



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**Reintroducción de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis*
(Cactaceae) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

RAFAEL CRISTIAN CERVANTES SALCEDO

DIRECTOR DE TESIS: DR. ÁNGEL SALVADOR ARIAS MONTES

ASESOR INTERNO: DRA. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ



México, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADO A:

Mis padres, Rafael y Luisa, por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo y cariño, este es el fruto de sus esfuerzos.

Mi hermana Ana y mi cuñado Alejandro, que en pocos meses recibirán a una hermosa personita.

Mi hermano Ulises, esperando que mi trabajo te inspire a seguir adelante.

Mis abuelos paternos, Rafael y Gema, siempre te llevare conmigo abuelo, fuiste una de las inspiraciones para que yo siguiera por este camino.

Mis abuelos maternos, Pedro y Rosario, gracias por su apoyo, sé que siempre los tendré a mi lado.

A Eréndira y a todos mis primos que son tantos y me llevaría una hoja poner uno por uno.

Mis tíos, Olí y Rubén, que nunca dejaron de creer en mí y siempre me apoyaron.

Cristina, gracias por estar a mi lado en los momentos más divertidos y difíciles, pero te agradezco mas por enseñarme a crecer como persona.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México. A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por el apoyo financiero otorgado por medio del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT, clave IN220608) para la realización de la presente tesis.

Dr. Salvador Arias Montes, por su amistad brindada durante este periodo y haber confiado en mí para la realización de este trabajo, agradezco su paciencia, sus enseñanzas, sus consejos y sus recomendaciones.

Dra. Rosalva García Sánchez, quien me impulso en el camino que sigo el día de hoy y por el apoyo dado en todo momento.

M. en C. Armando Cervantes Sandoval, por su ayuda incondicional, conocimientos y valores.

M. en. C. Balbina Vázquez Benítez, por darme la oportunidad de conocer más a las cactáceas, agradezco su amistad y sus consejos.

Dra. María Socorro Orozco Almanza, a quien agradezco enormemente por haberme facilitado las herramientas y materiales para poder llevar a cabo este trabajo.

A mis compañeros de laboratorio, Daniel, David y Yolanda, por darme su amistad y apoyo desde el primer día que los conocí.

A mis amigos del invernadero de la FES Zaragoza, Dr. Arcadio, Jesica, Eduardo, Marco y Maribel, gracias por su amistad.

A mis amigos incondicionales, Abraham, Jorge y a “Los Charrascas” .

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Generalidades sobre las cactáceas	4
2.2. Asociaciones positivas entre plantas	5
2.3. Reintroducción	6
2.4. <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> .	9
3. OBJETIVOS	13
4. MÉTODO	14
4.1. Zona de estudio	14
4.1.1. Localización	14
4.1.2. Topografía	14
4.1.3. Suelo	16
4.1.4. Vegetación	16
4.1.5. Clima	16
4.2. Material vegetal	16
4.3. Selección del área de reintroducción	17
4.4. Evaluación de condiciones ambientales y edáficas	18
4.5. Medición de caracteres morfológicos	19
4.6. Análisis estadístico	19
5. RESULTADOS	22
5.1. Condiciones edáficas	22
5.2. Microclima	22
5.2.1. Radicación fotosintéticamente activa (RFA)	22
5.2.2. Humedad relativa (%HR)	25
5.2.3. Temperatura	28
5.3. Supervivencia	31
5.4. Incremento en diámetro y altura por disponibilidad de agua	33
5.5. Características de espinas	35
5.6. Fenología de floración y fructificación	37
6. DISCUSIÓN	39
6.1. Condiciones edáficas	39
6.2. Microclima	39
6.3. Supervivencia	42
6.4. Incremento en diámetro y altura por disponibilidad de agua	45
6.5. Características de espinas	45
6.6. Fenología de la floración y fructificación	46
CONCLUSIONES	48
LITERATURA CITADA	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especies del Género <i>Mammillaria</i> pertenecientes a la serie <i>Supertextae</i> reconocidas por dos autoridades científicas.	11
Cuadro 2. Descripción de los diferentes microambientes presentes en la REPSA.	15
Cuadro 3. Lista de caracteres evaluados de <i>M. haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i>	19
Cuadro 4. Características físicas y químicas de muestras de suelo para las tres condiciones.	22
Cuadro 5. Media y error estándar de la RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	23
Cuadro 6. Media y error estándar de la RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	24
Cuadro 7. Media y error estándar para la humedad relativa (%) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	26
Cuadro 8. Media y error estándar para la humedad relativa (%) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	27
Cuadro 9. Media y error estándar para la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	29
Cuadro 10. Media y error estándar para la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	30
Cuadro 11. Análisis de varianza de medidas repetidas para el efecto de las condiciones, sobre el incremento en altura de las plantas.	33
Cuadro 12. Análisis de varianza de medidas repetidas para el efecto de las condiciones, sobre el incremento en diámetro de las plantas.	34
Cuadro 13. Fenología floral de <i>M. haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i>	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> A) tallo, B) espinas, C) Flores.	12
Figura 2. Ubicación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.	14
Figura 3. Climograma que muestra los datos de precipitación y temperatura correspondientes al periodo 1963 -2009.	17
Figura 4. Condiciones microambientales A) Planta nodriza, B) promontorio, C) plano.	22
Figura 5. Gráfica de medias de la incidencia de la RFA para la época de A) lluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.	24
Figura 6. Gráfica de medias de la de la incidencia de la RFA para diferentes meses.	25
Figura 7. Gráfica de medias de la humedad relativa para la época de A) lluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.	27
Figura 8. Gráfica de medias de la humedad relativa para diferentes meses.	28
Figura 9. Gráfica de medias de la temperatura para la época de A) lluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.	30
Figura 10. Gráfica de medias para la temperatura en diferentes meses.	31
Figura 11. Supervivencia de plantas de <i>M. haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> después de 1 año de reintroducción en su ambiente natural, bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	32
Figura 12. Función de supervivencia de plantas de <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> mediante el estimador Kaplan-Meier bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	32
Figura 13. Gráfica de medias del incremento en altura de <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	34
Figura 14. Gráfica de medias del incremento en diámetro de <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).	35
Figura 15. Diagramas para el patrón de espinación A) central y B) radial presentes en plantas de <i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> bajo tres diferentes condiciones A) planta nodriza (PN), B) promontorio (PR) y C) plano (PL).	36
Figura 16. Flores de <i>M. haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i> A) planta en floración y B) medidas de una flor.	38

1. INTRODUCCIÓN

Ubicado en la zona Sur de la Ciudad de México, el Pedregal de San Ángel surgió hace aproximadamente 1670 años por la erupción del volcán Xitle, provocando que las lavas descendieran por las laderas del Ajusco hasta llegar a las planicies del Valle de México donde cubrió un área de unos 80 Km² (Siebe, 2009).

En este nuevo paisaje de roca volcánica inerte, donde han tenido lugar etapas sucesionales lentas debido a los procesos de pedogénesis, han surgido complejos mosaicos en la vegetación como son las asociaciones de pino-encino y el matorral xerófilo, los cuales se distribuyen en gradientes altitudinales que van de los 2,250 a 3,500 m (Rzedowski, 1954; Cano-Santana y Meave, 1996; Castillo-Argüero *et al.*, 2004).

Debido a las presiones de urbanización que esta zona ha sufrido durante los últimos 60 años, el ecosistema ha presentado una rápida fragmentación, donde posiblemente se ha perdido más del 70% del Pedregal. Aunque las medidas para proteger estas áreas se han hecho a destiempo, los esfuerzos de conservación han podido mantener alguno de estos pequeños remanentes. En la Ciudad de México existen áreas naturales protegidas que se encuentran dentro o cerca del derrame del Xitle, como son: EL Parque Ecológico de la Ciudad de México, Ecoguardas, Fuentes Brotantes, Bosque de Tlalpan, Predio “Los Encinos”, Cerro Zacaltépetl, Cuicuico, así como la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) (Cano-Santana *et al.*, 2006).

La REPSA fue establecida el 30 de septiembre de 1983 por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Valiente-Banuet y de Luna, 1990). Se localiza dentro de Ciudad Universitaria, y actualmente cuenta con una superficie de 237 hectáreas dividida en dos zonas; la zona núcleo con una superficie de 171 hectáreas y la zona de amortiguamiento con una superficie de 66 hectáreas que corresponden al 33% del área total de Ciudad Universitaria (Lot, 2008).

Se han realizado distintos estudios faunísticos y florísticos dentro de la REPSA, entre los que destaca el realizado inicialmente por Rzedowski (1954), sobre la caracterización de las comunidades vegetales, el cual se llevó a cabo antes de la creación de la REPSA. El estudio abarcó todo el Pedregal de San Ángel y se realizó cuando el sistema aun mostraba una gran parte de su extensión y sus características biológicas que no tenían alteración alguna. Estudios florísticos recientes han dado información sobre

el número de especie, el cual se estima en un total de 337, de las cuales, solo 187 habían sido consignadas en el trabajo pionero de Rzedowski (1954) (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; 2009).

Uno de los taxa presentes en la REPSA es la Familia Cactaceae. Las cactáceas son un grupo de plantas nativas del Continente Americano con una excepción, *Rhipsalis baccifera*, una especie epífita que se distribuye en África, Madagascar, islas del Océano Índico y en Sri Lanka (Anderson, 2001). Diversos estudios taxonómicos indican que en México se encuentra la mayor diversidad de especies de cactáceas (Arias, 2009), con 63 géneros presentes en el territorio de los cuales 23 géneros, 518 especies y 206 subespecies son endémicas (Guzmán *et al.* 2003). Para el Valle de México se han reportado 61 especies de cactáceas (Scheinvar, 1985).

En particular el Pedregal de San Ángel alberga 4 géneros y 11 especies de cactáceas (Arias, 2009). Entre los géneros presentes en la REPSA está *Mammillaria*, el cual es uno de los más grandes y estudiado, como resultado de su interés por parte de los científicos y su gran popularidad entre los aficionados (Anderson, 2001).

Dentro de la REPSA se distribuyen dos especies de *Mammillaria*, *M. magnimamma* y *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, de los cuales el segundo se ha estudiado escasamente. Sánchez-Mejorada (1981) describió a esta especie como endémica del Pedregal de San Ángel, donde se desarrollaba abundantemente entre la roca basáltica del derrame del Xitle, interactuando con la biota del pedregal. Sin embargo, se estima que en el periodo de tiempo desde el estudio de Rzedowski (1954) hasta la actualidad, sus poblaciones se han reducido a niveles extremos, debido a la fragmentación de su hábitat y al resultado de la colecta indiscriminada por su carácter ornamental (Rubluo *et al.*, 1993; Arias, 2009). Por este motivo se encuentra en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010).

Se conocen muy pocos datos sobre la biología de este taxón en la REPSA, y menos aún sobre la manera en la que sus poblaciones se han visto afectadas por la reducción del área y el aumento en la frecuencia e intensidad de disturbios del ecosistema en el que habita. No se cuenta con datos sobre el tamaño de la población de la reserva y no se conoce nada sobre su actividad reproductiva, su dinámica poblacional, sus tasas de crecimiento individual y el tipo de microambiente que ocupa (Valverde y Chávez, 2009). Tomando en cuenta que esta zona se considera como reserva ecológica a

partir de 1983 y que cuenta con un plan de manejo, será relevante evaluar algunos elementos ecológicos para evaluar la reintroducción de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* en su ambiente original.

2. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades sobre las cactáceas

Las cactáceas son un grupo de plantas que han desarrollado diversas adecuaciones estructurales y fisiológicas para el mejor aprovechamiento de la humedad, por lo que se considera que están adaptadas para vivir en ambientes estresantes, como son las zonas áridas y semiáridas. Además, la interacción que tienen con factores bióticos o abióticos, han definido en gran medida su éxito ecológico y evolutivo, si consideramos que son las zonas áridas y semiáridas donde se encuentra el mayor número de especies de cactáceas (Grime, 1977; Bravo-Hollis, 1978).

Los factores abióticos se pueden dividir en dos grandes grupos: (a) los físicos, como el estrés por déficit de agua, altas-bajas temperaturas y la exposición a la radiación; y (b) los químicos, donde los más recurrentes son la contaminación por metales pesados, toxinas y salinidad entre otros (Tambussi, 2004).

Para hacer frente a estos eventos las cactáceas han desarrollado estrategias para reducir sus requerimientos de agua, entre los cuales podemos mencionar el metabolismo ácido en las crasuláceas (CAM, por sus siglas en inglés) el cual permite a las cactáceas realizar el intercambio de CO₂ durante la noche, mientras en el día los estomas se cierran previniendo la pérdida de agua e impidiendo la adquisición de CO₂ (Gibson y Nobel, 1986). Adicionalmente, los tallos por lo general tienen un amplio parénquima para almacenar considerables volúmenes de agua y por consiguiente ayuda a las plantas a soportar grandes periodos de sequía (Gibson y Nobel, 1986). Adicionalmente, debido a la presencia de diferentes tipos y densidades de espinas, tricomas, pubescencias sobre el tallo y acumulaciones de ceras sobre la cutícula, las cactáceas pueden evitar la incidencia de la radiación solar como es la radiación de onda corta (Gibson y Nobel, 1986), en la que se incluye la radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR, por sus siglas en inglés) que a altas cantidades pueden causar una fotoinhibición (Nobel, 1998). También, por medio de varios mecanismos, especialmente a través de características morfológicas y rasgos arquitectónicos en las hojas (cuando existen) y tallos, las cactáceas pueden modificar la temperatura en el tallo y ápice evitando que los tejidos vegetativos y de reproducción sufran daños (Nobel, 1998)

Dentro de los factores estresantes bióticos se puede mencionar la competencia entre plantas, la cual es provocada por una exigencia compartida de un recurso, y que conduce a una reducción en la supervivencia, crecimiento y la reproducción de por lo menos alguno de los individuos que compiten en cuestión (Begon *et al.*, 2006). Otro factor estresante recurrente es la herbivoría, la cual está asociada a la destrucción parcial o total de la biomasa vegetal (Grime, 1979). Para evitar el posible daño de herbívoros como roedores o mamíferos las cactáceas presentan como primera línea de defensa una capa de espinas, pero no suelen ser efectivas frente a invertebrados que pueden evadir a las espinas, por ello presentan diferentes tipos de inclusiones minerales, como oxalatos de calcio, cristales (p. ej., prismáticos, aciculares, drusas) y cuerpos de sílice en la epidermis e incluso pueden presentar sustancias químicas que llegan a ser fatales para los herbívoros (Gibson y Nobel, 1986).

2.2. Asociaciones positivas entre plantas

La facilitación es uno de los procesos más importantes para la supervivencia, crecimiento y reproducción de algunas plantas, así como para la diversidad y la dinámica de las comunidades vegetales, especialmente en ambientes estresantes. Estudios realizados en cactáceas han contribuido enormemente a cambiar la comprensión de cómo opera la facilitación, en particular en zonas áridas y semiáridas. En estos ambientes la estructura de ciertas comunidades está determinada en gran medida por las relaciones de facilitación, como el nodricismo (Callaway, 1995; Hacker & Gaines 1997; Munguía-Rosas y Sosa, 2008).

El nodricismo es la relación que se da entre arbustos perennes y otras plantas incluyendo las cactáceas que se resguardan bajo su sombra, donde se crea un microambiente con las condiciones físicas adecuadas que favorece la germinación de las semillas y facilita el establecimiento de las plántulas (Bravo-Mendoza *et al.*, 2007).

En general, la relación nodriza-protégido muestra un balance costo-beneficio favorable para el protegido. La interacción comienza con beneficios para el protegido en las primeras etapas de su desarrollo, cuando las plántulas realizan la fotosíntesis vía C3 y requieren la protección de las duras condiciones abióticas (Mandujano *et al.*, 2002), así mismo puede servir de refugio para evitar la herbivoría (McAuliffe, 1984). Sin embargo, en etapas posteriores del ciclo de vida, el protegido debe pagar el beneficio de establecimiento con disminución del ritmo de crecimiento debido a la

competencia por la luz y el agua con la planta nodriza. Algunos arbustos de hoja caduca (p.ej., *Mimosa luisana* y *Prosopis laevigata*) y algunas especies de cactáceas como es el caso del género *Cylindropuntia* también facilitan el establecimiento y confieren protección frente a factores bióticos y abióticos en determinados momentos del año (McAuliffe, 1984; Mandujano *et al.*, 2002).

Los estudios de germinación y supervivencia de plántulas de cactáceas en condiciones naturales han demostrado que la presencia de plantas nodrizas es necesaria para el éxito de reclutamiento de nuevos individuos (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003).

La asociación con plantas nodrizas ha sido ampliamente documentada entre cactáceas (Shreve, 1910; Turner *et al.*, 1966; Nabhan, 1975; Nobel, 1980; McAuliffe, 1984; Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Stiling *et al.*, 2000; Reyes-Olivas *et al.*, 2002; Zúñiga *et al.*, 2005). Sin embargo, además del nodrizaje biótico, como sucede con las plantas nodrizas, también hay referencias de nodrizaje abiótico cuando se asocia a las rocas, ya que un microambiente similar al que se encuentra bajo las plantas nodrizas puede ser generado en las cavidades de las rocas. Esto significa que las abundantes rocas en los matorrales abiertos pueden sustituir el sombreado de arbustos sin interferir con la radiación requerida por una planta adulta. Las rocas también mejoran la disponibilidad de agua y la temperatura en la superficie del suelo lo que favorece el establecimiento de las cactáceas (Munguía-Rosas y Sosa, 2008; Peters *et al.*, 2008).

2.3. Reintroducción

El termino reintroducción implica la reposición de plantas de interés especial en la localidad de registro (Fiedler y Laven, 1996), donde dicho interés está relacionado con las especies en peligro de extinción (Pavlik, 1996). Por lo tanto, este término es generalmente utilizado en los proyectos de conservación para cumplir un mismo objetivo general: disminuir la probabilidad de extinción y fomentar la recuperación de una especie en riesgo, en particular mediante la creación de una nueva población autosuficiente (Pavlik, 1996).

Para llevar a cabo una reintroducción es necesario elegir el mejor sitio, para lo cual se han señalado cuatro criterios básicos a considerar: a) los físicos que abarcan las condiciones ambientales requeridas por la especie; b) los biológicos que involucran a las especies que pudieran interactuar con la planta a reintroducir como por ejemplo polinizadores, herbívoros y plantas nodriza, entre otros, que pudieran

influir en el desarrollo y establecimiento de la planta; c) los logísticos que implican la accesibilidad al sitio por parte de individuos ajenos al proyecto y que puedan causar algún daño, así como también el acceso adecuado al personal encargado del monitoreo; y d) los históricos que involucran tanto el conocer los sitios de las poblaciones originales para la comparación con los sitios potenciales, como para asegurar el cambio evolutivo (Fiedler y Laven, 1996).

Por consiguiente, es importante tener claros los objetivos que se quieren alcanzar, entre ellos se consideran cuatro: abundancia, extensión, resiliencia y persistencia. En la abundancia se monitorea el establecimiento, crecimiento vegetativo, fecundidad y tamaño de la población. La extensión se refiere a la dispersión de la especie, el número de poblaciones y su distribución. La resiliencia contempla variabilidad genética y resistencia a perturbaciones. En cuanto a la persistencia esta toma en cuenta la autosustentabilidad de la especie y la variación del micro-hábitat. Los puntos antes señalados son vitales para evaluar el éxito de la reintroducción, pues la mayoría de la literatura relacionada con este tema es deficiente en cuanto a la aplicación de un criterio válido para la evaluación del éxito del proyecto (Fiedler y Laven, 1996).

Los esfuerzos de reintroducción de cactáceas han sido escasos, pero de notable interés. Por ejemplo, Olwell (1990) trabajó con *Pediocactus knowltonii*, una especie endémica de Nuevo México, E. U. A., y que se encuentra en peligro de extinción de acuerdo a la U.S. Fish and Wildlife Service (FWS). En este estudio se señala la importancia de seleccionar un sitio específico de reintroducción, tomando en cuenta que éste debe presentar las mismas condiciones bióticas y abióticas de la localidad tipo, mismo que debe estar bajo la protección de la administración federal de los E. U. A. para evitar las actividades antropogénicas que pudieran afectar a la especie. Dentro de los resultados obtenidos destaca una tasa de supervivencia de 83% con un crecimiento promedio del diámetro de 5mm, también se observó la floración y la fructificación, sugiriendo que el entorno fue favorable.

Otro caso fue el de Stiling *et al.* (2000) quienes realizaron un estudio con *Opuntia corallicola*, cactácea que presenta una distribución restringida a la zona de los Cayos, Florida, E. U. A., y es considerada candidata a ser enlistada como especies en peligro de extinción de la FWS. En el sitio referido sólo se registraron 14 plantas, de las cuales se colectaron cladodios para su propagación y reintroducción. En dicho trabajo se evaluó el crecimiento vegetativo en condiciones de sombra proporcionada por el bosque y su desarrollo en exposición a la luz directa. En su estudio mostraron una mortalidad de

34.4% atribuida principalmente a la presencia de una bacteria no identificada, además no se encontró diferencias significativas entre tratamientos con respecto al crecimiento, pero si se encontró interacciones significativas de los tratamientos con el tiempo donde la condición con sombra presento un crecimiento mayor.

Por su parte, Coronel (2002) llevó a cabo la reintroducción de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* (= *O. galapageia*) en las Islas Galápagos de donde es endémica, y enlistada como especie en peligro para Ecuador (Valencia *et al.*, 2000) y amenazada según el Libro Rojo de la IUCN (2011). En el trabajo se utilizaron cladodios obtenidos de poblaciones presentes en la isla y plántulas que se obtuvieron mediante germinación *ex-situ*. Se evaluó el crecimiento vegetativo y la supervivencia de acuerdo a cuatro tratamientos que contemplaban la protección artificial y el riego. En el estudio se encontró una mayor supervivencia de plántulas que tenían protección y riego, así como una mayor mortalidad por predación, no hubo diferencias significativas en los tratamientos para el crecimiento vegetativo en altura y diámetro.

Mayo (2003) realizó la reintroducción de *Coryphantha elephantidens*, una especie amenazada de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT-2010), o en preocupación menor según el Libro Rojo de la IUCN (2011). El autor realizó una propagación *in vitro* a partir de tres ejemplares, las plántulas generadas tuvieron un periodo de aclimatación y de acuerdo al tiempo fueron llevadas a campo para ser trasplantadas en dos sitios: bajo nodriza y en cielo abierto. Los resultados muestran una supervivencia del 100% en plántulas con una aclimatación de 4 meses tanto para aquellas ubicadas con nodriza como las colocadas a cielo abierto.

Por su parte, García-Rubio y Malda-Barrera (2010) hicieron estudios sobre *Mammillaria mathildae*, una especie endémica de Querétaro, México, considerada en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) y vulnerable según el Libro Rojo de la IUCN (2011). Después de propagarlas *in-vitro*, los individuos tuvieron un periodo de aclimatación en invernadero y posteriormente reintroducidos en la región de Cañada Juquila, de donde es originaria la especie. En dicho trabajo se evaluó la reintroducción tomando como base la supervivencia de la planta durante 5 meses la cual fue menor a 50%.

