio. Para cada cuadrante de los dos sitios de muestreo se determinó la abundancia y densidad de *M. grahamii*.

**VII.4. Estructura de Tamaños.**- Debido a que muchas especies que pertenecen al género *Mammillaria* presentan un crecimiento cespitoso (crecen en colonias o conglomerados que probablemente son producidos vegetativamente) y que el número de tallos por colonia que poseen los individuos es utilizado para determinar su tamaño, se establecieron categorías de número de tallos por colonia (de 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 9-10 y más de 10 tallos) para determinar la estructura de tamaños que presentaron los individuos de *M. grahamii* en el área de muestreo.

**VII.5. Patrón de Distribución Espacial.**- Para determinar el patrón de distribución espacial de *M. grahamii* en el área de estudio se utilizó el índice de Hopkins (Krebs, 1999). Este índice se calcula con base en la selección de 100 puntos al azar donde se mide la distancia de cada punto al individuo más cercano de la especie estudiada ( $X_i$ ), y la distancia del individuo de la especie estudiada a su vecino más próximo ( $r_i$ ). El resultado del índice determina si la distribución de la especie de estudio es al azar, agregada o uniforme. En caso de una distribución al azar la distancia entre el punto al azar y la planta más cercana es igual a la distancia entre vecinos. Por otra parte, si la distribución es uniforme la distancia entre el punto al azar y la planta más cercana es menor a la distancia entre vecinos, en caso contrario si la distribución es agregada la distancia del punto al azar y la planta más cercana es menor a la distancia entre vecinos.

El índice de Hopkins se calculó como:

$$h = \sum(X_i^2) / \sum(r_i^2)$$

Una vez calculado el valor de H es necesario llevar a cabo una prueba de F donde Ho (hipótesis nula) supone una distribución al azar y Ha (hipótesis alternativa) una distribución no al azar. Para aceptar Ho el valor obtenido del estadístico tendría que ser menor a los valores críticos en  $\alpha = 0.025$  y en  $\alpha = 0.75$  en una tabla de distribución F, de no presentar una distribución al azar los parámetros para determinar una distribución agregada y uniforme son los siguientes: si el índice es mayor en  $\alpha = 0.025$  es consistente con una distribución uniforme o si es mayor en  $\alpha = 0.75$  es consistente con una distribución agregada (Badii et al., 2012).

**VII.6. Cobertura vegetal.-** Se identificó cada especie de árbol o arbusto encontrados en los 5 cuadrantes sin invasión de buffel y los 5 cuadrantes con invasión de buffel. Se midieron los diámetros mayor y menor de la copa de cada individuo que había en cada cuadrante, y se determinó el área utilizando la fórmula del área del círculo. Esta área fue tomada como la cobertura que presentó cada individuo. Para determinar la cobertura de cada especie se sumó la cobertura de cada individuo de la misma especie. Posteriormente se sumaron las coberturas de los individuos por cuadrante para determinar el porcentaje de cobertura que se presentó en cada cuadrante. El promedio de los porcentajes de cada cuadrante determinó el porcentaje de cobertura y suelo desnudo para cada sitio de muestreo.

**VII.7. Patrón de asociación.-** Para determinar si los individuos *M. grahamii*, en el área de estudio, se distribuyen por igual bajo la copa de árboles y/o arbustos y en espacios abiertos se utilizó el estadístico Ji cuadrada ( $\chi^2$ ) (Krebs 1998). Este estadístico contrasta los datos observados y esperados de individuos creciendo bajo la copa de árboles y/o arbustos, con los individuos observados y esperados creciendo en suelo desnudo, si la distribución fuese por igual en estas dos categorías.

El estadístico ji cuadrada sigue una prueba de hipótesis en donde  $H_0$  supone una dispersión al azar y  $H_a$  una dispersión no al azar, por lo tanto para rechazar  $H_0$  el valor obtenido del estadístico tiene que ser mayor o igual que el valor crítico de ji cuadrada siguiendo  $n-1$  grados de libertad.

$$\chi^2* = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

En la fórmula  $O_i$  son los individuos observados,  $E_i$  los esperados creciendo bajo la copa de algún árbol o arbusto y en espacios abiertos. Para calcular los individuos esperados en las dos categorías, se establece la probabilidad de cuantos individuos se esperaría que estuvieran creciendo al azar bajo algún árbol o arbusto y en espacios abiertos tomando en cuenta el porcentaje de suelo desnudo y suelo con cobertura.

**VII.8. Análisis de regresión lineal:** Para probar que las variables X (% de cobertura de las especies) y Y (número de individuos de *M. grahamii*) tienen relación lineal se aplicó un análisis de regresión y posteriormente un análisis de varianza para comprobar si el modelo lineal proporciona un buen ajuste para los datos (Daniel, 1988). El análisis de varianza nos permite mediante una prueba de hipótesis determinar la significancia de la pendiente, donde  $H_0$ : 0 es constante y no depende de X y  $H_a$ : es diferente de cero (modelo lineal significativo).

**VII.9. Determinación de los requerimientos abióticos de germinación.-** Se colectaron frutos de más de 5 individuos en las parcelas de muestreo, se separaron las semillas, y se realizaron pruebas de germinación en condiciones controladas, incluyendo germinación en respuesta a la luz, temperatura y potencial osmótico. En general las semillas se sembraron en cajas de petri con agar al 1%, se sembraron 5 cajas (repeticiones) con 20 semillas por caja para cada tratamiento. Todos los tratamientos se colocaron en cámaras de germinación a 25°C, y la germinación se registró todos los días, considerando la protrusión de la raíz como parámetro indicativo de germinación.

### **VII.9.1. Requerimientos de luz:**

Tratamiento sin luz.- Se colocaron 20 semillas sin escarificar en cada una de 5 cajas de petri (réplicas) con una base de agar al 1% (como soporte y suministro de humedad) y se envolvieron en una doble capa de papel aluminio.

Tratamiento luz.- Se utilizaron 5 réplicas de 20 semillas pero no se obstruyó el paso de la luz con papel aluminio.

Debido a la existencia de aperturas en los frutos que se recolectaron y que estas aperturas aparentemente son producidas por algún animal, se exploró la posibilidad de escarificación química como un requerimiento para la germinación (Carbajal et al. 2008). Para escarificar las semillas se expusieron a HCL concentrado por un minuto y después se enjuagaron con agua destilada (Vázquez-Yáñez et al., 1990; Flores y Jurado, 2009; Rojas-Aréchiga, 2013). Para discernir entre los requerimientos de luz y escarificación se realizaron los siguientes ensayos: 10 réplicas de 20 semillas se escarificaron y se sembraron en cajas de Petri con agar, de estas 5 se envolvieron el papel aluminio, mientras que las otras 5 no se cubrieron. Los tratamientos con luz y sin luz, con y sin escarificación se colocaron en una cámara de germinación a 25°C.

### **VII.9.2. Requerimientos de agua:**

Para determinar los requerimientos de agua para la germinación de *M. grahamii*, se expusieron las semillas a soluciones de diferente potencial osmótico. Las soluciones se prepararon con polietilenglicol (PEG) disuelto en agua. Los potenciales osmóticos fueron: 0, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2 y -1.5 MPa. Para cada tratamiento se tuvieron 5 réplicas de 20 semillas en cajas de Petri con la solución de PEG correspondiente. Todos los tratamientos se colocaron en cámaras de germinación a 25°C. Se registró la germinación todos los días.

### **VII.9.3. Requerimientos de temperatura:**

Para determinar la temperatura óptima y mínima de germinación de *M. grahamii* se germinaron las semillas en un gradiente de temperatura de 5, 20, 25, 30 y 35°C constantes y un tratamiento de temperatura alternada de 25/35°C, para este último tratamiento se sembraron 3 cajas de petri con 30 semillas cada una (Baskin y Baskin, 1998; Bradbeer, 1994). Todos los tratamientos de germinación se llevaron a cabo en cámaras de crecimiento (Lab-line 455

Instrument, In Lab, Mel Rose Park, Illinois), con lámparas fluorescentes de luz fría de 20 W (Sylvania, USA) con fotoperiodo 12/12 h de luz.

Los resultados de los diferentes ensayos de germinación se analizaron en base a los siguientes parámetros: días para el inicio de germinación, porcentaje de germinación final y tasa de germinación. Este último parámetro se derivó del ajuste de la germinación acumulada a una curva sigmoide utilizando Table Curve 2D Versión 3 (AINS, Software, Chicago IL, USA). Debido a que los datos no presentan los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas a pesar de ser transformados, se optó por la prueba de Wilcoxon. Este estadístico mediante una prueba de ji cuadrada nos permite determinar si existen diferencias en los efectos que producen diferentes tratamientos.

## VIII. RESULTADOS

### VIII.1. Abundancia y densidad

Se registró un total de 128 individuos de *Mammillaria grahamii* distribuidos en los cinco cuadrantes del área de muestreo donde no había zacate buffel; de los 128 individuos encontrados 95 estaban creciendo bajo alguna planta perenne mientras que 33 se ubicaron creciendo fuera de las copas de árboles (Tabla I). Por otra parte, se encontró un total de 7 individuos de *M. grahamii* distribuidos en los cinco cuadrantes del sitio de muestreo con presencia de buffel, de los cuales los 7 se encontraban creciendo bajo alguna planta perenne. La densidad promedio para el sitio sin perturbación fue de  $25.6 \pm 10.1$  individuos/100 m<sup>2</sup>, con un rango de variación de 16-38 y una mediana de 20. Para el sitio con invasión de zacate buffel la densidad fue de  $1.4 \pm 3.1$  individuos/100 m<sup>2</sup>, con un rango de variación de 0-7 y una mediana de 0.

Tabla I. Número de individuos de *Mammillaria grahamii* creciendo bajo la copa de algún árbol o arbusto o en suelo desnudo en cada cuadro de muestreo. Se muestra también el total de individuos por cuadro y la densidad.

CUADROS	BAJO COPA DE ARBOLES	EN SUELO DESNUDO	TOTAL	DENSIDAD (IND*100m <sup>2</sup> )
<b>1</b>	17	2	19	19
<b>2</b>	32	6	38	38
<b>3</b>	12	8	20	20
<b>4</b>	23	12	35	35
<b>5</b>	11	5	16	16
<b>TOTALES</b>	95	33	128	25



## VIII.2. Estructura de tamaños

Los individuos de *M. grahamii* se encontraron aislados o en conglomerados, esto último debido a que tienen crecimiento cespitoso, es decir que producen vegetativamente tallos a partir de su base (Figura 5). Los conglomerados fueron considerados como un individuo y su tamaño fue determinado por el número de tallos por individuo que los constituían. Los individuos solitarios fueron considerados los más pequeños y probablemente más jóvenes, y debido a que no estaban cerca de los conglomerados probablemente sean resultado de reproducción por semillas, aunque no se descarta la posibilidad de que se dispersara el tallo. La estructura de tamaños partiendo del número de tallos que presento cada individuo de *M. grahamii* en el área de muestreo, mostró un mayor número de individuos en la categoría de 1 a 2 tallos por individuo que en las demás categorías de tamaño.

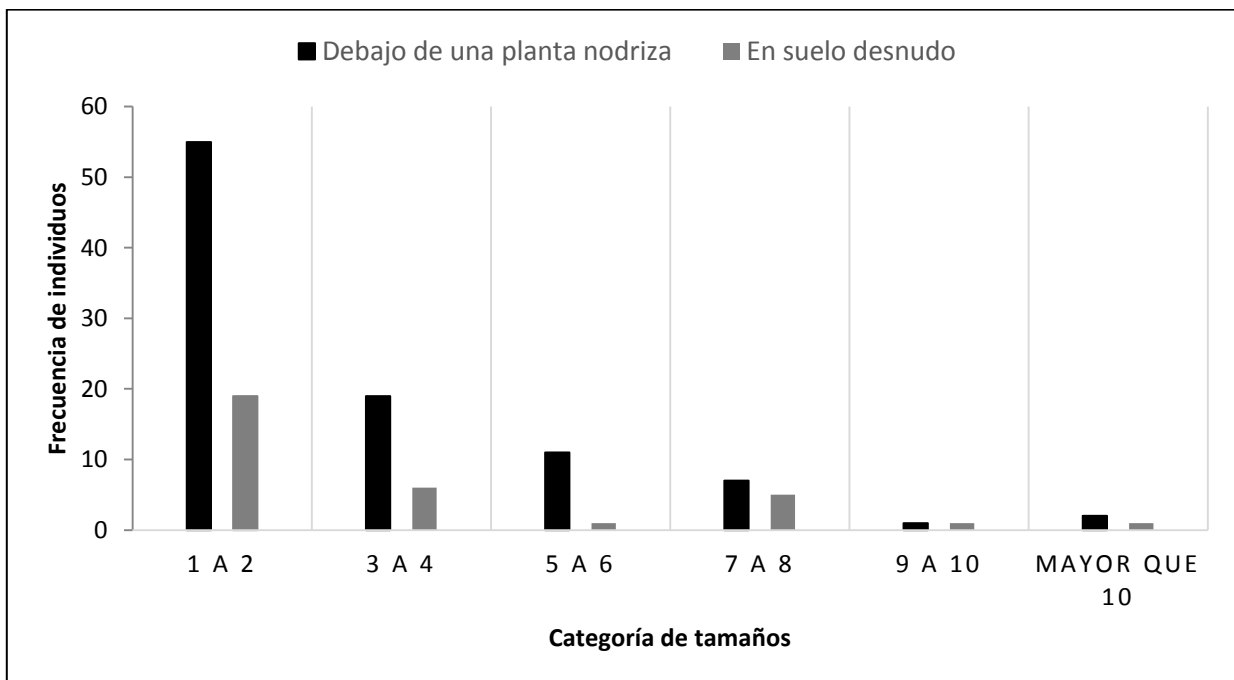


Figura 5. Número de individuos de *Mammillaria grahamii* encontrados debajo de algún árbol o arbusto o en suelo desnudo en las diferentes categorías de tamaño: 1 a 2 tallos hasta más de diez tallos. Se presentan los datos del total del área muestreada en el sitio sin perturbación.

### VIII.3. Patrón de distribución

Los resultados del índice Hopkins mostraron un patrón consistente con una distribución espacial agregada, pues la distancia entre el punto al azar y la planta más cercana es mayor a la distancia entre vecinos y por tanto el valor del índice de Hopkins fue mayor que 1 ( $h = 1.11$ ). Debido a que el índice de Hopkins sigue una prueba de hipótesis de dos colas y una distribución de F, donde  $H_0$  supone una distribución al azar y  $H_a$  una distribución no al azar. Para rechazar  $H_0$  el valor obtenido del estadístico con nuestros resultados tendría que ser mayor en  $\alpha = 0.025$  (caso de distribución uniforme) o mayor en  $\alpha = 0.75$  (caso de distribución agregado). Los valores críticos en  $F(0.025, 200) = 1.32$  y  $F(0.975, 200) = 0.75$ . Por lo tanto, dado que 1.11 no es mayor a 1.32 pero si es mayor a 0.75  $H_0$  se rechaza, como consecuencia, el patrón de distribución espacial de los individuos de *M. grahamii* es agregado.

### VIII.4. Cobertura vegetal

El área total de cobertura y de suelo desnudo de los sitios se representa en las primeras dos columnas en las Figuras 6 y 7. El porcentaje de suelo desnudo fue menor en el sitio invadido por buffel, ya que el buffel tiende a expandirse entre las plantas nativas y formar una capa continua; mientras que el de cobertura de plantas nativas fue menor en comparación con el sitio no invadido. Estas mismas figuras incluyen la cobertura de cada una de las especies en los dos sitios de muestreo. Las especies con mayor cobertura fueron *Mimosa laxiflora* (15.67%), *Parkinsonia microphylla* (13.50%) y *Acacia willardiana* (6.50%) para el sitio sin buffel. Para el sitio invadido por buffel las especies nativas con mayor cobertura fueron *M. laxiflora* (17.0%), *P. microphylla* (8.8%), pero buffel tuvo una cobertura mayor al 50%.

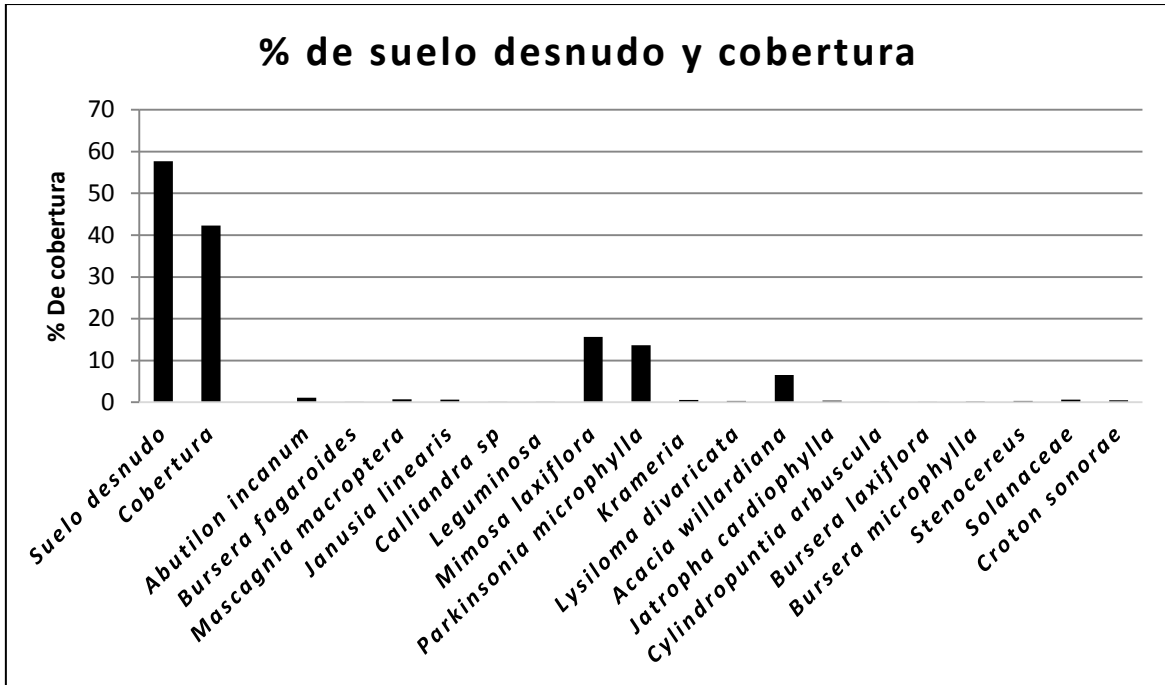


Figura 6. Porcentaje (%) de suelo desnudo y de cobertura total en el área no perturbada del muestreo. Se muestra también el porcentaje de cobertura correspondiente a cada especie en el área muestreada (500 m<sup>2</sup>).

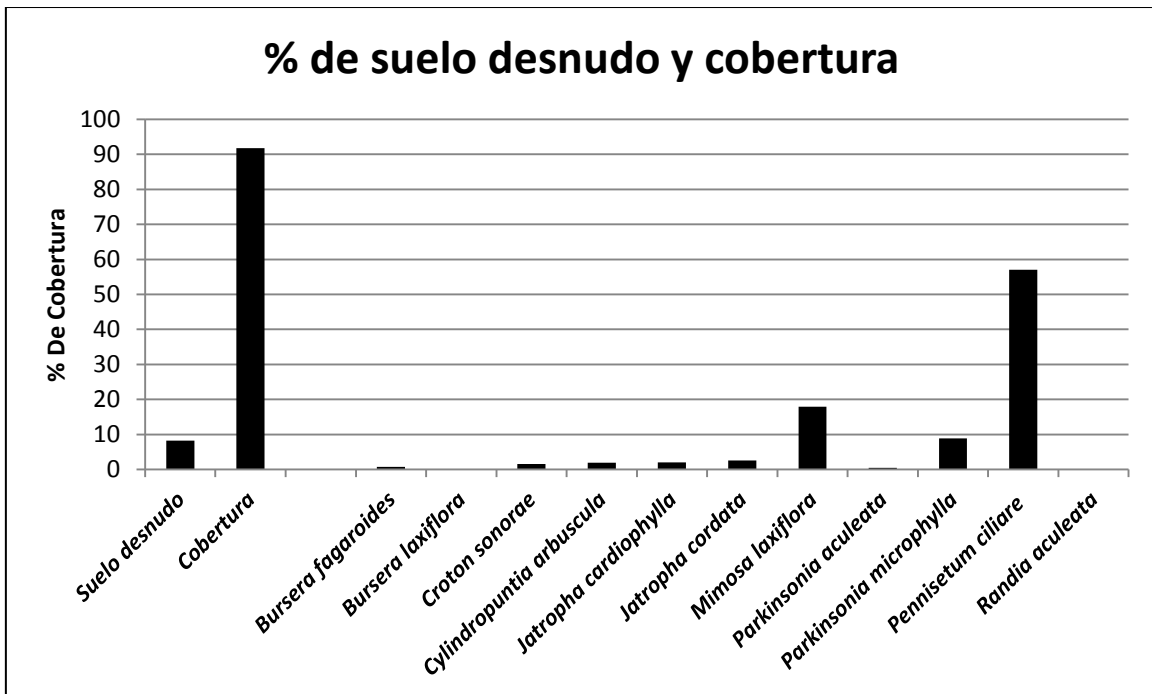


Figura 7. Porcentaje (%) de suelo desnudo y de cobertura total en el área invadida del muestreo. Se muestra también el porcentaje de cobertura correspondiente a cada especie en el área muestreada (500 m<sup>2</sup>).

### VIII.5. Patrón de asociación

Debido a que los datos que se obtuvieron en el sitio con buffel fueron insuficientes para hacer el análisis de asociación, se presentan únicamente los datos en el sitio sin buffel.

Los datos de cobertura mostraron que el 42.2 % del área muestreada está cubierta por árboles y arbustos y el 57.7% es suelo desnudo. Este dato fue utilizado para hacer el contraste entre los individuos observados creciendo bajo plantas nodrizas (95) y los individuos que se esperaría que hubiese si no hubiera asociación con plantas y la distribución fuese aleatoria (33 individuos bajo plantas y 45 en espacios abiertos) (Figura 8).

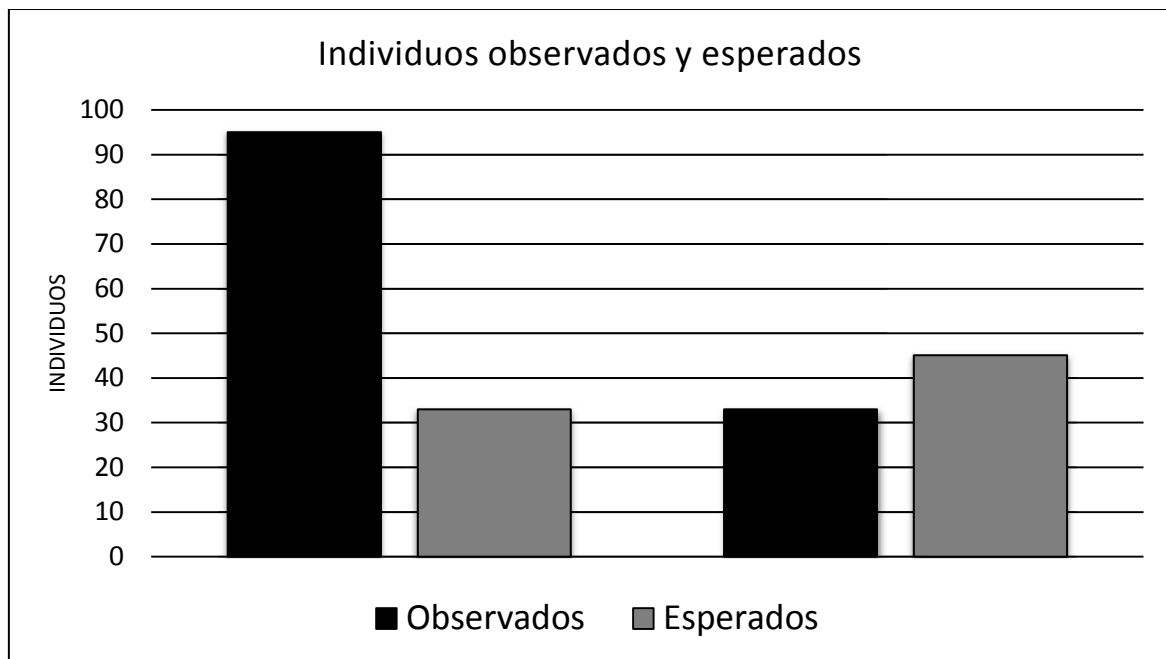


Figura 8. Se muestran de izquierda a derecha los individuos de *Mammillaria grahamii* observados y esperados creciendo bajo la copa de algún árbol o arbusto y los individuos observados y esperados creciendo en suelo desnudo.