2.4. *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis*.

Datos taxonómicos

El género *Mammillaria* fue descrito por Linneo en su “*Species Plantarum*” de 1753 como *Cactus mammillaris*, pero es hasta 1812 que Adrian Hardy Haworth, en su “*Synopsis Plantarum Succulentarum*”, describe al género con la especie tipo *Mammillaria simplex*.

Sobre el género *Mammillaria* Hunt (2006) lo divide en ocho subgéneros. El subgénero *Mammillaria* cuenta a su vez con tres secciones, de las cuales una corresponde a *Subhydrochylus*, que a su vez se divide en cuatro series. Una de esas series es *Supertexta* donde se ubica *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* (Cuadro 1). Este taxón fue conocido tiempo atrás como *Mammillaria elegans*, nombre descrito por De Candolle (1828) a partir de ejemplares enviados por Thomas Coulter. Sin embargo, no menciona lugar de origen ni se preservó material original, por lo que Hunt (1977) llegó a la conclusión de que el nombre *Mammillaria elegans* DC. constituye un nombre dudoso (*nomen dubium*) y fuente de continuo error (*nomen confusum*), por ello rechazó el nombre de *M. elegans*. Es ante dicho rechazo que Sánchez-Mejorada (1981) propuso el nombre *Mammillaria san-angelensis*, aludiendo a la restringida zona donde ésta se distribuye. Más adelante, Hunt (2006) reubicó a este taxón como subespecie de *Mammillaria haageana*.

Nombre científico: *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* (Sánchez-Mej.) D.R.Hunt, 1997 (Figura 1).

Sinonimias:

- *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mej., 1981.
- ?*Mammillaria dealbata* A. Dietr., 1846, *nom. confusum*
- *Neomammillaria dealbata* Britton & Rose, 1923.
- *Mammillaria elegans* DC. var. *dealbata* K. Schum ex R.T. Craig, 1945.

Plantas simples, rara vez con ramificaciones basítonas. **Tallo** 60-120 mm de alto, 40-70 mm de diámetro, globosos, verde claro, jugo semilechoso (Figura 1A); **tubérculos** 7 mm de alto, 4 mm de ancho, dispuestos en 13 y 21 series espiraladas, prácticamente cónicos, axilas de provistas de abundante lana blanquecina, caduca con el tiempo; **aréolas** ovaladas, pequeñas; **espinas radiales** 5-7

mm de longitud, de 18 a 20, aciculares, blanco vítreo, con la base ligeramente ensanchada, amarillenta, horizontalmente extendidas hasta algo adpresas (Figura 1B); las 3 inferiores horizontalmente divergentes; las laterales, 6 o 7 a cada lado de la aréola, dispuestas en forma casi pectinada; las restantes 1 a 3, dispuestas en el ápice de la aréola, divergentes y algo ascendentes. **Espinas centrales** 5-6 mm de longitud, generalmente 2, delgadamente subuladas, con la base ligeramente bulbosa, amarillo intenso, la superior porrecta o casi así, la inferior reflejada, blanco vítreo, a veces con la punta de color pardo hasta negruzco (Figura 1B). **Flores** 12 a 14 mm de longitud, campanuladas, brotando en corona en la zona de transición de la parte cilíndrica del tallo a la redondeada del ápice; segmentos exteriores del perianto oblanceolados, de color castaño rosado con tintes verdosos hacia la base y purpúreos hacia el ápice, con la línea media más oscura (Figura 1C); segmentos interiores del perianto linear oblongos, con el ápice desde obtuso hasta brevemente acuminado, de color carmesí rosado; filamentos blanco amarillentos; anteras amarillas; estilo blanco amarillento, a veces con tinte rosado; lóbulos del estigma 3 o 4, blanco amarillentos. Fruto claviforme, rojo; semilla piriforme, testa pardo amarillenta (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Hábitat: Crece en rocas basálticas del derrame de lava del Volcán Xitle, asociada a *Mammillaria magnimamma*, *Pittocaulon praecox*, *Selaginella lepidophylla*, entre otras (Sánchez-Mejorada, 1981).

Rubluo *et al.* (1993) llevaron a cabo la propagación *in vitro* de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* con el objetivo de obtener un mayor número de individuos, los cuales fueron aclimatados bajo un invernadero, se eligieron 47 plantas y se dividieron en 4 lotes para ser trasplantados en el área de exhibición del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM (IB UNAM). El trasplante fue realizado en mayo de 1986 durante el comienzo de la época de lluvias. Dentro de los resultados de supervivencia solo se perdieron 4 individuos, los cuales fueron extraídos ilegalmente. También se evaluó el crecimiento vegetativo y la fenología de la planta, todo esto fue evaluado durante tres años. En el trabajo no se menciona si el sitio de reintroducción presentaba las características de la comunidad vegetal del matorral xerófilo de *Pittocaulon praecox*, tampoco se evaluaron los diferentes microambientes que existen dentro de la REPSA, teniendo en cuenta la importancia que puede tener la heterogeneidad espacial dentro del área, es importante evaluar las variables que pudieran influir en el establecimiento y desarrollo de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, esto para tener un mejor conocimiento sobre la ecología y biología de esta especie.

Cuadro 1. Especies del Género *Mammillaria* pertenecientes a la serie *Supertextae* reconocidas por dos autoridades científicas.

Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991)	Hunt (2006)
<i>M. huitzilopochtli</i>	<i>M. huitzilopochtli</i>
<i>M. lanata</i>	<i>M. supertexta</i>
<i>M. albilanata</i>	<i>M. albilanata</i>
<i>M. supertexta</i>	<i>M. supertexta</i>
<i>M. crucigera</i>	<i>M. crucígera</i>
<i>M. dixanthocentron</i>	<i>M. dixanthocentron</i>
<i>M. vaupelii</i>	<i>M. haageana</i>
<i>M. haageana</i>	<i>M. haageana</i>
<i>M. collina</i>	<i>M. haageana</i> subsp. <i>elegans</i>
<i>M. donatii</i>	<i>M. haageana</i>
<i>M. san-angelensis</i>	<i>M. haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i>
<i>M. martinezii</i>	<i>M. supertexta</i>
<i>M. fuauxiana</i>	<i>M. albilanata</i> subsp. <i>albilanata</i>
<i>M. conspicua</i>	<i>M. haageana</i> subsp. <i>conspicua</i>
<i>M. halbingeri</i>	<i>M. halbingeri</i>
<i>M. flavicentra</i>	<i>M. flavicentra</i>
<i>M. tegelbergiana</i>	<i>M. albilanata</i> subsp. <i>tegelbergiana</i>
<i>M. reppenhagenii</i>	<i>M. albilanata</i> subsp. <i>reppenhagenii</i>
<i>M. ruestii</i>	<i>M. columbiana</i> subsp. <i>yucatanensis</i>
<i>M. yucatanensis</i>	<i>M. columbiana</i> subsp. <i>yucatanensis</i>



Figura 1. *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* A) tallo, B) aréolas y espinas, C) flores.

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

Reintroducir *M. haageana* subsp. *san-angelensis* en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Objetivos particulares:

1. Evaluar diferentes microhábitats en la reintroducción de este taxón, en particular en condiciones de planta nodriza, promontorio y plano.
2. Evaluar la contribución de tres factores físicos (radicación fotosintéticamente activa, humedad y temperatura) en la supervivencia de este taxón en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.
3. Registrar los procesos fenológicos de las plantas reintroducidas durante un año.

4. MÉTODO

4.1. Zona de estudio

4.1.1. Localización

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel se encuentra situada en Ciudad Universitaria, al suroeste de la Ciudad de México. Sus coordenadas geográficas son 19°18'21" - 19°20'11" latitud Norte y 99°10'15" - 99°12'4" longitud Oeste, a una altitud de 2292 a 2365 m s.n.m (Castillo-Argüero *et al.*, 2004) (Figura 2).

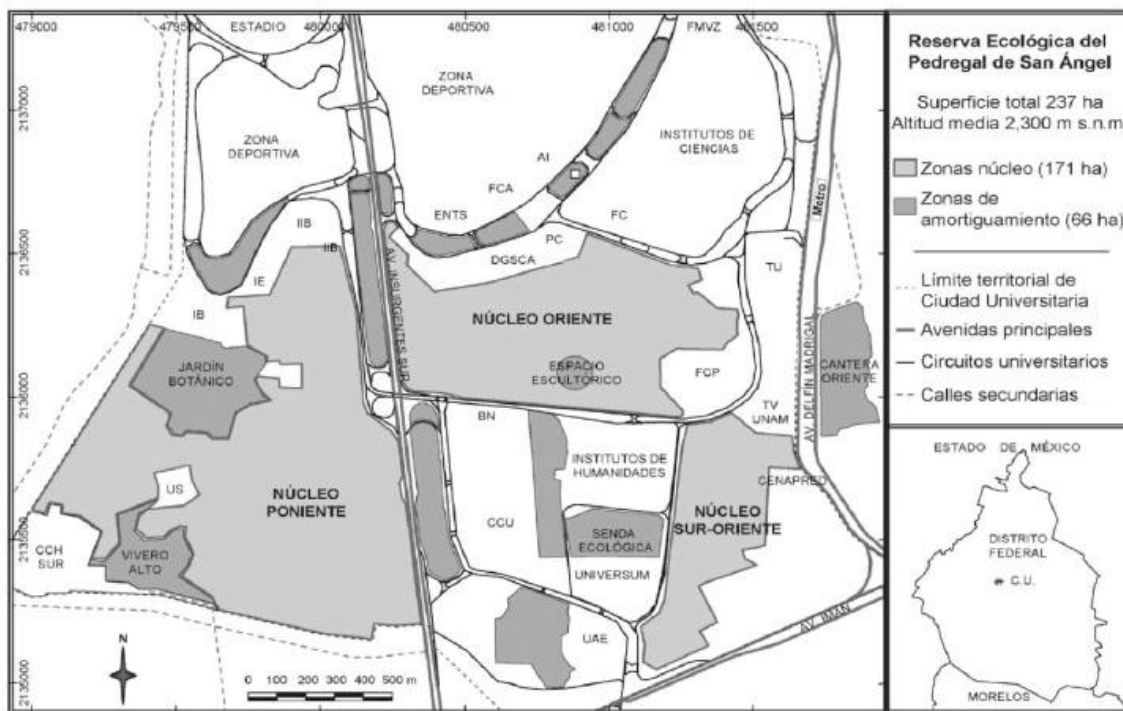


Figura 2. Ubicación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Santibáñez-Andrade *et al.*, 2009)

4.1.2. Topografía

La heterogeneidad creada por el enfriamiento diferencial de la lava, expulsada por el volcán Xitle, generó diversos microambientes. Dentro de este marco se pueden distinguir diferentes tipos (Castillo-Argüero *et al.*, 2004) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los diferentes microambientes presentes en la REPSA (Castillo-Argüero *et al.*, 2007).