El estadístico ji cuadrada contrasta una prueba de hipótesis donde  $H_0$  supone que la dispersión de los individuos de una población sigue una distribución normal; mientras que  $H_a$  supone que la dispersión de los organismos de una población no sigue una distribución normal. Para rechazar  $H_0$  el valor obtenido del estadístico tiene que ser mayor o igual que el valor crítico de

ji cuadrada. El resultado del estadístico fue  $\chi^2 = 31.98$ , g.l. = 1,  $p < 0.001$  lo cual indica que los individuos de *Mammillaria grahamii* no crecen por igual bajo plantas y en espacios abiertos, más bien crecen preferentemente asociados a algunas especies de la comunidad.

Cuando se comparan los datos del número observado de individuos de *Mammillaria grahamii* creciendo bajo cada una de las especies más importantes con los datos esperados si no hubiera asociación (Figura 9), se puede observar que al parecer *Mammillaria grahamii* muestra preferencia por *A. willardiana*, *M. laxiflora* y *P. microphylla*. El resultado del estadístico fue  $\chi^2 = 69.90$ , g.l. = 10,  $p < 0.001$  lo cual indica que existe una asociación significativa de *Mammillaria grahamii* con varias especies de plantas de la comunidad, donde *P. microphylla* destaca como una de las plantas más importantes en la asociación.

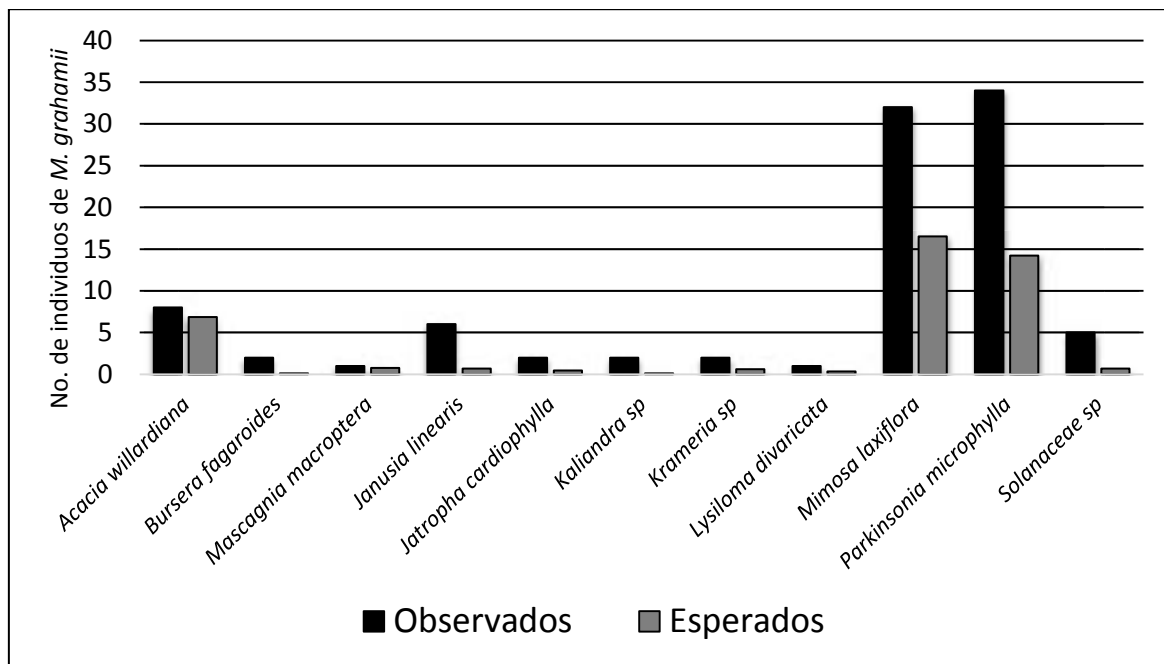


Figura 9. Individuos de *Mammillaria grahamii* observados en campo creciendo bajo la copa de las especies nodrizas y los individuos que se esperaba que estuvieran creciendo debajo de la copa de las especies nodrizas si la distribución fuera al azar.

### VIII.6. Análisis de regresión lineal

Cuando relacionamos los datos de las coberturas de las especies nodrizas y los datos de los individuos de *M. grahamii* que tiene cada una de ellas bajo sus copas, se observa que hay una relación lineal entre las dos variables (Figura 10). Mediante el estadístico R de Pearson, los resultados indicaron que sí hay asociación estadísticamente significativa entre las variables. Al incrementar la cobertura, incrementa el número de individuos de *M. grahamii*.

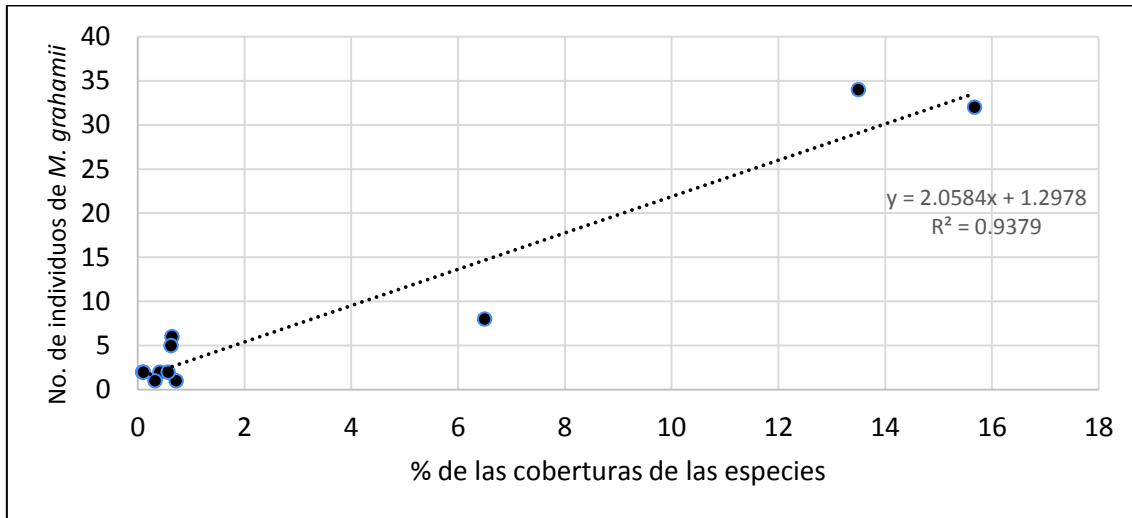


Figura 10. Análisis de regresión entre el número de individuos de *Mammillaria grahamii* y el porcentaje de cobertura de las especies nodrizas.

Tabla II. Análisis de varianza (ANOVA)

	DF	SC	CM	F	P
<i>Regresión</i>	1	1409.253	1409.253	135.951	<0.001
<i>Residual</i>	9	93.293	10.366		
<i>Total</i>	10	1502.545	150.255		

Aplicando un análisis de regresión lineal se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.938$  y un error típico de estimación = 3.220. Los resultados del análisis de varianza indican que el modelo lineal proporciona un buen ajuste para los datos ( $F = 135.951$ ,  $P < 0.001$ ).

## VIII.7. Requerimientos abióticos de germinación

### VIII.7.1. Requerimiento de luz

Se observó un efecto significativo de la luz y la escarificación en la germinación final, la tasa de germinación (semillas germinadas por día), y los días para el inicio de la germinación (DIG) (Tabla III). Bajo condiciones de luz hubo una germinación final del 73% mientras que el tratamiento en oscuridad total no presentó germinación en ninguna de sus réplicas (Figura 11). Por lo tanto las semillas de *M. grahamii* son fotoblásticas positivas. Sin embargo, la escarificación con ácido clorhídrico revirtió el requerimiento de luz en una porción de las semillas, ya que se observó incremento en la germinación final la cual fue de 27% en oscuridad y un 96% en luz. (Figura 12). El tratamiento de escarificación disminuyó los DIG en luz de 7.0 a 3.4 días. El tratamiento de escarificación incrementó la tasa de germinación en luz de 12.7 a 88.2; en la oscuridad y con escarificación la tasa fue de  $28.4 \pm 12.2$  (Figura 13).

Tabla III. Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación de los tratamientos de luz en semillas con y sin escarificar. DIG son los días para el inicio de la germinación

LUZ			
Variabes de respuesta	X <sup>2</sup>	GL.	P > X <sup>2</sup>
Tasa de germinación	16.633	3	0.0008
Dig	17.0722	3	0.0007
% de germinación final	18.2412	3	0.0004

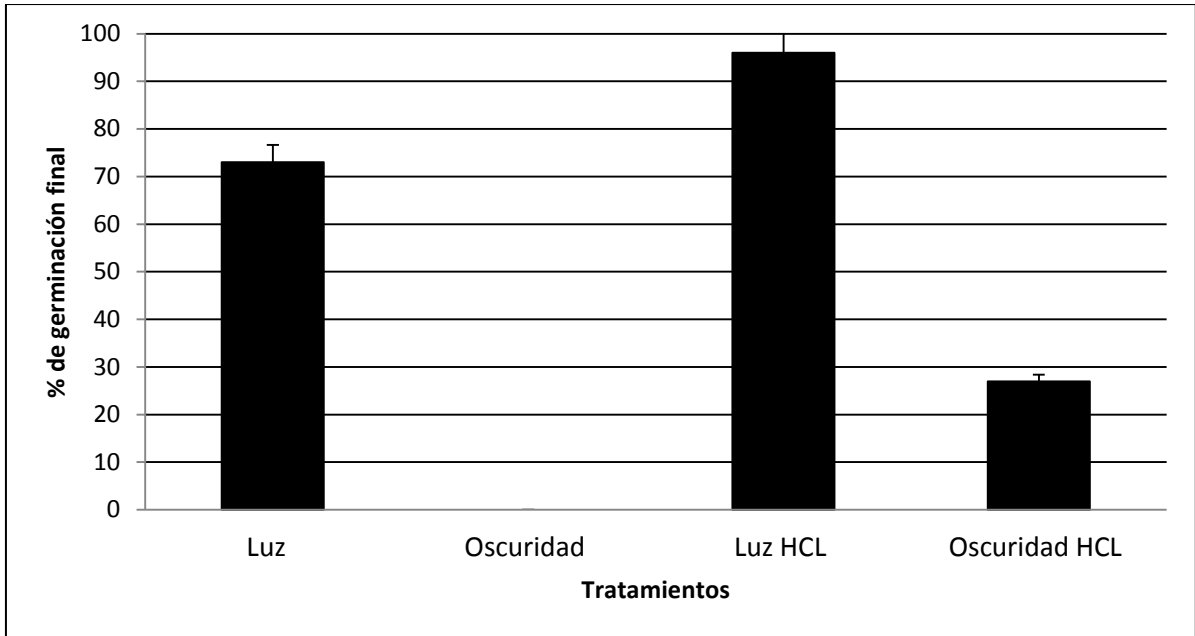


Figura 11. Efecto de la luz y la escarificación con ácido clorhídrico (HCl) en el porcentaje de germinación final. Las barras representan la media  $\pm$  D.E. N = 5.

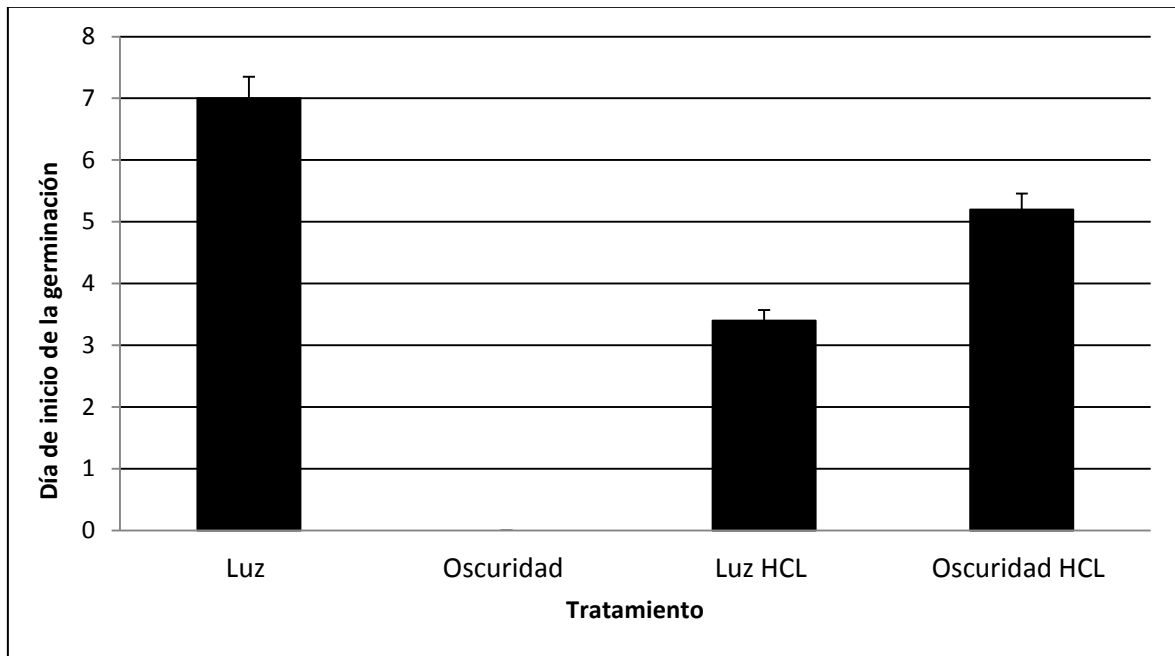


Figura 12. Efecto de la luz y la escarificación en el tiempo (días) para el inicio de germinación. Las barras representan la media  $\pm$  D.E. N = 5.