Microambiente	Descripción
Planos	Micrositios de rocas expuestas y planas, presentan poca acumulación de suelo y hojarasca. La incidencia solar y la evaporación son altas.
Oquedades	Micrositios con cavidades variables en forma, tamaño y profundidad, la acumulación de hojarasca y suelo es diferencial. La incidencia solar es baja, dependiendo de la orientación, y la humedad es relativamente alta.
Grietas	Micrositios donde las rocas tienen fracturas o fisuras que varían en amplitud y profundidad, en el fondo se acumula suelo y hojarasca. Recibe poca incidencia solar y mantiene alta humedad.
Paredes	Sitios con muros rocosos cuyo ángulo de inclinación oscila entre 70° y 90°, la acumulación de suelo es escasa. La incidencia solar depende de su orientación.
Hondonadas	Micrositios cóncavos más anchos que profundos, pero de diferente tamaño; pueden ser muy abruptos en su interior. La acumulación de suelo y hojarasca es alta. La incidencia solar es mayor en la parte central y disminuye en los bordes.
Promontorios	Micrositios elevados con roca expuesta, fragmentada o en plancha, donde se acumula poco suelo y hojarasca. La incidencia solar y la evaporación son altas.
Cuevas	Micrositios de tamaño y profundidad variable, pero mayor que las oquedades, donde la acumulación de suelo y hojarasca es escasa. La incidencia solar es baja y la humedad alta.

4.1.3. Suelo

Los suelos son principalmente de origen eólico y orgánico; también pueden ser generados por acarreos aluviales y humanos. El suelo puede depositarse en toda clase de grietas, fisuras y depresiones. Los suelos son arenoso-limosos, moderadamente ácidos, contienen grandes cantidades de materia orgánica, potasio y calcio, son pobres en nitrógeno y fósforo disponibles, lo que se explica por la abundante materia orgánica (Rzedowski, 1954).

4.1.4. Vegetación

La vegetación presente en la Reserva Ecológica corresponde al matorral xerófilo y su flora está constituida por 337 especies, pertenecientes a 74 familias y 193 géneros (Castillo-Argüero *et al.*, 2004). El Pedregal de San Ángel es característicamente estacional, por lo que la aparición de muchas especies herbáceas anuales y efímeras ocurre sólo en la temporada de lluvias (Cano-Santana, 1994). Se le denomina una asociación *Senecionetum praecosis*, debido a que la especie más conspicua es *Pittocaulon (Senecio) praecox* que ocupa toda la porción baja del Pedregal a 2250 m.s.n.m. y cubre aproximadamente la mitad de la superficie original del derrame (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1979).

4.1.5. Clima

El Pedregal de San Ángel presenta un clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano [Cb (w1)(w)] (García, 1988). En el Pedregal de San Ángel existe una estacionalidad muy marcada con una temporada de secas (de noviembre a mayo) y una lluviosa (de junio a octubre) (Rzedowski, 1954)(Figura 3). Presenta una precipitación total anual de 854 mm y la temperatura media anual es de 16 C°.

4.2. Material vegetal

Rublo *et al.* (1993) realizaron la propagación *in-vitro* de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis*, esto como una estrategia para tratar de recuperar al taxón. Un lote de plantas fue obsequiado a la colección de cactáceas del Jardín Botánico, IB UNAM, de este lote se seleccionaron 89 plantas que fueron utilizadas en el presente proyecto.

4.3. Selección del área de reintroducción

La reintroducción de las plantas se realizó en la zona de amortiguamiento A10 de la REPSA correspondiente al Jardín Botánico, IB UNAM, este sitio fue elegido de acuerdo al rango histórico de distribución de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis*. Dentro de esta zona se eligieron 2 sitios para la reintroducción; el sitio 1 se encuentra a 19°19'01" norte y 99°11'37" oeste y el sitio 2 se encuentra a 19°19'10" norte y 99°11'33" oeste.

Dentro de estos dos sitios se evaluaron tres condiciones microambientales: planta nodriza, promontorio y plano a fin de ser usadas como los microambientes donde se trasplantaron los diferentes lotes de plantas (Figura 4).

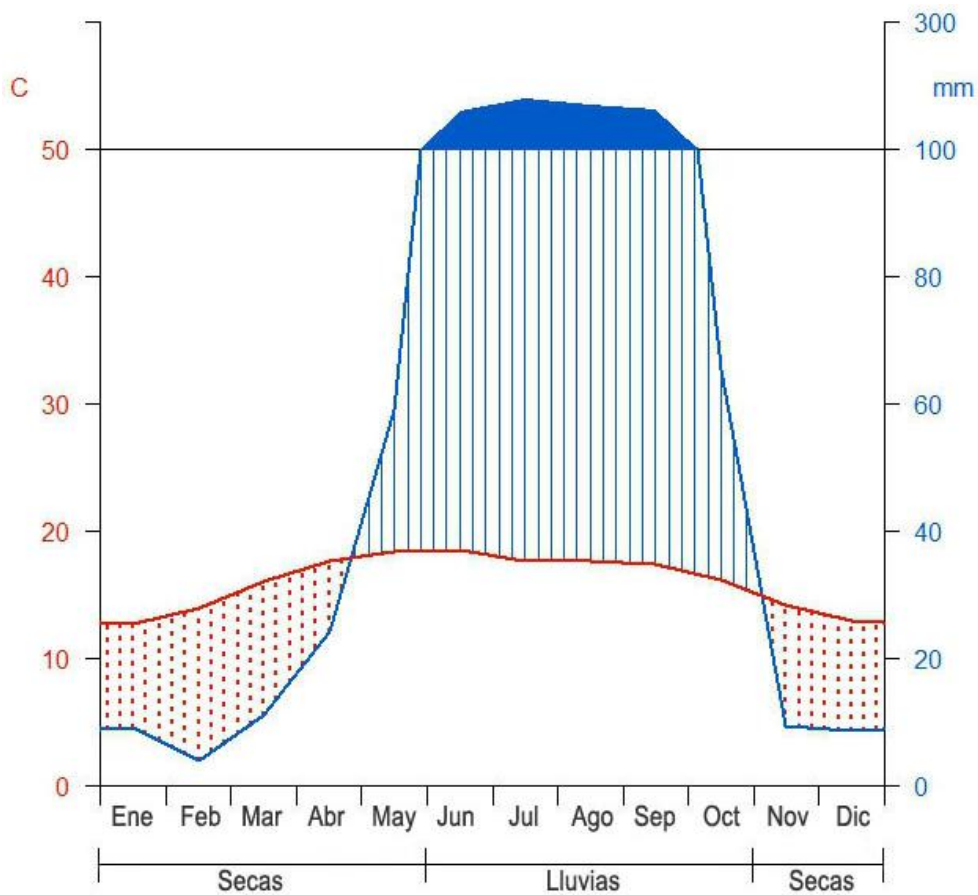


Figura 3. Climograma que muestra los datos de precipitación y temperatura correspondientes al periodo 1963 - 2009 (Fuente: Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM). Temperatura media mensual en línea roja, precipitación total mensual en línea azul.

Planta nodriza: Se seleccionaron especies vegetales bien representada en el área de reintroducción, en este caso se eligieron dos especies del género *Opuntia* (*O. tomentosa* y *O. streptacantha*). Las especies seleccionadas tuvieron una altura promedio de 1.50 metros a fin de que éstas proporcionen sombra y se buscaron individuos aislados a fin de que no influya en las condiciones de nodrizaje (Figura 4A).

Plano: Se eligieron micrositios de preferencia horizontales que no presentaran ninguna cubierta vegetal y tampoco sombra de alguna especie arbórea, también se considero que presentaran una pequeña acumulación de suelo de mas de 1 cm. Se evitaron caminos (Cuadro 2; Figura 4C).

Promontorio: Se eligieron elevaciones rocosas de menos de 1 m de altura, que presentaran una cavidad la cual proporcionara a la planta las condiciones microclimáticas favorables para su establecimiento, también se evitó la presencia de alguna otra especie arbórea (Cuadro 2; Figura 4B).

El trasplante de los individuos se llevó a cabo a finales del mes de junio que es el mes donde empieza la época de lluvias (Figura 3). A las plantas se les asigno un número al azar e igualmente se les asigno la zona de reintroducción, en el sitio 1 se trasplantaron 30 plantas y en el sitio dos se trasplantaron 59 individuos, esto se hizo colocando las plantas de la maceta al microambiente seleccionado sin agregar sustrato extra y sin fertilizar. Se realizaron mapas de los sitios de reintroducción para la ubicación de las plantas trasplantadas.

4.4. Evaluación de condiciones ambientales y edáficas

Se llevaron a cabo las evaluaciones microclimáticas mensualmente con el fin de que se abarcaran las diferentes condiciones del año que correspondieron a la época de secas y lluvias. En cada fecha se procedió a registrar en áreas bajo el dosel de las plantas nodrizas, en promontorio y plano los valores de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA o PAR por sus siglas en inglés) por medio de un ceptometro (AccuPAR LP-80), así como temperatura ambiental y el porcentaje de humedad relativa con la ayuda de un aparato térmico combinado (Hygrolog-D). Los registros para estas condiciones ambientales se realizaron a las 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm a fin de abarcar los puntos críticos de temperatura y luz del día. Las lecturas bajo el dosel de las plantas nodrizas se tomaran solo donde se estableció la planta.

Se evaluaron las condiciones del suelo como el pH, materia orgánica y textura de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Ya que existe poca acumulación de suelo en los diferentes microambientes las muestras se tomaron superficialmente haciendo muestras compuestas.

4.5. Medición de caracteres morfológicos

En mayo de 2011 se registraron los caracteres correspondientes al cuadro 3. La segunda medición se realizó en agosto del mismo año y a partir de esta fecha las mediciones se hicieron mensualmente hasta junio del 2011. Para la medición de los caracteres cualitativos se utilizó un Vernier electrónico.

Cuadro 3. Lista de caracteres evaluados de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*

Caracteres cuantitativos
1. Altura del tallo
2. Diámetro del tallo
3. Numero de espinas radiales
4. Longitud de espinas radiales
5. Numero de espinas centrales
6. Longitud de espinas centrales
7. Patrón de espinación
8. Numero de flores
9. Longitud de la flor
10. Diámetro de la flor

4.6. Análisis estadístico

Se obtuvieron las medias y los errores estándar del análisis edáfico (pH y materia orgánica) así como también para las variaciones microclimáticas, las cuales fueron divididas por épocas (secas y lluvias) y por hora del día. Para determinar las diferencias dentro de las condiciones de planta nodriza,

promontorio y plano, se realizó un análisis de varianza de un factor. En el caso de la supervivencia, su análisis se realizó mediante el estimador Kaplan-Meier (Bland y Altman, 1998; Aerts *et al.*, 2006) para determinar la influencia de las condiciones microambientales sobre esta variable. Para analizar el crecimiento vegetativo durante un año se empleó un análisis de varianza de medidas repetidas, para ver si existen diferencias entre las condiciones microambientales, en el tiempo y en la interacción del tiempo con las condiciones microambientales.

Para las espinas, se midió la longitud de las espinas centrales y radiales, así como su posición de acuerdo a las manecillas del reloj, posteriormente se realizó un análisis de varianza de un factor para detectar diferencias en las longitudes. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa estadístico R 2.14.0 (R Development Core Team, 2006) bajo la interface R commander versión 1.7-2 (Fox, 2005).

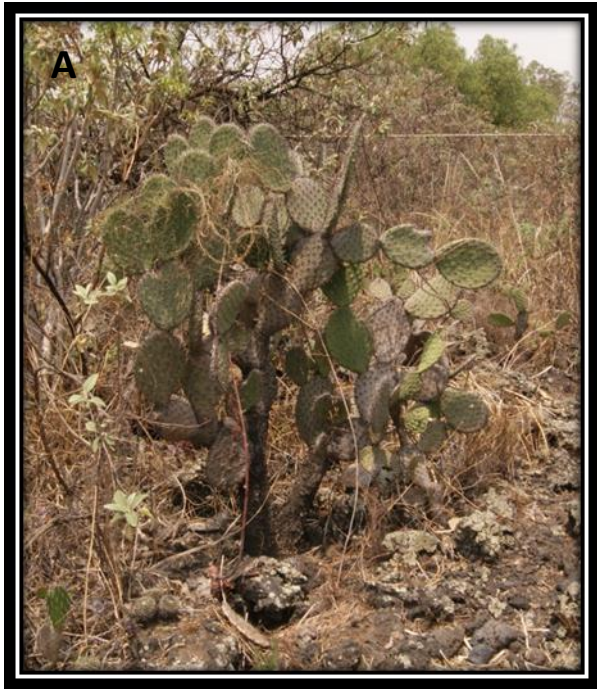


Figura 4. Condiciones microambientales A) planta nodriza, B) promontorio, C) plano.

5. RESULTADOS

5.1 Condiciones edáficas

Los análisis de suelos realizados para las tres condiciones muestran diferencias para el porcentaje de materia orgánica y para el pH. El porcentaje de materia orgánica presentó diferencia significativa ($p < 0.01$), ya que en la condición planta nodriza se presenta el mayor porcentaje de materia orgánica seguido por promontorio y plano. Para el pH se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) siendo los valores más ácidos en la condición promontorio con 5.15 seguido por plano con 5.98 y planta nodriza la cual tuvo un promedio de 6.41 (Cuadro 4). Respecto a la textura, correspondió a un suelo franco arenoso para las tres condiciones.

Cuadro 4. Características físicas y químicas de muestras de suelo para las tres condiciones.

Variable	Planta nodriza	Promontorio	Plano
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa
M.O. %	8.85 ± 0.45b	7.23 ± 0.31a	7.07 ± 0.10a
pH	6.41 ± 0.05b	5.15 ± 0.16a	5.98 ± 0.37ab

5.2. Microclima

5.2.1. Radicación fotosintéticamente activa (RFA)

Las fluctuaciones de RFA que se presentan durante las diferentes horas muestran que la condición promontorio fue siempre mayor en los diferentes horarios con promedios que van de 261.72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ a las 9:00 am y 560.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ a la 1:00 pm, esto para la época de secas donde se registraron los mayores valores. En la condición planta nodriza los valores siempre fueron inferiores respecto al plano y promontorio, registrando promedios de 148 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ a las 9:00 am y 335.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ a la 1:00 pm (Figura 5).

El análisis de varianza indica que para todas las horas de registro se presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$) al comparar los valores de la RFA de la época de lluvias y secas.

Para la época de lluvias los mayores valores se presentaron a la 1:00 pm, siendo la condición promontorio donde se registró la incidencia más alta con un promedio de $425.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$, que se redujo hasta $368.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ (13%) en plano y $247.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ (41%) bajo planta nodriza. Mientras que para la condición planta nodriza se mantuvo por debajo de promontorio y plano a las 9:00 am y 11:00 pm (Cuadro 5, Figura 5-A).

En la época de secas se presentaron los valores más altos de la RFA: la condición planta nodriza se mantuvo por debajo de promontorio y plano; la incidencia con mayor grado se presentó a la 1:00 pm en promontorio con un promedio de $560.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$, que se redujo a $504 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ (10%) en plano y $335.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ (40%) en la condición de planta nodriza (Cuadro 6, Figura 5-B).

El periodo con mayor incidencia de RFA fue de febrero hasta junio, meses que corresponden a la época de secas. En todos los meses, excepto septiembre, la condición de planta nodriza se mantiene por debajo de promontorio y plano, mientras que promontorio presenta la mayor incidencia durante todos los meses (Figura 6).

Cuadro 5. Media y error estándar de la RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	$90.3 \pm 6b$	$164.2 \pm 10a$	$116.9 \pm 7b$
11:00 am	$234.3 \pm 13.4c$	$379.5 \pm 17a$	$323.57 \pm 17b$
1:00 pm	$247.2 \pm 14b$	$425.8 \pm 22a$	$368.6 \pm 21a$

Cuadro 6. Media y error estándar de la RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	148 ± 6.5c	261.7 ± 8.6a	217.1 ± 7.7b
11:00 am	305.2 ± 9c	510.9 ± 9.2a	454.8 ± 10.6b
1:00 pm	335.8 ± 11.4c	560.5 ± 15.3a	504 ± 15.3b

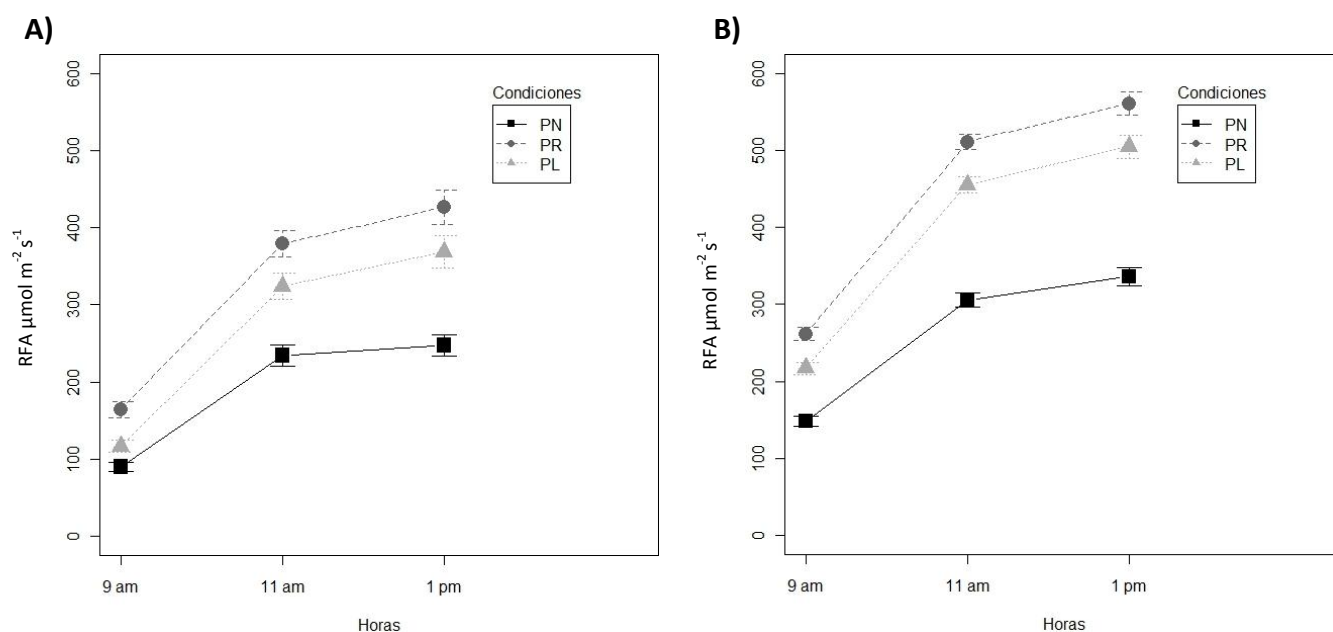


Figura 5. Gráfica de medias de la incidencia de la RFA para la época de A) llluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.

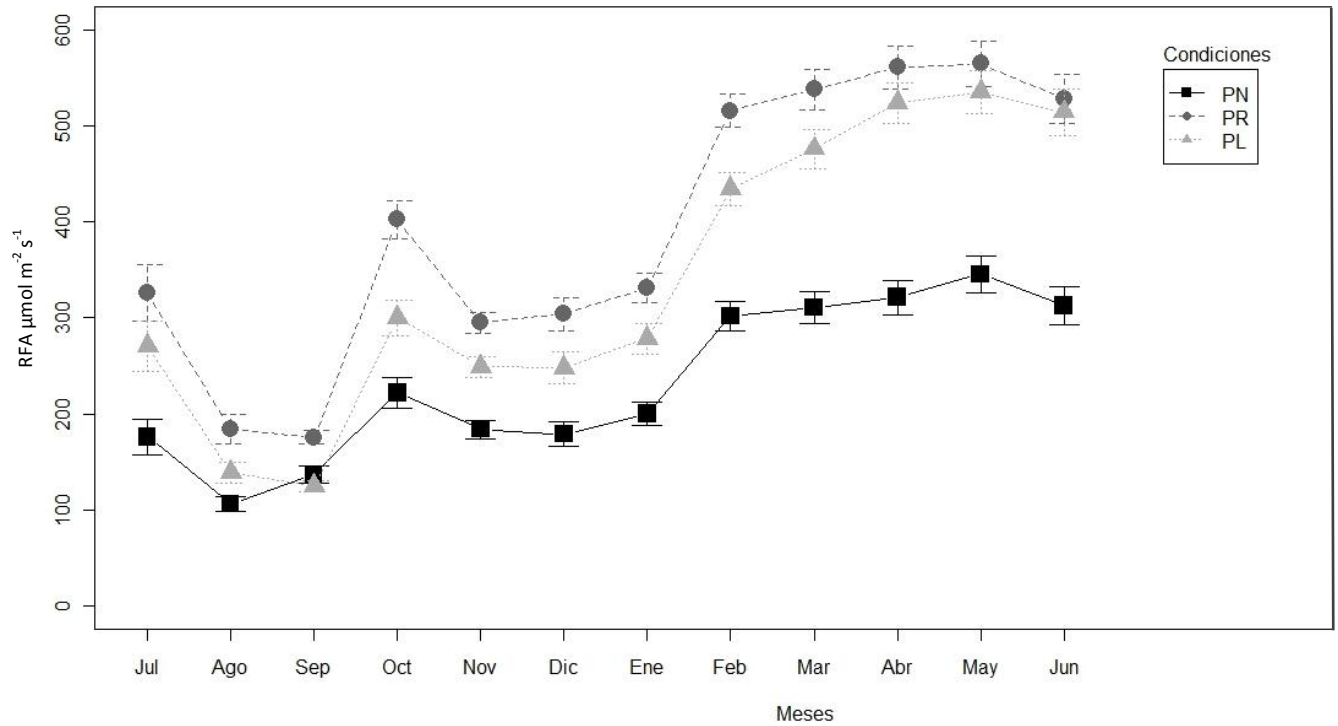


Figura 6. Gráfica de medias de la de la incidencia de la RFA para diferentes meses.

5.2.2. Humedad relativa (%HR)

Para la humedad relativa se observa un descenso conforme transcurren las horas, siendo mayor a las 9:00 am y menor a la 1:00 pm. Dicho patrón se presentó tanto en la época de lluvias y secas, siendo mayores los valores registrados en la primera época.

A las 9:00 am no se encontraron diferencias entre condiciones tanto para la época de lluvias y secas, en tanto que para la época de lluvias la condición que presentó mayor humedad fue plano seguido por promontorio y por planta nodriza; este patrón fue diferente para la época de secas donde la condición planta nodriza presentó la mayor humedad seguido por promontorio y plano, (Cuadro 7 y 8, Figura 7).

Para las 11:00 am los valores de humedad relativa descendieron en 25% para la época de lluvias y hasta en un 53% en la época de secas. En la época de lluvias no se encontraron diferencias entre condiciones, pero sí en la época de secas ($p < 0.001$), donde planta nodriza presentó mayor humedad con un promedio de 16 %HR, con una diferencia de hasta 2.2 %HR entre condiciones promontorio y plano (Cuadros 7 y 8, Figura 7).

Finalmente, a la 1:00 pm se registraron los menores valores de humedad relativa. Para la época de lluvias el análisis de varianza no mostro diferencias entre tratamientos. Sin embargo sí hubo diferencias en la época de secas donde el análisis indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las condiciones. La condición de planta nodriza presentó un promedio de 11.8 %HR, seguido por plano con un 10.8 %HR, y promontorio que registró 10.4 %HR: la diferencia a esta hora entre tratamientos fue de hasta 1.4 %HR en el caso de planta nodriza y promontorio, (Cuadros 7 y 8, Figura 7).