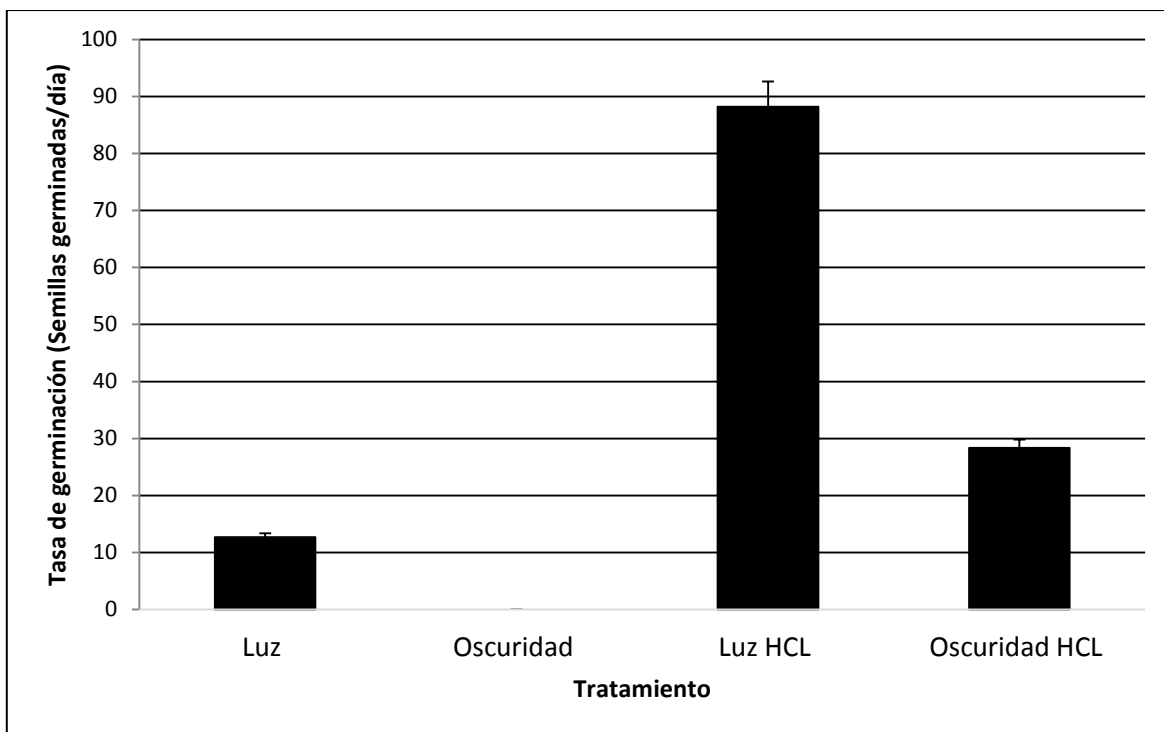


Figura 13. Efecto de la luz y la escarificación en la tasa de germinación. Las barras representan la media  $\pm$  D.E. N = 5.

### VIII.7.2. Requerimiento de agua

El potencial osmótico tuvo un efecto significativo en las variables de respuesta de germinación (Tabla IV). Se observó germinación en los tratamientos con  $\Psi\pi$  por debajo de -1 MPa, mientras que los tratamientos con  $\Psi\pi$  mayores a -1 MPa no presentaron germinación. El tratamiento a 0 MPa obtuvo un 72% de germinación final mientras que el tratamiento a -0.3 MPa tuvo un 80% de germinación final, el tratamiento a -0.6 MPa presentó el 78% y el tratamiento a -0.9 MPa presentó un 46%. Por otra parte los tratamientos a -1.2 y -1.5 MPa no presentaron germinación en ninguna de sus réplicas (Figura 14). El tratamiento que mostro un inicio de germinación más corto fue el de -0.9 mientras que para la tasa de germinación fue mayor en el tratamiento -0.6 MPa (Figura 15 y 16).

Tabla IV. Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación en respuesta a los tratamientos de potencial osmótico. DIG son los días para el inicio de la germinación.

POTENCIAL OSMÓTICO

<b>Variables de respuesta</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>G.L</b>	<b>Prob &gt; X<sup>2</sup></b>
Tasa de germinación	20.6451	5	0.0009
Dig	20.8618	5	0.0009
% de germinación final	18.2692	5	0.0026

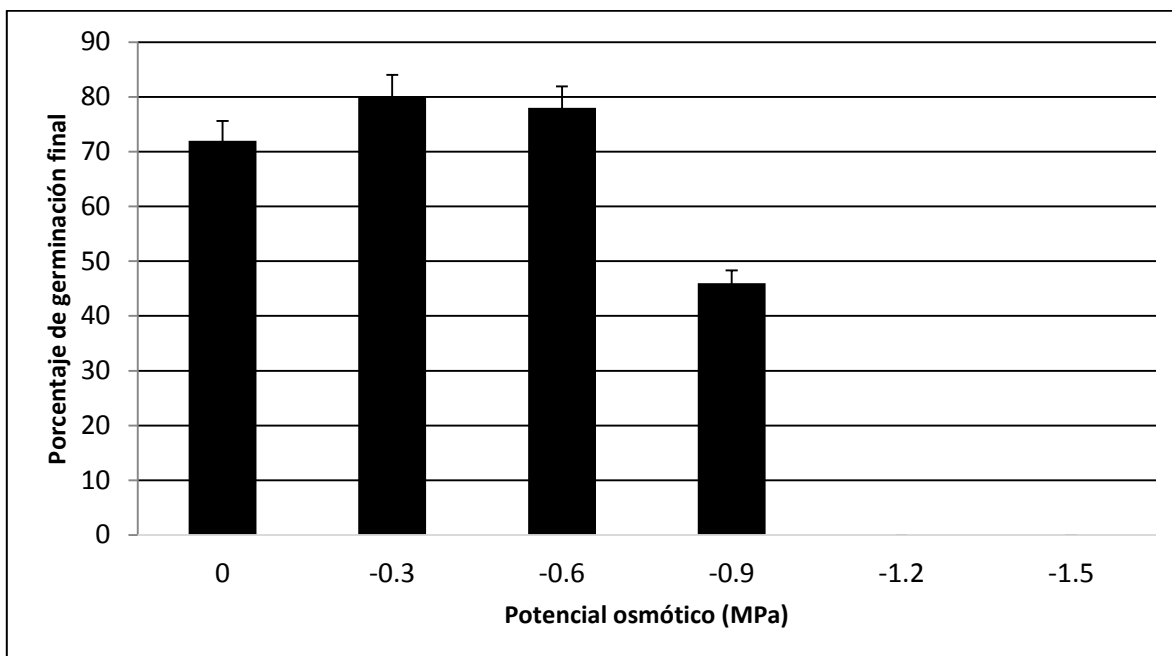


Figura 14. Efecto de los diferentes potenciales osmóticos sobre el porcentaje de germinación final de las semillas de *M. grahamii*. Cada columna representa la  $X \pm D.E.$  N = 5.

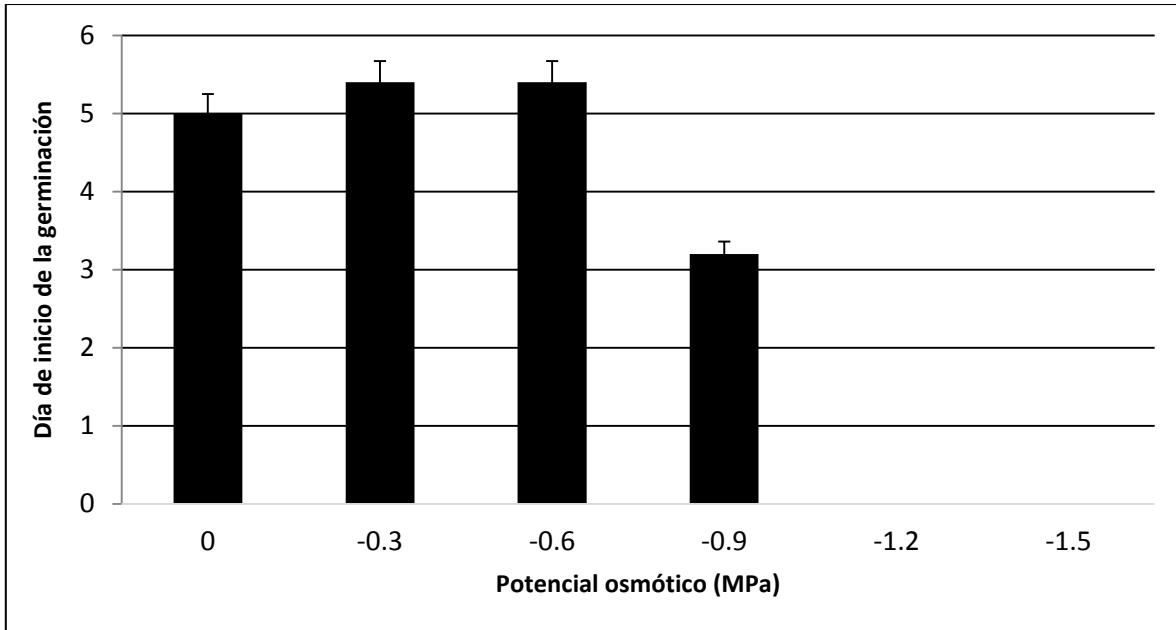


Figura 15. Efecto del potencial osmótico sobre el inicio de la germinación en las semillas de *M. grahamii*. Cada columna representa la  $X \pm D.E.$   $N = 5$ .

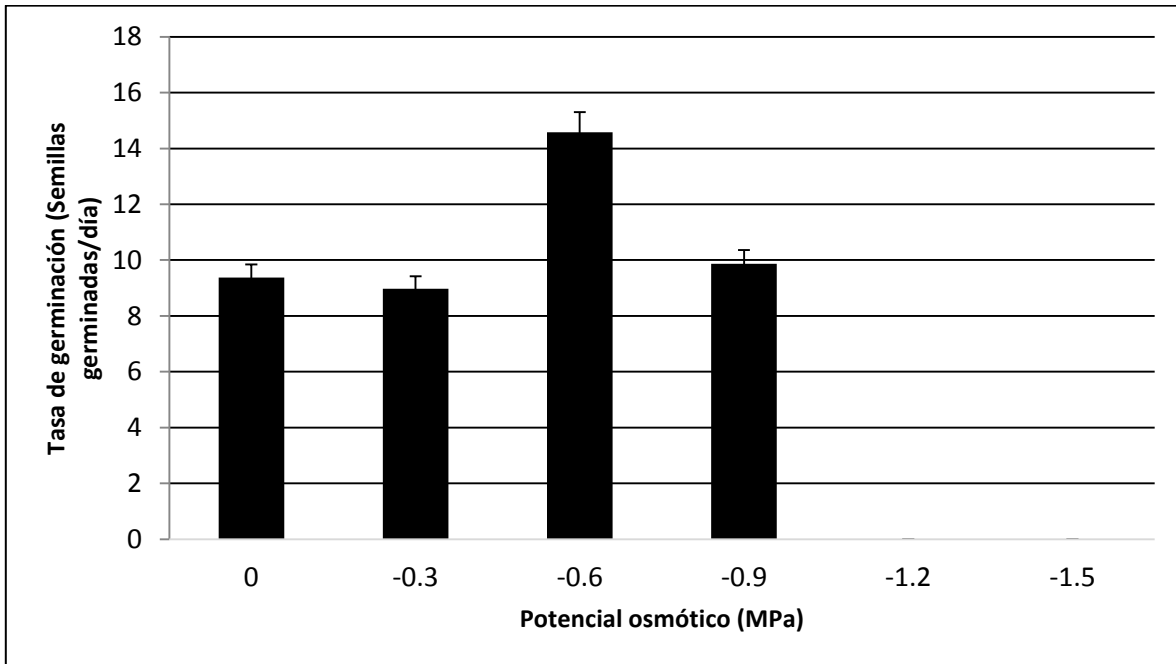


Figura 16. Efecto del potencial osmótico sobre la tasa de germinación en las semillas de *M. grahamii*. Cada columna representa la  $X \pm D.E.$   $N = 5$ .