El periodo con mayor %HR corresponde a la época de lluvias (julio a septiembre, 2010) con valores de 55 - 63 %HR. Por su parte, la temporada de secas presentó lo menores valores de %HR (febrero a mayo) con valores de 13 - 28 %HR. En condición de planta nodriza se mantuvo arriba de los valores de promontorio y plano, excepto por agosto y septiembre donde promontorio y plano tuvieron valores más altos (Figura 8).

Cuadro 7. Media y error estándar para la humedad relativa (%) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	59.7 ± 1.4a	60.3 ± 1.5a	60.5 ± 1.4a
11:00 am	44.6 ± 1.5a	43.6 ± 1.6a	45.1 ± 1.5a
1:00 pm	40.5 ± 1.4a	40.2 ± 1.5a	42.1 ± 1.5a

Cuadro 8. Media y error estándar para la humedad relativa (%) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	30.7 ± 0.7a	29.8 ± 0.8a	29.5 ± 0.6a
11:00 am	16 ± 0.3b	13.8 ± 0.3a	13.6 ± 0.2a
1:00 pm	11.8 ± 0.3b	10.4 ± 0.3a	10.8 ± 0.3ab

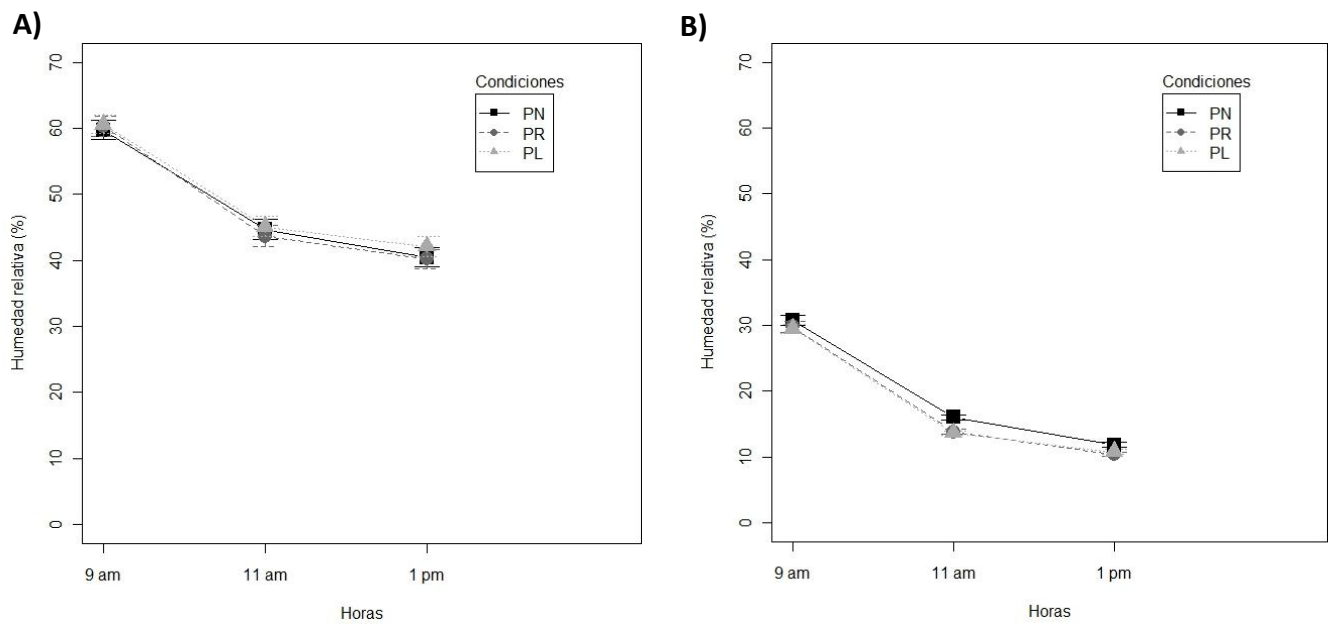


Figura 7. Gráfica de medias de la humedad relativa para la época de A) lluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.

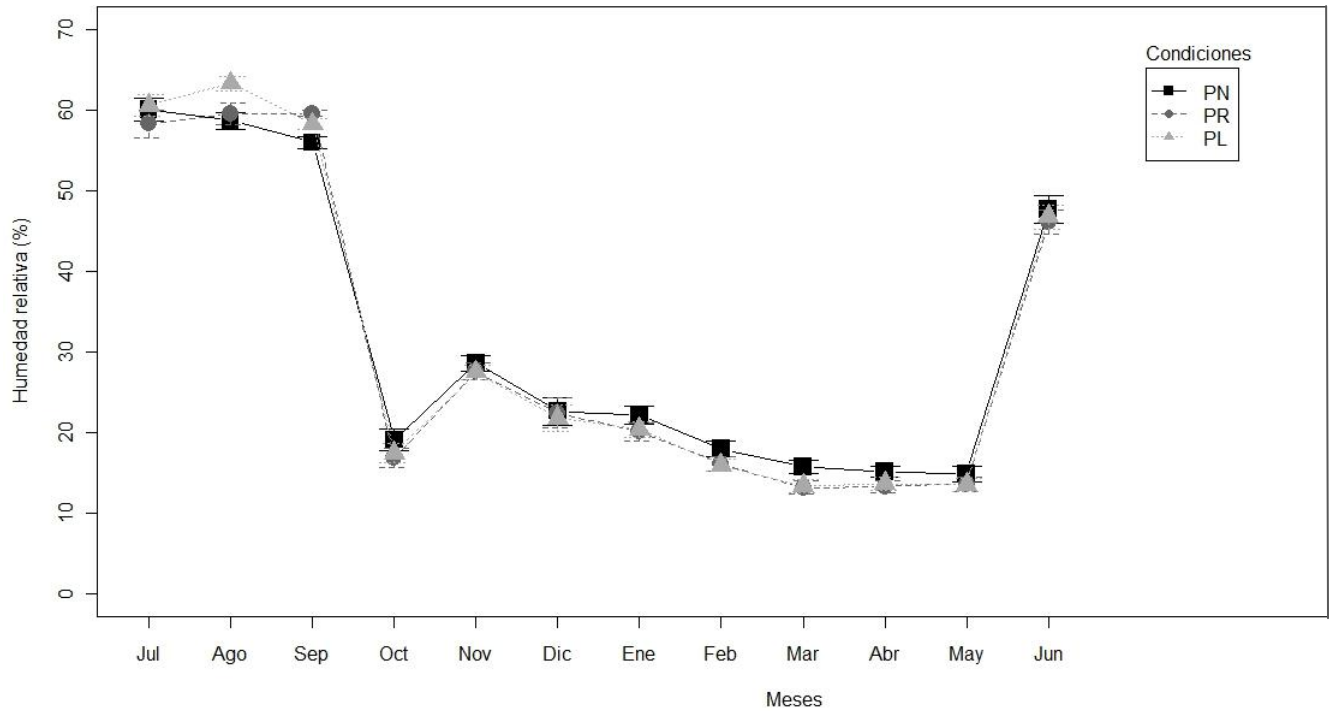


Figura 8. Gráfica de medias de la humedad relativa para diferentes meses

5.2.3 Temperatura

El comportamiento de la temperatura es similar para la época de lluvias y secas: a las 9:00 am las temperaturas promedio inician con 22 °C en la temporada de lluvias y 24 °C para la de secas; mientras que a la 1:00 pm las temperaturas alcanzan los 31 °C en lluvias y 38 °C en secas.

Al realizar las pruebas de varianza éstas indican que para las 9:00 am no existen diferencias entre condiciones, tanto para la época de secas y de lluvias. Durante este horario los valores registrados para las diferentes condiciones sólo variaron por 0.5 °C para la temporada de lluvias y 1 °C para la época de secas (Cuadros 9 y 10, Figura 9).

Para las 11:00 am se registran diferencias significativas ($p < 0.001$) para la época de secas; el promedio de la temperatura registrada en la condición planta nodriza fue de 33.3 °C, seguida de promontorio con 38.6 °C y plano con 38.8 °C; además diferencias entre planta nodriza y promontorio con 1.9 °C y 2.3 °C entre planta nodriza y plano (Cuadro 10, Figura 9-B).

A la 1:00 pm el análisis de varianza indica una diferencia significativa ($p < 0.001$) entre condiciones, esto para la época de secas donde la menor temperatura fue registrada en planta nodriza con 36.7 °C

y el mayor valor fue el de plano, el cual presentó un promedio de 38.8 °C; entre estas condiciones existe una diferencia de 2.1 °C. También se encontró diferencias entre planta nodriza y promontorio las cuales presentan una discrepancia de 1.9 °C (Cuadro 10, Figura 9-B).

Las temperaturas más extremas fueron registradas para la época de secas, ya que en diciembre de 2010 se registró hasta 3.1 °C a las 9:00 am para la condición plano. Después los valores de la temperatura aumentaron gradualmente durante los meses de febrero a mayo de 2011, llegando a valores de 50.4 °C en el mes de mayo a la 1:00 pm bajo la condición plano. La condición planta nodriza registro temperaturas menores a comparación de promontorio y plano esto para los meses donde se presentaron las temperaturas más altas (Figura 10).

Cuadro 9. Media y error estándar para la temperatura (°C) en la época de lluvias, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	22.1 ± 0.2a	22.1 ± 0.2a	21.6 ± 0.1a
11:00 am	28.4 ± 0.3a	29.5 ± 0.3a	29.1 ± 0.3a
1:00 pm	30.8 ± 0.4a	31.9 ± 0.4a	31.7 ± 0.4a

Cuadro 10. Media y error estándar para la temperatura (°C) en la época de secas, bajo tres condiciones: planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P < 0.05$)

Hora	PN	PR	PL
9:00 am	23.1 ± 0.4a	24 ± 0.5a	24.1 ± 0.4a
11:00 am	33.3 ± 0.4b	35.2 ± 0.3a	35.6 ± 0.3a
1:00 pm	36.7 ± 0.4b	38.6 ± 0.4a	38.8 ± 0.4a

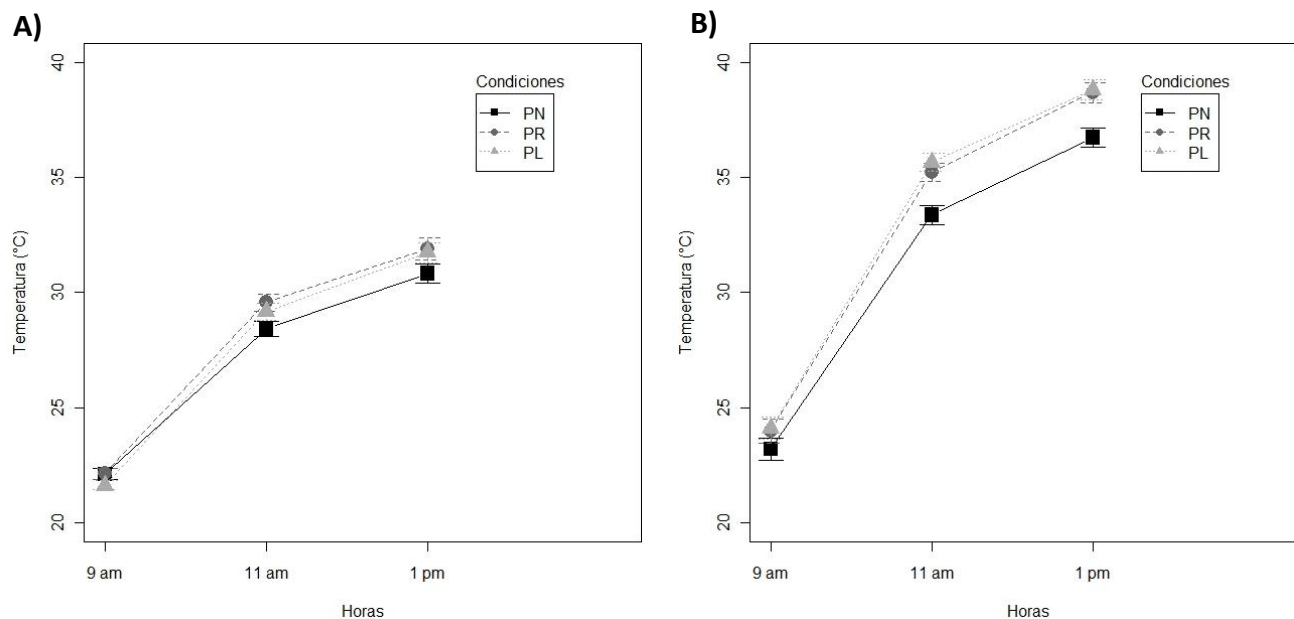


Figura 9. Gráfica de medias de la temperatura para la época de A) lluvias y B) secas a diferentes horas: 9:00 am, 11:00 am y 1:00 pm.