### VIII.7.3. Requerimiento de temperatura

La temperatura tuvo un efecto significativo en los parámetros de la germinación de *M. grahamii* (Tabla V). Se observó un mayor porcentaje final de germinación a temperaturas constantes de 30°C y 35°C que en los tratamientos con temperatura constante a 25°C y alternada entre 25°C/35°C. El tratamiento con temperatura a 35°C obtuvo un 72% de germinación mientras que el tratamiento a 30°C tuvo un 64% de germinación. Por otra parte, los tratamientos con temperatura a 25°C y temperaturas alternadas a 25°C/35°C obtuvieron el 60.8% y 53.33% de germinación final respectivamente; mientras que los tratamientos a temperaturas de 10°C, 15°C y 20°C no presentaron germinación (Figura 17). A 35°C la germinación inició más rápidamente en comparación con las demás temperaturas (Figura 18). En los tratamientos en que hubo germinación, la tasa de germinación fue mayor en el tratamiento de temperaturas alternadas (Figura 19).

Tabla V. Prueba de Wilcoxon para comparación de los parámetros de germinación en respuesta a los tratamientos de temperatura. DIG son los días para el inicio de la germinación.

TEMPERATURA			
<b>Variables de respuesta</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>GL</b>	<b>Prob &gt; X<sup>2</sup></b>
Tasa de germinación	27.1827	6	0.0001
Dig	32.0000	6	<0.0001
% de germinación final	29.8318	6	<0.0001

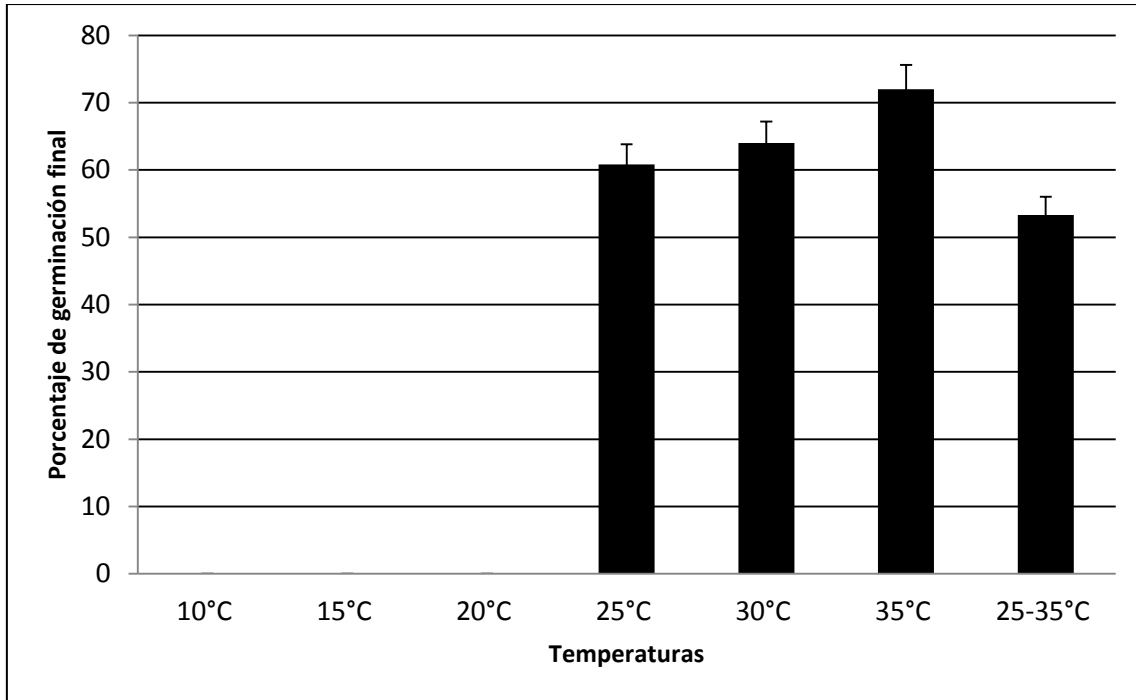


Figura 17. Efecto de temperatura sobre el porcentaje de germinación final de *Mammillaria grahamii*. Cada barra representa la media  $\pm$  D. E. N = 5.

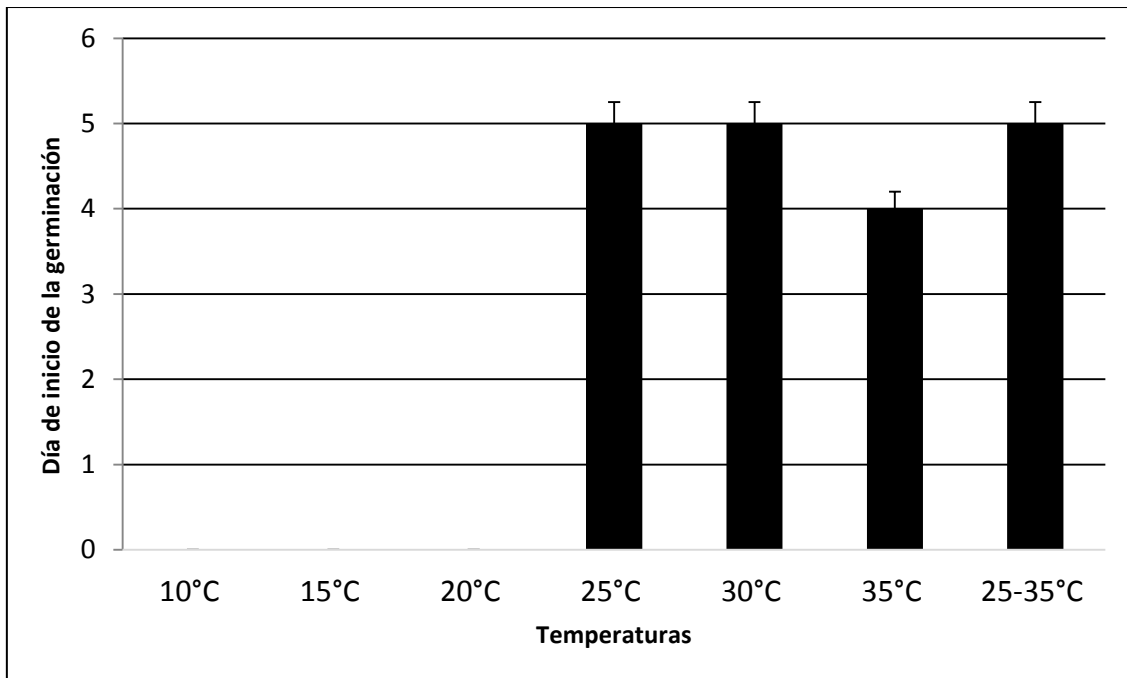


Figura 18. Efecto de temperatura sobre el inicio de la germinación de *Mammillaria grahamii*. Cada barra representa la media  $\pm$  D. E. N = 5.

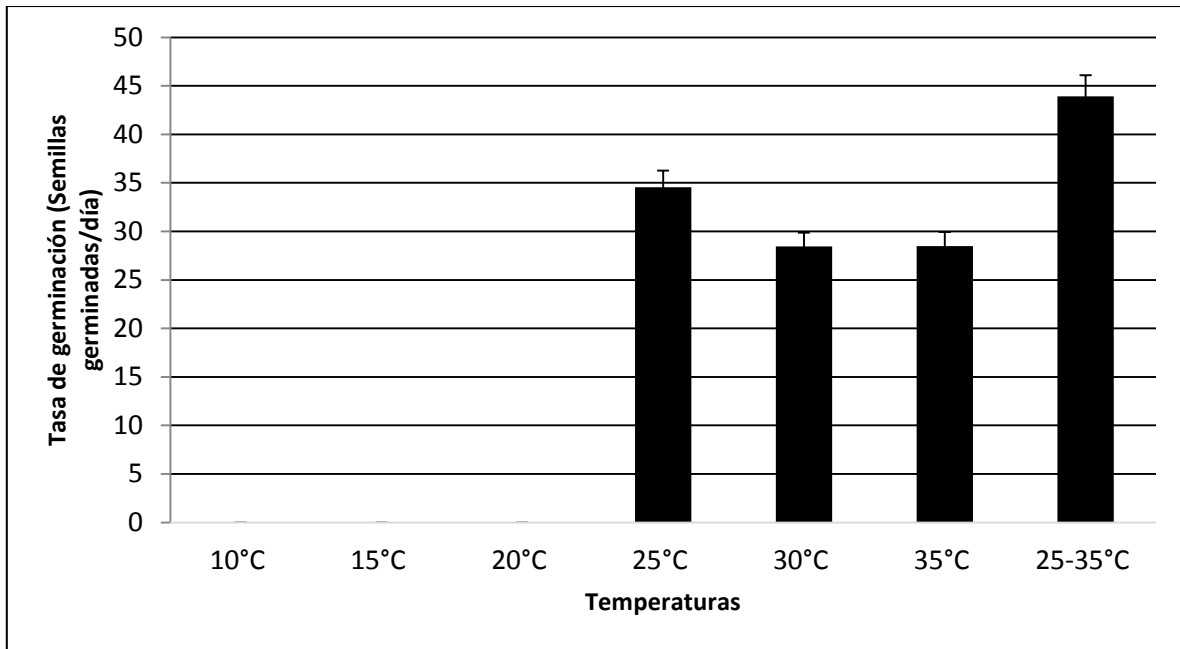


Figura 19. Efecto de temperatura sobre la tasa de germinación de *Mammillaria grahamii*. Cada barra representa la media  $\pm$  D.E. N = 5.

## IX. Discusión

Este estudio muestra que la abundancia y densidad de *Mammillaria grahamii* son relativamente bajas y disminuyen en sitios invadidos por *Pennisetum ciliare*. La estructura de tamaños muestra que la población, en condiciones sin perturbación, está conformada en su mayoría por individuos pertenecientes a las categorías de menos número de tallos por individuo (1 a 2 y de 3 a 4 tallos), indicando regeneración. Los análisis de distribución y asociación mostraron que los individuos de *M. grahamii* tienen una distribución agregada y no crecen por igual bajo la copa de los árboles y en espacios abiertos, más bien crecen preferentemente asociados a árboles y arbustos, en específico a *Mimosa laxiflora* y *Parkinsonia microphylla*. Los requerimientos de germinación mostraron que las mejores condiciones para que germine esta especie se observan en el verano, que es la época de crecimiento en esta parte del Desierto Sonorense. Los resultados de este estudio indican que las perturbaciones que disminuyan la cobertura vegetal y modifiquen el microclima tienen un efecto negativo en las poblaciones de *M. grahamii*.

### XI.1. Abundancia y densidad

La densidad de *Mammillaria grahamii* en el sitio de estudio es baja (0.256 individuos m<sup>-2</sup>) aunque mayor que la observada en otras especies como *M. hamata* (0.028 individuos m<sup>-2</sup>) y *M. magnimamma* (0.0638 individuos m<sup>-2</sup>). Sin embargo es considerablemente baja en comparación con especies enlistadas en la NOM, como *M. zephyrantoides* (1.41 individuos m<sup>-2</sup>), *M. crucígera* (10.33 individuos m<sup>-2</sup>) y *Mammillaria pectinifera* (50 individuos m<sup>-2</sup>) (Valverde et al., 1999; Cortés 2003; Valverde y Hurtado, 2006).