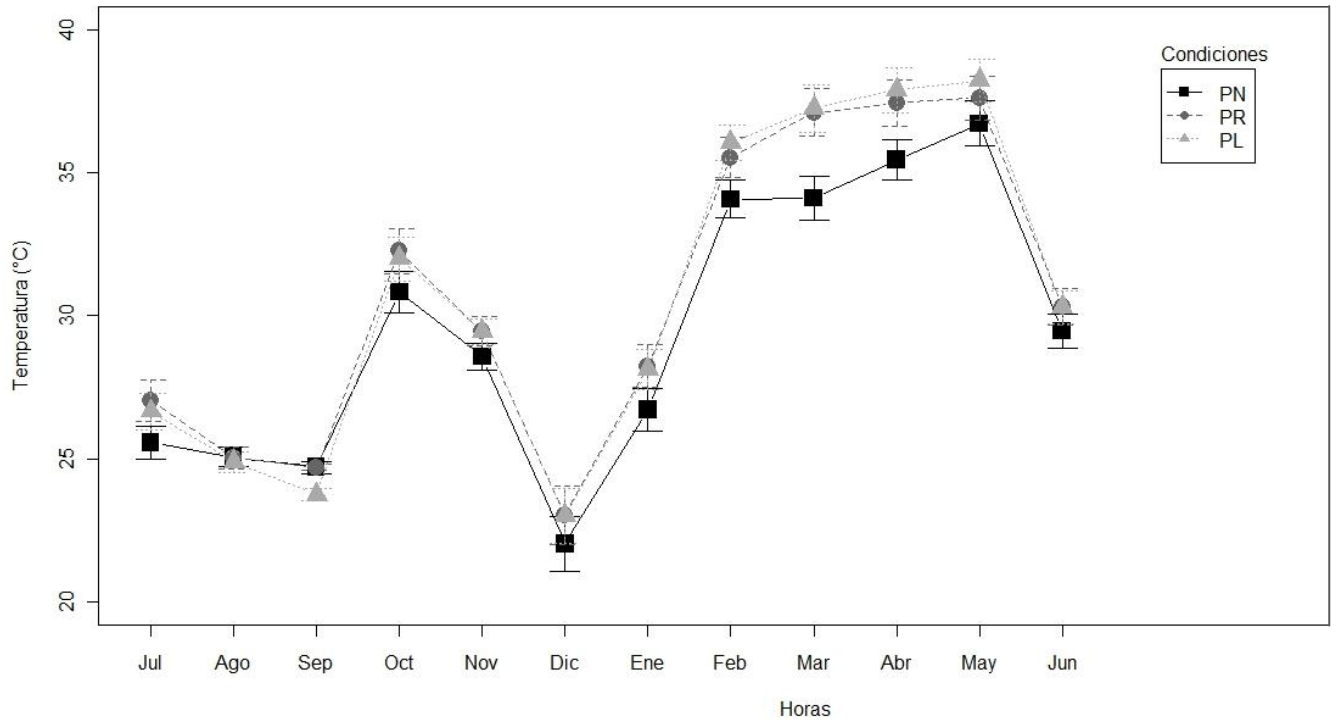


Figura 10. Gráfica de medias para la temperatura en diferentes meses.

5.3. Supervivencia

El análisis de supervivencia mediante el método de Kaplan-Meier, indica que no existen diferencias significativas entre la condición PN y PL así como entre PR y PL, pero sí se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre la condición PN y PR (Figura 12). El mayor porcentaje de supervivencia fue observado en planta nodriza donde los primeros 6 meses presentaban un valor de 41.1 % y al término del experimento mostro un 31 % de supervivencia, casi el doble que la condición PL que al final obtuvo un 16.1%. La condición PR obtuvo un 3.34 % de supervivencia para los 3 primeros meses y al octavo mes presentaban 0 % de supervivencia. En total murieron 75 plantas de las cuales el 81 % murió a causa de la predación y el 19 % restante por pudrición de la planta, esta última solo se presentó en PN y SD. Cabe señalar que a causa de la alta predación que se presentó durante los 3 primeros meses se decidió proteger a las plantas mediante una jaula, la cual tenía 2 pulgadas por abertura esto para permitir el acceso a los posibles polinizadores.

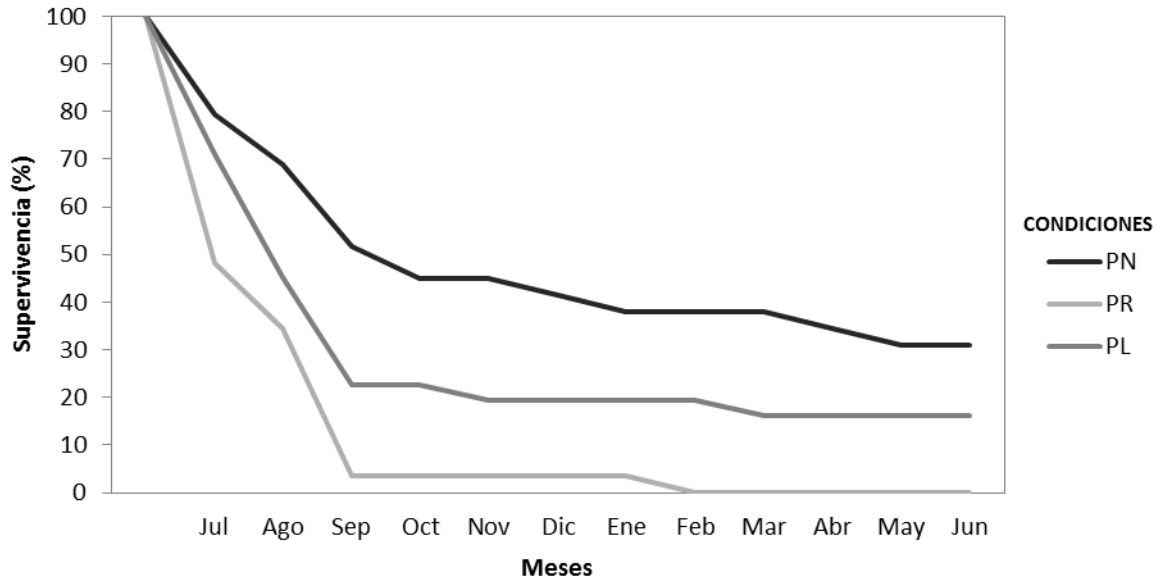


Figura 11. Supervivencia de plantas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* después de 1 año de reintroducción en su ambiente natural, bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).

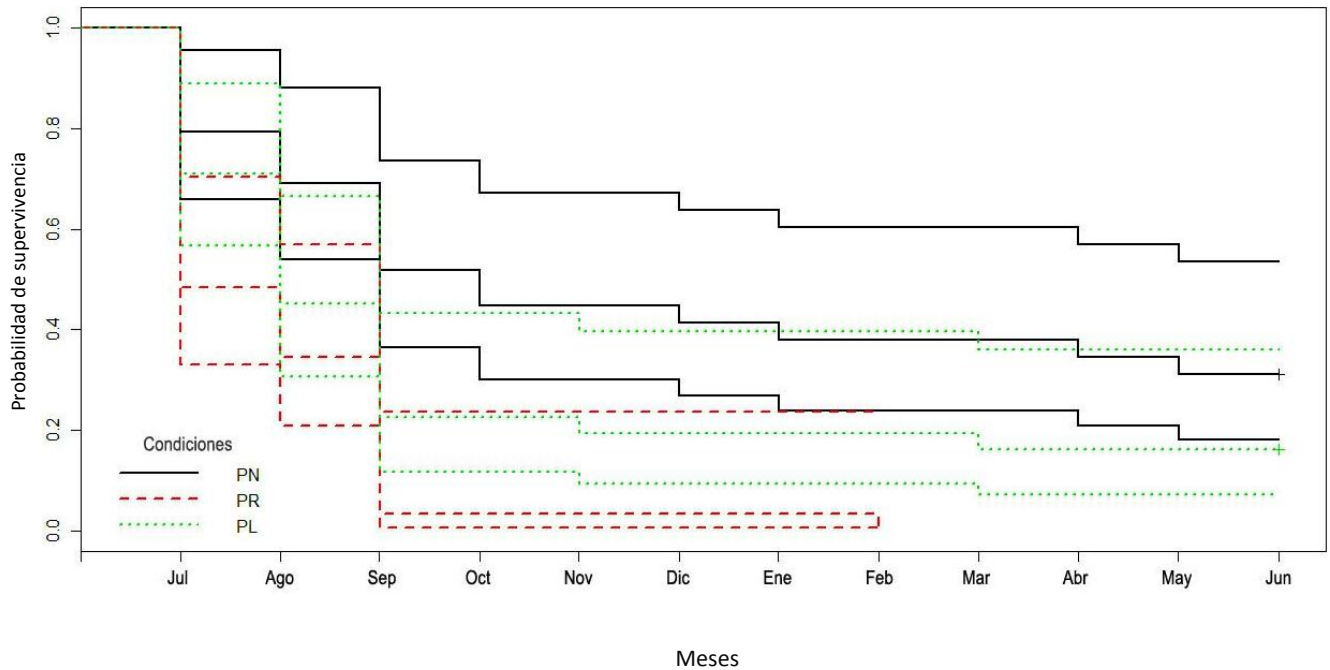


Figura 12. Función de supervivencia de plantas de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* mediante el estimador Kaplan-Meier bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL). Líneas superiores e inferiores representan los intervalos de confianza.

5.4 Incremento en diámetro y altura por disponibilidad de agua

Mediante un análisis de varianza de medidas repetidas se analizaron los datos del incremento en diámetro y altura a lo largo del tiempo. Se demostró que no existe diferencia significativa, entre el efecto de las condiciones microambientales sobre el incremento de plantas en altura (Cuadro 11, Figura 13) y diámetro (Cuadro 12, Figura 14).

Al comparar el crecimiento a lo largo del tiempo se encontró que la altura no presentó diferencias significativas mientras que en diámetro sí existen diferencias significativas ($p < 0.001$). Las diferencias se perciben en los primeros meses correspondientes a la época de lluvias donde se incrementó el diámetro de la planta y para finales de la época de secas donde la planta disminuye su diámetro. La interacción del tiempo y de las condiciones microambientales no fue significativa para el crecimiento en altura y diámetro.

El análisis estadístico solo tomó en cuenta la condición planta nodriza y plano ya que la condición promontorio redujo su número de individuos drásticamente terminando el experimento con cero individuos. Debido a que el análisis de medidas repetidas solo acepta datos completos no fue posible analizar esta condición.