Se ha observado que la disminución de la densidad de las especies de *Mammillaria* es producto de la colecta de las especies y las perturbaciones que ocurren dentro del hábitat. En el caso de *M. pectinifera* y *M. hamata* la densidad disminuye con la degradación del terreno generado por el cambio de uso de suelo (Martorell y Peters, 2005). Para *M. grahamii* es notorio que una disminución en la densidad de hasta un 95% ocurre en el sitio invadido por buffel (0.014 individuos m<sup>-2</sup>). Esta disminución probablemente esté asociada a cambios en las

condiciones microclimáticas en los sitios invadidos y con poca cobertura arbórea. En estos sitios puede incrementarse la temperatura y la irradiación debido a un incremento en la evaporación directamente del suelo, lo que podría generar competencia por el agua si el buffel es más eficiente en la captura de este recurso. Estos cambios microclimáticos pueden también causar la muerte de plántulas, como se ha observado en *Pachycereus pecten aboriginum* en praderas de buffel (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008). Otro factor que puede inducir un cambio drástico en la densidad de la especie es el fuego. En sitios invadidos y recientemente incendiados en el CEES se han observado plantas quemadas de *M. grahamii* con apariencia de estar muertas (Anexo 1). Sin embargo habrá que seguirlos en el tiempo en caso que ocurra algún rebrote. La interacción alelopática entre especies nativas y zacate buffel puede también influenciar negativamente la germinación y sobrevivencia de *M. grahamii* (Silva Flores, 2013)

Si se compara la densidad de individuos de esta población de *M. grahamii* con la densidad de algunas de las especies que se encuentran enlistadas en la NOM, esta es considerablemente baja (Anexo 2 y 3). Para determinar el estatus de *M. grahamii* es necesario llevar a cabo estudios de densidad en su distribución geográfica y de impacto antropogénico siguiendo el método de especies en riesgo (MER), de esta manera se puede contribuir formalmente con la información acerca del estatus ecológico de esta especie (Sánchez, 2007).

## **IX.2. Estructura de tamaños**

La distribución de los tamaños de los individuos de una población es un reflejo de los procesos de natalidad y mortalidad (Barbour et al., 1987). Estos procesos van a estar en función de la producción y la formación de un banco de semillas, la tasa de germinación y la propagación vegetativa; sin embargo, la herbivoría, la disponibilidad de recursos así como las acciones antropogénicas, ponen en riesgo los procesos de germinación y establecimiento (Godínez-Álvarez et al., 2003),



Para el caso de *Mammillaria grahamii*, los resultados de la estructura de tamaños mostraron que los individuos de la población del CEES no están uniformemente distribuidos en las diferentes categorías de tamaño, pues están conformados en su mayoría por individuos pertenecientes a las categorías de 1 a 2 tallos por individuo (pequeños) y de 3 a 4 tallos (grandes), no se observaron individuos pequeños como los que se originan de semillas. Este comportamiento ha sido observado para otras especies de *Mammillaria* como *M. eriacantha*, en donde se observó una mayor cantidad de individuos pequeños, basado en el diámetro de las colonias (Valencia-Díaz et al., 2012).

La tabla de frecuencia de tamaño de los individuos dentro y fuera de las copas muestra claramente bajo la copa una mayor frecuencia de individuos en las categorías de 1 a 2 y en la de más de 10 tallos por individuo. Para los individuos que crecen en suelo desnudo estas frecuencias se ven drásticamente disminuidas, lo que indica que los árboles y arbustos del área sin perturbación desempeñan un papel importante como plantas nodrizas para el establecimiento y la sobrevivencia de las plántulas de *M. grahamii*.

### **IX.3. Patrón de Distribución Espacial y Patrón de Asociación**

Los resultados del índice de Hopkins mostraron que la distribución de *Mammillaria grahamii* en el sitio de estudio es agregada. Este tipo de distribución es común entre algunas de las especies de *Mammillaria* de la NOM-059-2010 que han sido estudiadas, como *M. gaumeri*, *M. kraehenbuehlii*, *M. oteroi*, *M. mathildae* (Leirana-Alcocer y Parra-Tabla, 1999; Rodríguez y Ezcurra, 2001; Hernández-Martínez y Sánchez-Martínez, 2002; Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2005). Sin embargo *M. eriacantha* presenta una distribución uniforme y *M. carnea* una distribución del tipo al azar (Valencia-Díaz et al., 2012). Las características del suelo o rocas tales como tipo, textura y profundidad pueden ser algunas de las causas para que ocurra el patrón de agregación de los individuos (Couteron y Kokou, 1997). Un patrón agregado determinado por el sustrato rocoso ha sido observado para otras especies de *Mammillaria* como *M. fraileana* (López et al., 2009). Por otro lado, Carrillo-Ángeles (2006) menciona la dispersión de semillas y establecimiento de plántulas a distancias cortas de la planta madre,

como un mecanismo que origina una distribución agregada. Para *M. eriacantha* Valencia-Díaz et al. (2012) encontraron que la dispersión dirigida de semillas hacia los árboles y arbustos explica su distribución agregada. Bajo este contexto de dispersión dirigida, se podría suponer que para *M. grahamii* la dispersión de las semillas sería hacia *Parkinsonia microphylla* y *Mimosa laxiflora*, ya que el número de individuos de *M. grahamii* que crecen debajo de la copa de estas dos especies es considerablemente mayor con respecto a las demás especies. Sin embargo también puede deberse a que hay más nutrientes bajo las plantas perennes o entre las rocas; o que la dispersión y establecimiento ocurra a distancias cortas de la planta madre. Sin embargo, no hay estudios que describan los requerimientos de sustrato para *M. grahamii*, o la variación en nutrientes bajo las nodrizas en el sitio de estudio. Por lo que no se puede establecer de manera adecuada el mecanismo o la contribución de estos mecanismos en la distribución agregada de *M. grahamii*.

El análisis de asociación mostro que los individuos de *M. grahamii* no crecen por igual bajo la copa de las plantas y en espacios abiertos, más bien crecen preferentemente asociados a *Mimosa laxiflora* y *Parkinsonia microphylla*. Este comportamiento de asociación se ha observado para muchas otras especies de *Mammillaria* (Martínez et al., 2001). Para explicar la especificidad de asociación entre cactáceas y sus hospederos, Sosa y Fleming (2002) proponen tres mecanismos: la dispersión no aleatoria de semillas, la dispersión no aleatoria de semillas y plántulas, y la sobrevivencia no aleatoria de plántulas.

La dispersión no aleatoria de semillas ocurre cuando los dispersores depositan las semillas preferentemente bajo arbustos o árboles que utilizan para perchar o protegerse. Este mecanismo ha sido observado para *M. eriacantha* (Valencia-Díaz et al., 2012). En el caso de *M. grahamii* este podría ser un factor involucrado que nos explicaría la asociación de la especie con árboles, y preferentemente con 2 especies en particular. Sin embargo, como ya se menciono arriba, no hay datos respecto al mecanismo de dispersión para esta especie, y tampoco existen estudios sobre la preferencia de los dispersores a perchar en ciertas nodrizas, ni estudios detallados que muestren que la dispersión no aleatoria signifique que exista un requerimiento de nodricismo para el cactus.

Otro mecanismo que puede explicar o contribuir a la existencia de una asociación positiva, sería una alta tasa de depredación de semillas y/o plántulas en ciertos lugares o parches; por ejemplo si se observa en campo un mayor número de individuos debajo de la copa de algún árbol o arbusto que en espacios abiertos, puede deberse a que exista una alta tasa de depredación afuera de la copa, donde serían más visibles. Como consecuencia las plántulas se encontrarían asociadas a una planta que las proteja de los depredadores. Este comportamiento ha sido observado para *M. magnimamma*, *M. lasiacantha*, y *M. pectinifera* (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2000; Jiménez-Sierra y Jiménez-González, 2003).

En el caso de *M. grahamii* no todos los individuos se encontraron creciendo debajo de la copa de algún árbol o arbusto, ya que se encontraron individuos, aunque en menor proporción, en suelo desnudo y asociados a grietas entre rocas. En este caso es probable que las semillas hayan podido germinar en grietas de las rocas, donde la materia orgánica y el agua pueden acumularse, y a la vez protegerse de depredación y de la irradiación alta cuando pequeñas. Alternativamente, puede ocurrir que las plantas en lugares fuera de las copas se hayan establecido a partir de un tallo, que por su tamaño y desarrollo de espinas haya podido sobrevivir a condiciones ambientales adversas y a la depredación, y por lo tanto establecerse.

Por otro lado, la sobrevivencia de plántulas no aleatoria puede deberse principalmente a que el establecimiento y la sobrevivencia de las plántulas depende de condiciones favorables que encuentran bajo las copas de árboles con respecto a las del ambiente fuera de la copa. Este mecanismo ha sido observado para aquellas especies de *Mammillaria* que requieren forzosamente de una planta nodriza para su germinación y establecimiento como *M. carnea* y *M. heyderii* (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2000; Muro Pérez et al., 2011). Para *M. grahamii* se puede decir, con los resultados de este estudio que la cobertura de la planta nodriza actúa como un factor facilitador, que se refleja en una mayor cantidad de individuos bajo la copa de ésta. Uno de estos mecanismos o la suma de ellos podrían explicar satisfactoriamente la asociación nodriza de *M. grahamii* con *Mimosa laxiflora* y *Parkinsonia microphylla*. Sin embargo, para poder determinar correctamente cual es el mecanismo que genera el patrón de asociación, es necesario llevar a cabo estudios de observación en campo de dispersión y depredación de semillas, así como de germinación y sobrevivencia de plántulas. En el caso de

*M. grahamii* la mayoría de los individuos se encontraron asociados a *Parkinsonia microphylla* por lo que también es importante estudiar a esta especie para poder entender cuál es la función que desempeña para el establecimiento y sobrevivencia de las plántulas.

#### **IX.4. Requerimientos abióticos para la germinación**

##### **IX.4.1. Requerimiento de Luz**

Al igual que otras especies de *Mammillaria*, la germinación de *M. grahamii* ocurrió en los primeros 7 días de ser sembrada, germinando un porcentaje alto de semillas en condiciones de luz (%). Esto muestra que la mayoría de las semillas recién colectadas no tienen una latencia fisiológica o morfológica (Benítez-Rodríguez et al., 2004; Flores-Martínez y Manzanero-Medina, 2005)

Las semillas de *Mammillaria grahamii* son fotoblásticas positivas como en muchas otras especies de *Mammillaria*, incluyendo *M. huchilopochtli*, *M. crinita*, *M. bocasana*, *M. longimamma*, *M. orcuttii*, *M. plumosa* y *M. aureilanata* (Rojas-Arechiaga y Vázquez-Yanes, 2000; Rojas Arechiaga y Batis, 2001). El fotoblastismo positivo es una característica morfológica y fisiológica con una gran importancia ecológica para las semillas pequeñas, ya que favorece la formación de bancos de semillas en el suelo permitiéndoles entrar en un periodo de latencia esperando condiciones favorables para su germinación (Rojas Arechiaga y Batis 2001). Por su tamaño también es importante este mecanismo de detección de luz, pues así pueden germinar las semillas que están más cercanas a la superficie del suelo, teniendo más probabilidades de las plántulas puedan fijar energía luminosa y fotosintetizar, ya que al tener pocas reservas en las semillas si germinan a mayor profundidad no podrían tener un crecimiento suficiente para poder alcanzar la luz.

A pesar de ser fotoblásticas positivas, si se les aplica una escarificación, algunas semillas pueden revertir los requerimientos de luz, pues logran germinar aunque en menor proporción en oscuridad, comienzan a germinar en menos tiempo y a tasas mayores. El efecto significativo de la escarificación sobre estas variables tiene implicaciones ecológicas importantes, pues el aumento de la tasa de germinación podría permitir a las semillas de *M.*

*grahamii* situadas cerca de la superficie del suelo o bajo densas nodrizas, germinar rápidamente durante los eventos de lluvia favorables aumentando el tiempo de crecimiento y en consecuencia la sobrevivencia de las plántulas (Baskin y Baskin, 1998; Rojas-Aréchiaga y Batis, 2001; Romero-Schmidt et al., 1992; Flores y Arredondo, 2006).

Este comportamiento ha sido observado para *M. hageana*, *M. lasiacantha*, *M. kraehenbuehlii* y *M. oteroi*, en donde la escarificación con ácido sulfúrico les permite aumentar la tasa de germinación así como el inicio de la germinación y el porcentaje de germinación final (Flores y Manzanero, 2003). Sin embargo, para determinar la sobrevivencia así como formación de los bancos de semillas de *M. grahamii*, es necesario llevar a cabo estudios de campo de la distribución espacial y temporal de semillas.

#### **IX.4.2. Requerimiento de potencial osmótico**

Los potenciales osmóticos óptimos para la germinación de *M. grahamii* se encuentran entre -0.3 a -0.9MPa; sin embargo a potenciales de -1.2MPa y -1.5MPa no se presenta germinación. Estos valores se encuentran dentro del rango de germinación de la mayoría de las especies del desierto de Sonora (0 a -0.5 MPa) (De la Barrera y Smith, 2009).

Por otra parte, estudios realizados en *Neobuxbaumia tetetzo* y *Pachycereus hollianus* muestran que a medida en que el potencial osmótico se acerca a cero se incrementa el porcentaje de germinación final (Mazzola et al., 2013). Estos resultados concuerdan con otros observados para *Stenocereus queretaroensis*, en donde un mayor porcentaje de germinación se produce a 0 MPa (De la Barrera y Nobel, 2003) y *M. guameri* a 0 y -0.2 MPa (Cervera et al., 2006). Este comportamiento sugiere que la germinación solo ocurre cuando hay suficiente agua disponible en el suelo, y esto es en época de lluvias, y dentro de los rangos de potencial hídrico en el que germinan las anuales de verano y especies perennes de árboles y cactáceas (Baskin y Baskin, 1998). Esto apoya la hipótesis de que las lluvias, así como las plantas nodrizas proporcionan la humedad necesaria para que las semillas de *M. grahamii* logren germinar y establecerse.

### IX.4.3. Requerimiento de Temperatura

Por otra parte las temperaturas óptimas para la germinación de *M. grahamii* se encuentran entre 20°C y 35°C, similares a las de *M. fuauxiana* (20°C y 35°C), *M. longimamma*, *M. potosina* y *M. durispina* (20°C). La época de germinación y establecimiento para la mayoría de las especies de zonas áridas ocurre durante el verano, donde la temperatura ambiente oscila entre 25°C - 35°C y 15°C - 30°C (Baskin y Baskin, 1998). Sin embargo la temperatura del suelo puede ser mayor de 50°C, y llegar hasta arriba de 70°C en sitios sin sombra.

Para el caso de *M. grahamii* la temperatura al igual que la luz juega un papel muy importante para la germinación de semillas, pues se observó que las temperaturas fluctuantes aumentan la tasa de germinación así como el inicio de la germinación y que además, en las temperaturas altas ocurre un mayor porcentaje de germinación final, lo que refleja las temperaturas altas de su hábitat en época de lluvia. Este comportamiento concuerda con otros estudios realizados con cactáceas globosas, donde generalmente se observa un mayor porcentaje de germinación bajo temperaturas altas y fluctuantes que en temperaturas bajas. Esto ocurre de manera contraria para las semillas de las cactáceas columnares las cuales toleran mejor un gradiente de temperaturas más bajas (Sánchez-Soto et al., 2010).

## IX. Conclusiones

Con este estudio se puede concluir que la población de *Mammillaria grahamii* en el Centro Ecológico del Estado de Sonora, está conformada por individuos pequeños que se distribuyen de forma agregada en el espacio, y su densidad se ve considerablemente disminuida en los sitios invadidos por zacate buffel.

Por otra parte, las temperaturas altas y fluctuantes, así como la escarificación ácida al sumarse con la luz y un bajo estrés hídrico acelera tanto el inicio de la germinación como la tasa de germinación y se incrementa considerablemente el porcentaje de germinación final. Esto apoya la hipótesis de que las lluvias así como las plantas nodrizas proporcionan la humedad necesaria para que las semillas de *M. grahamii* logren germinar y establecerse en el sitio de estudio.

Así mismo los resultados obtenidos por este estudio nos permiten considerar que el porcentaje de cobertura de las especies del área es importante para la sobrevivencia de los individuos pequeños de *M. grahamii*. Respecto a los individuos que crecen afuera de las copas, las rocas podrían haber protegido a las semillas e individuos pequeños. Esto sugiere que la cobertura de las plantas nodrizas actúa como un factor facilitador que podría posibilitar la germinación, el establecimiento y la sobrevivencia de las plántulas. Por lo anterior, perturbaciones que disminuyan la cobertura vegetal y el microclima tienen un efecto negativo en las poblaciones de *M. grahamii*.

Debido a que existen muy pocos estudios, acerca de los aspectos ecológicos y biológicos de las especies de *Mammillaria* para Sonora este trabajo es uno de los más completos, pues contribuye significativamente a la evaluación del estatus de esta especie. Sin embargo son necesarios más estudios poblacionales en su rango de distribución geográfica, y sobre el impacto antropogénico en sus poblaciones para determinar su estatus de acuerdo con la MER.

## XI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, V. 2010. La biodiversidad en los ecosistemas acuáticos, en La biodiversidad de México inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. CONACULTA. México.
- Arvizu-Valenzuela, L. V. 2014. Estructura poblacional y ciclo de vida del jito *Forchammeria watsonii* Rose, una especie arbórea endémica del noroeste de México. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Hermosillo, Sonora, México.
- Arias S. 1997. Distribución, grupos taxonómicos y formas de vida. Suculentas mexicanas. Cactáceas. Conabio. Semarnat. UNAM
- Andrade, J. L., De la Barrera, E., Reyes-García, C., Ricalde, M. F., Vargas-Soto, Gustavo y Cervera, J. C. 2007. El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. Boletín de la Sociedad Botánica de México 81, 37-50.
- Barbour, M. G., Burk, J. H. y Pitts, W. D. 1987. Terrestrial Plant Ecology. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, USA.
- Baskin, C. C. y Baskin, J. M. 1998. Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego.
- Benítez-Rodríguez J.L., Orozco-Segovia, A y Rojas-Aréchiga, M. 2004. Light effect on seed germination on four *Mammillaria* species from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. Southwest Nat 49(1):11-17.
- Bradbeer J. W. 1994. Seed Dormancy and Germination. Chapman and Hall. Great Britain
- Bravo, H. 1991. Las cactáceas de México. Universidad Nacional de México.
- Brown, D. E. 1982. Comunidades bióticas del sudoeste americano - Estados Unidos y México. Desert Plants.
- Brito-Castillo L., Crimmins M.A., Díaz S.C. 2010. Clima. 73-96 p. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van-Devender. (Eds.), Diversidad biológica de Sonora. UNAM, México.
- Búrquez, A, Martínez-Yrizar, A, Felger R.S. y Yetman, D. 1999. Vegetation and Habitat Diversity at the Southern Edge of the Sonoran Desert. 36-67 p. En: R.H. Robichaux. (Eds.), Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, EE. UU.



- Búrquez, A. y Martínez-Yrizar, A. 2006. Conservación, transformación del paisaje y biodiversidad en el noroeste de México. 85-110 p. En: Toledo, V. M., Oyama, K., y Castillo, A.(Eds.) Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. Siglo XXI/UNAM, México.
- Carbajal, M. D. C. N., Olvera, G. C., y Castellanos. J. O. L. 2008. Efecto de la escarificación de semillas en la germinación de dos especies de *Mammillaria*. *Zonas Áridas* 12(1).
- Carrillo-Ángeles, I. G. 2006. Distribución espacial de clones de *Ferocactus robustus*: consecuencias sobre la reproducción sexual. Tesis para obtener el grado académico de maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 71 p
- Cody, M. L. 1993. Do cholla cacti (*opuntia* spp, subgenus *cylindropuntia*) use or need nurse plants in the mojave desert. *Journal of Arid Environments* 24:139-154.
- Cortés R P. 2003. Contribución al conocimiento de la dinámica poblacional de *Mammillaria zephyrantoides* en Cuautinchán, Puebla. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Puebla. Escuela de Biología. Puebla, México.
- Coutron, P. y K. Kokou. 1997. Woody vegetation spatial patterns in a semiarid savanna of Burkina Faso, West Africa. *Plant Ecology* 132: 211-227.
- Cutler, D. F., Botha, C. E. J., y Stevenson, D. W. 2008. *Plant anatomy: an applied approach*. Oxford: Blackwell.
- Daniel, W. 1988. Regresión y correlación lineales simples. pp 355-414. En: W. Daniel, Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa, México.
- De la Barrera, E. 2008. Invasión reciente de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) de un área natural protegida del suroeste del desierto de Sonora. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(2), 385-392.
- De La Barrera, E., y Smith, W. K. (2009). Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology: A Tribute to Park S. Nobel. UNAM.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, lista de especies en riesgo. Secretaría de Gobernación, México.

- Díaz-Martínez, A.M. 2001. Variación espacial y temporal de la producción de hojarasca en la subdivisión Costa Central del Golfo del Desierto Sonorense, en Sonora, México. Tesis de licenciatura, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- Drezner, T. D. 2006. Plant facilitation in extreme environments: The non-random distribution of saguaro cacti (*Carnegiea gigantea*) under their nurse associates and the relationship to nurse architecture. *Journal of Arid Environments*, 65(1), 46-61.
- Durand, L. y Neyra, L. 2010. La diversidad biológica de México: ecosistemas, especies y genes, en *La biodiversidad de México inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural*. Coord. CONACULTA. México.
- Felger, R.S., B. Broyles, M.F. Wilson y G.P. Nabhan, D.L. Turner. 2007. Six Grand Reserves, one Grand desert. 3-26 p. En: R.S. Felger, B. Broyles. (Eds.) *Dry borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah.
- Fleming, T. H. y Sosa, V. J. 2002. Why are columnar cacti associated with nurse plants?. 306-323 p. En: Fleming, T. H. y A. Valiente-Banuet. (Eds.) *Columnar Cacti and their Mutualists*. The University of Arizona Press. Tucson.
- Flores, J., Jurado, E., y Arredondo, A. 2006. Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, México. *Seed Science Research*, 16(02), 149-155.
- Flores-Martínez, A. y Manzanero-Medina, G. I. 2005. Método de evaluación de riesgo de extinción de *Mammillaria huitzilopochtli* D. R. Hunt. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 50: 15-26.
- Flores-Martínez, A. y Manzanero-Medina, G. I. 2010. El género *Mammillaria* en Oaxaca: Relación entre filogenia y la distribución geográfica. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 55(4):100-111
- Flores, J, y Jurado, E. 2009. Efecto de la densidad de semillas en la germinación de *Isolatocereus dumortieri* y *Myrtillocactus geometrizans*, cactáceas columnares endémicas de México. *Revista mexicana de biodiversidad* 80 141-144
- Frankham R. 1998. Inbreeding and extinction: Island populations. *Conservation Biology* 12:665-675
- Franco, A. C. y Nobel, P. S. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *The Journal of Ecology*, 870-886.

- Groom, M. J., G. K. Meffe y C. R. Carrol. 2006. Principles of conservation biology. Ed. Sinauer. Sunderland, Massachussets U.S.A.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T., y Ortega-Baes, P. (2003). Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, 69(2), 173-201.
- Godínez-Álvarez H. Álvarez, R., Guzman U y Davila, P. 2004. Ecological aspects of two threatened cacti endemic to Mexico: implications for their conservation. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 7-16.
- González-Medrano, F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F.
- Hernández, H. M. y Godínez-Álvarez, H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Hernández-Martínez M y Sánchez-Martínez E. 2002. Informe de una nueva localidad de *Mammillaria mathildae* y una propuesta para modificar su categoría legal de conservación. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 47:4-10.
- Hernández-Oria, J. G., Chávez-Martínez, R. J. y Sánchez-Martínez, E. 2006. Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 51: 68-95.
- Hutchings, Michael J. 1986. The structure of plants population. En: Michael J. Crawley. Eds.). *Plant ecology*. Blackwell Science.
- Jiménez-Sierra C y Jiménez-González C. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 48:4-17.
- Jiménez-Sierra, C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan *Revista Digital Universitaria Volumen 12 Número 1 • ISSN: 1067-6079*.
- Keith, D.A. 2000. Sampling designs, field techniques and analytical methods for systematic plant population surveys. *Ecological Management y Restoration* 1(2): 125–139.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology*. Menlo Park, California. Benjamin/Cummings.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W y Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.

- Leirana-Alcocer J y Parra-Tabla V. 1999. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatán, México. *Journal of Arid Environments* 41(4), 421-428.
- Llorente, B. J y Ocegueda, S. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital Natural de México: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.
- Lopez, B. R. Bashan, Y. Bacilio, M. y De la Cruz, G. 2009. Rock-colonizing plants: abundance of the endemic cactus *Mammillaria fraileana* related to rock type in the southern Sonoran Desert. *Plant Ecology* 201:575-588.
- Mazzola, M. B., Cenizo, V. J., y Kin, A. G. 2013. Características morfológicas y anatómicas de las plántulas de *Trichocereus candicans* (Cactaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 48(3-4), 515-523.
- Martínez-Yrizar, A., Núñez, S., Miranda, H., y Búrquez, A. 1999. Temporal and spatial variation of litter production in Sonoran Desert communities. *Plant Ecology* 145(1), 37-48.
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R. S., Búrquez, A. 2010. Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural. 129-1 p. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van-Devender (Eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, México.
- Martínez D, Flores-Martínez A, López, F y Manzanero, G. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass y *R. foster* en la región Mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 46: 32-39.
- Martorell, C y Peters, E. M. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124(2) 199-207.
- Méndez, M., Dorantes, A., Dzib, G., Argáez, J., y Durán, R. 2006. Germinación y establecimiento de plántulas de *Pterocereus gaumeri*, una cactácea columnar, rara y endémica de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 79, 33-41.
- Muro Pérez, G. 2011. Asociaciones nodriza-protegida y germinación de cactáceas en Durango y Tamaulipas. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León.
- Molina-Freaner F. y Tinoco-Ojanguren C. 1997. Vines of a desert plant community in Central Sonora. *Biotrópica* 29(1):46-56.

- Molina-Freaner y Thomas R. Van Devender. 2010. Diversidad biológica de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México y CONABIO. México, D. F.
- Morales-Romero D. y Molina-Freaner F. 2008. Influence of buffelgrass pasture conversion on the regeneration and reproduction of columnar cactus, *Pachycereus pecten-aborigium*, in northwestern Mexico. *Journal of Arid Enviroments* 72(3): 228-237.
- Morgan, J. W. 1999. Effects of population size on seed production and germinability in an endangered, fragmented grassland plant. *Conservation Biology* 13:266-273.
- Morrison, S., Warren, A., Dent, D., y Driessen, P. Natural History and Evolution of the World's Deserts. 1-26 p. En: Ezcurra, E. (Ed.), *Global Deserts Outlook*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya.
- Navarro-Carvajal, M. C. y Castillo-Campohermoso, A. D. 2007. Estado actual de *Mammillaria hamata* en Los Ángeles Tetela, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 52: 68-78.
- Odum, E. P. 1972. *Ecología*. Interamericana. México.
- Paredes-Aguilar, R., Van Devender T.R y Felger, R.S 2000. *Cactáceas de Sonora: su diversidad, uso y conservación*. Arizona-Sonora Desert Museum Press, Tucson.
- Pilbeam John 1999. *Mammillaria* The Cactus File Handbook. Nuffield Press.
- Plascencia, R. L., Castañon-Barrientos, A. y Raz-Guzmán, A. 2011. La biodiversidad en México: su conservación y sus colecciones biológicas. *Ciencias* 101: 36-43
- Rodríguez-Ortega, C. E. y Ezcurra, E. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zopotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45: 4-14.
- Rojas-Aréchiga, M. y Batis, A. 2001. Las semillas de cactáceas...¿ forman bancos en el suelo. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 46, 76-82.
- Rojas-Aréchiga, M. y Vázquez-Yanes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44(1), 85-104.
- Rojas, M., Mandujano M. C. y Golubov J. K. 2013. Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cacteeae (Cactaceae) *Journal of Plant Research* 126:373-386.
- Romero-Schmidt, H, Vega-Villasante, F, Nolasco, H y Montaña, C. 1992 The effect of darkness, freezing, acidity and salinity on seed germination of *Ferocactus peninsulae* (Cactaceae). *Journal of arid environments* 23(4)

- Sánchez, O., R. Medellín, A. Aldama, B. Goettsch, J. Soberón y M. Tambutti. 2007. Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER). Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología UNAM, SEMARNAT, CONABIO. México, 9-170.
- Sánchez-Soto, B., Reyes-Olivas, Á., García-Moya, E., y Terrazas, T. (2010). Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noroeste de México. *Interciencia* 35(4), 299-305.
- Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. 205-217 p. En: Synge, H y Wiley. (Eds.) *The biological aspects of rare plant conservation*. Nueva York.
- Rzedowski J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. En A: Graham (Eds.), *Vegetation and vegetational history of northern Latin America*. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, The Netherlands.
- Middleton, N., y Thomas, D. 1997. *World atlas of desertification*. PLC.
- Naveh, Z., A. Lieberman, F. O. Sarmiento y C. Ghersa. 2002. *Ecología de Paisajes. Teoría y Aplicación*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, EUDEBA. Argentina.
- Santos-González, A. E. 2011. Estudio ecológico de una población sonorenses de *Echinocereus leucanthus* n. (P. Taylor) una cactácea enlistada en la NOM-059. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de investigaciones científicas y tecnológicas. Hermosillo, Sonora.
- Silva Flores A. 2013. Efecto alelopático de *Pennisetum ciliare* (L.) Link en la germinación y desarrollo inicial de plantas del Desierto Sonorense. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora. Departamento de investigaciones científicas y tecnológicas. Hermosillo, Sonora.
- Shreve, F. 1951. *Vegetation of the Sonoran Desert*. Carnegie Institution of Washington. Washington, DC, USA.
- Silvertown, J., y Charlesworth, D. 2009. *Introduction to plant population biology*. Blackwell Publishing. USA.
- Smith, T. M. y Goodman, P. S. 1987. Successional dynamics in an *Acacia nilotica-Euclea divinorum* Savannah in Southern Africa. *Journal of Ecology* 75:603-610.
- Tewksbury, J. J. y Lloyd, J.D. 2001. Positive interactions under nurse-plants: spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia* 127(3):425-434.
- Turner, R.M., Alcorn, S.M., Olin, G., Booth, J.A., 1966. The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* 95–102.

- Turner, R.M. y Brown, D.E 1982. Sonoran Deserts- crub. En: D. E. Brown. (Eds.). Biotic communities of the American Southwest-United States and Mexico.
- Valencia-Díaz, S., Flores-Palacios, A., y Castillo-Campos, G. 2012. Tamaño poblacional y características del hábitat de *Mammillaria eriacantha*, una cactacea endémica del Centro de Veracruz, Mexico. *Botanical Sciences*, 90(2), 195-202.
- Valiente-Banuet, A., Bolongaro-Crevenna, A., Briones, O., Ezcurra, E., Rosas, M., Nuñez, H., y Vazquez, E. 1991. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semiarid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2(1), 15-20.
- Valiente-Banuet, A. y Ezcurra, E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *mimosa luisana* in the tehuacan valley, Mexico. *Journal of Ecology* 961-971.
- Valverde, T., Rejo, M. L., y Castillo, S. 1999. Patron de distribucion y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la reserva del Pedregal de San Angel, Mexico DF *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 44: 64-74.
- Valverde, P.L y Zavala-Hurtado, J.A. 2006. Assesing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán Cuicatlán Region in Central México. *Journal of Arid Environments* 64(2).
- Van Devender, T. R., Felger, R. S., Fishbein, M. A. R. K., Molina-Freaner, F. E. Sánchez-Escalante, J. J., y Reina-Guerrero, A. L. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. 229-261 P. En: Molina-Freaner, F. E. y T. R. Van Devender. (Eds.), *Diversidad biológica del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF.
- Vázquez-Yanes, C., Orozco-Segovia, A., Rincón, E. E. A., Sánchez-Coronado, M. E., Huante, P., Toledo, J. R., y Barradas, V. L. 1990. Light beneath the litter in a tropical forest: effect on seed germination. *Ecology*, 1952-1958.
- Villaseñor JL. 2004. Los géneros de las plantas vasculares de la flora mexicana. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75:105-135.

Anexo 1



Área del Centro Ecológico del Estado de Sonora quemada.



*Mammillaria grahamii* quemada.



Anexo 2. Comparación de estudios ecológicos con especies pertenecientes al género *Mammillaria*. Se muestra de izquierda a derecha la especie, su abundancia, distribución espacial, la asociación, localidad, estatus según la Nom-059-SEMARNAT-2010 y la referencia de artículos científicos. Para especies de las que no existen estudios al respecto el recuadro se dejó en blanco.

Especie	Abundancia Individuos/m <sup>2</sup>	Distribución espacial	Asociación	Localidad	Estatus en la NOM	Referencia
<i>M. carnea</i>	1.96	Al azar	<i>Castela tortuosa</i> y <i>Cericidium preacox</i>	Puebla		Rodríguez y Ezcurra, 2001
<i>M. casoi</i>			<i>Castela tortuosa</i>	Puebla		Valiente Banuet et al., 1991
<i>M. collina</i>			<i>Castela tortuosa</i> y <i>Caelsalpinia melanadenia</i>	Puebla		Valiente Banuet et al., 1992
<i>M. gaumeri</i>		Agregada	Sin asociación		P	Leirana y Parra, 1999
<i>M. hamata</i>	0.0280					Navarro Carbajal y Castillo
<i>M. hernandezii</i>				Oaxaca	Pr	Campohermoso, 2007
<i>M. heyderi</i>			<i>Opuntia tunicatay</i> <i>Prosopis laevigata</i>	Sonora		Flores y Manzanero, 2005
<i>M. huitzilopochtli</i>						Muro Pérez et al., 2011
<i>M. kraehenbuehlii</i>	0.0141	Agregada		Oaxaca	Pr	Flores y Manzanero, 2004
<i>M. lasiacantha</i>			Ninguna	Sonora		Flores et al., 2005
<i>M. magnimamma</i>	0.0638	Agregada	Asociación positiva	D.F		Nobel er al., 1986
<i>M. mathildae</i>	0.0161	Agregada	<i>Lysiloma microphylla</i> , <i>Bursera fagaroides</i>		E	Valverde et al., 1999 Hernández-Martínez y Sánchez-Martínez, 2002

Anexo 3. (Continuación) Comparación de estudios ecológicos con especies pertenecientes al género *Mammillaria*. Se muestra de izquierda a derecha la especie, su abundancia, distribución espacial, la asociación, localidad, estatus según la Nom-059-SEMARNAT-2010 y la referencia de artículos científicos. Para especies de las que no existen estudios al respecto el recuadro se dejó en blanco.

Especies	Abundancia Individuos/m <sup>2</sup>	Distribución espacial	Asociación	Localidad	NOM estatus	Referencias
<i>M. microcarpa</i>			Opuntia fulgida	Arizona		McAullife, 1984
<i>M. multigitata</i>				Sonora		Flores et al., 2005
<i>M. myxtax</i>	0.046					Piña y Flores, 2012
<i>M. obconella</i>			Asociación positiva			Valverde et al., 2009
<i>M. oteroi</i>	0.0530	Agregada	<i>Quercus castaneae</i>	Oaxaca	A	Flores-Manzanero et a.l, 2001
<i>M. pectinifera</i>	0.223		Sin asociación	Puebla	A	Valverde y Zavala-Hurtado, 2006
<i>M. solisoides</i>	2.08					Peters y Martorell, 2000
<i>M. thornberi</i>			<i>Ambrosia datoidea</i> y <i>Atriplex polycarpa</i>	Sonora		Paredes Aguilar et al., 2000
<i>M. wildii</i>			Asociación positiva			Flores et al., 2005
<i>M. zephyrantoides</i>	1.41				A	Cortés 2003

Anexo 4. Comparación de estudios de germinación con especies pertenecientes al género *Mammillaria*. El requerimiento de luz es + cuando las semillas requieren de luz (fotoblastismo +). El estatus de la especie según la Norma Oficial Mexicana (Nom-059-SEMARNAT-2010), Pr = protección especial y A= amenazada. Se muestra la referencia de donde se encuentra la información.

Especies	Requerimiento de luz	Requerimiento de agua (MPa)	Requerimiento de Temperatura (°C)	NOM 059	Referencia
<i>M. aureilanata</i>	+			Pr	Rojas Arechiaga y Batis, 2001
<i>M. bocasana</i>	+			Pr	Rojas Arechiaga y Batis, 2001
<i>M. crinita</i>	+			Pr	Rojas Arechiaga y Batis, 2001
<i>M. durispina</i>	+		20		Baskin y Baskin, 1998
<i>M. fuauxiana</i>	+		20 y 35		Baskin y Baskin, 1998
<i>M. guameri</i>	+	0 y -0.2	20 y 30	Pr	Cervera et al., 2006
<i>M. hernandezii</i>	+				Flores y Manzanero, 2003
<i>M. huitzilopochtli</i>	+				Rojas-Arechiaga y Vázquez-Yanes, 2000
<i>M. kraehenbuehlii</i>	+			Pr	Flores y Manzanero, 2003
<i>M. longimamma</i>	+		20°C		Baskin y Baskin, 1998
<i>M. orcuttii</i>	+				Rojas-Arechiaga y Vázquez-Yanes, 2000
<i>M. oteroi</i>	+				Flores y Manzanero, 2003
<i>M. plumosa</i>	+		20°C	A	Rojas-Arechiaga y Vázquez-Yanes, 2000
<i>M. potosina</i>	+				Baskin y Baskin, 1998