Cuadro 11. Análisis de varianza de medidas repetidas para el efecto de las condiciones, sobre el incremento en altura de las plantas.

Efecto	F	Significación
Entre condiciones		
Condiciones	0.368	0.554
Dentro condiciones		
Meses	2.697	0.054
Condiciones : meses	0.586	0.640

Cuadro 12. Análisis de varianza de medidas repetidas para el efecto de las condiciones, sobre el incremento en diámetro de las plantas.

Efecto	F	Significación
Entre condiciones		
Condiciones	0.270	0.612
Dentro condiciones		
Meses	9.036	0.000*
Condiciones : meses	0.358	0.791

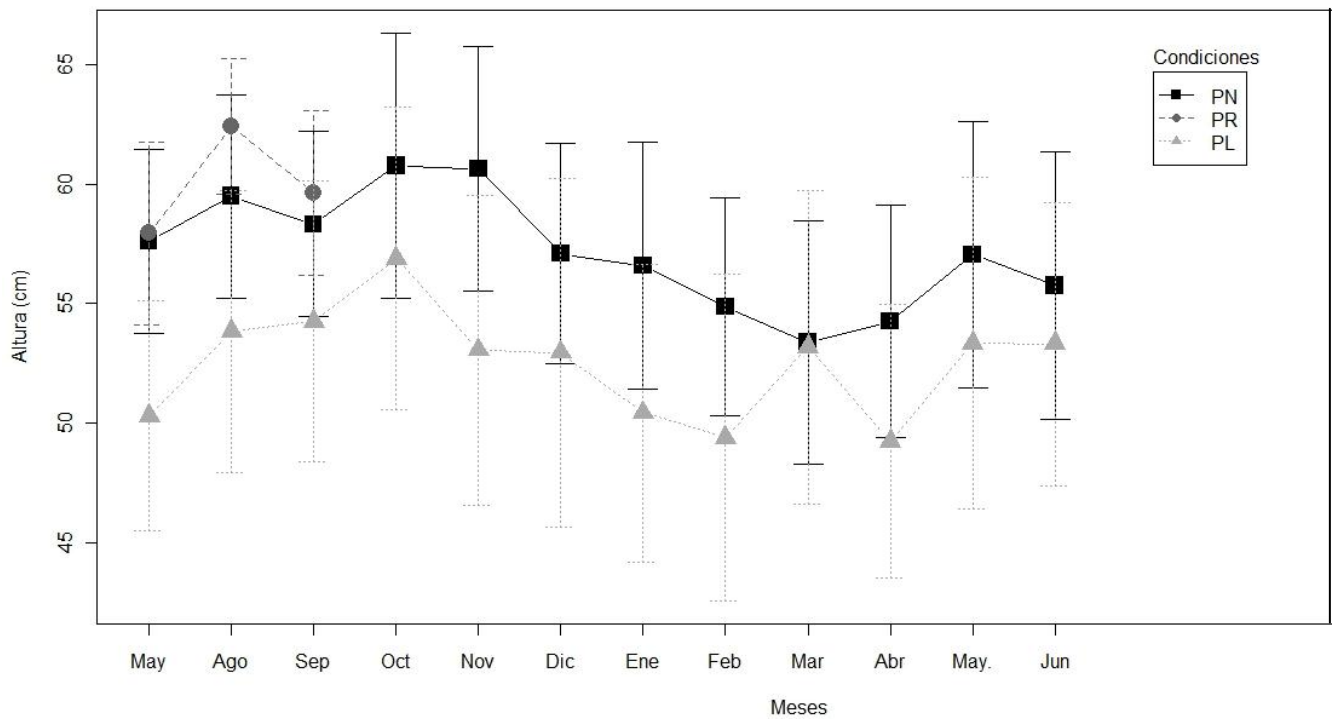


Figura 13. Gráfica de medias del incremento en altura de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).

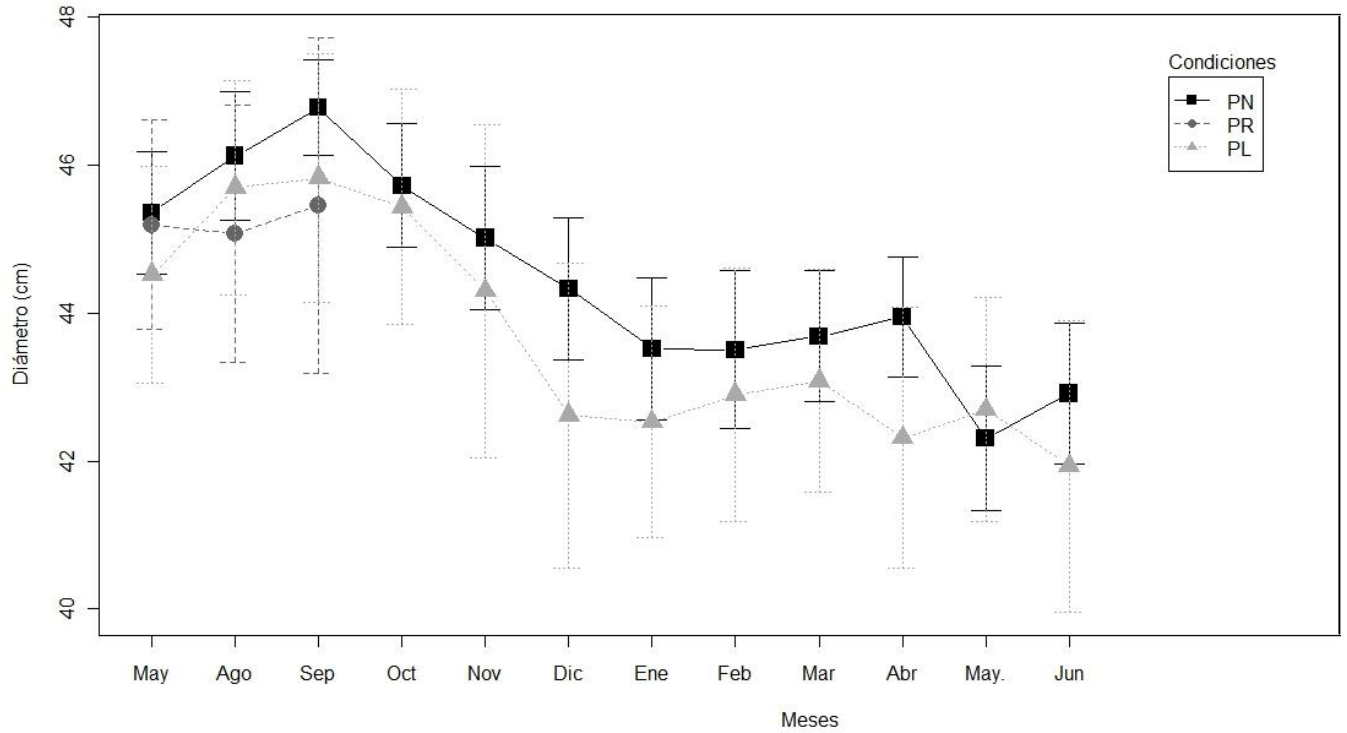


Figura 14. Gráfica de medias del incremento en diámetro de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* bajo tres condiciones planta nodriza (PN), promontorio (PR) y plano (PL).

5.5. Características de espinas

Para el análisis de varianza de la longitud de las espinas de la serie radial y central solo se tomaron en cuenta dos condiciones planta nodriza y plano. Los resultados mostraron que no existen diferencias significativas en la longitud de las series radial y central, así como tampoco para el número de espinas presentes, igualmente las diferentes condiciones presentaron el mismo patrón de espinación (Figura 15).

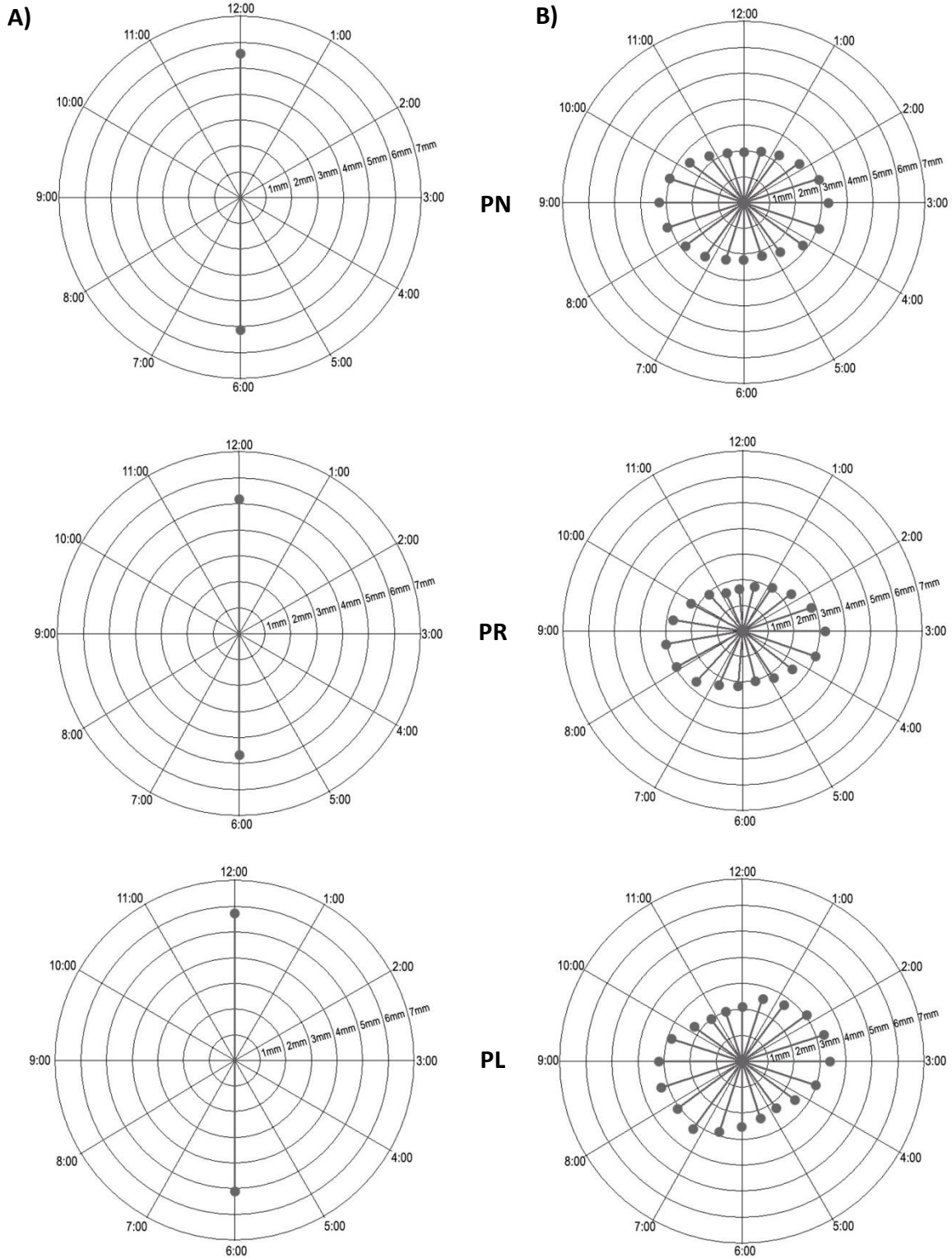


Figura 15. Diagramas para el patrón de espinación A) central y B) radial presentes en plantas de *Mammillaria haageana* subsp. *san-angelensis* bajo tres diferentes condiciones A) planta nodriza (PN), B) promontorio (PR) y C) plano (PL), para condición promontorio se tomaron los datos del tercer mes.

5.6. Fenología de floración y fructificación

Se encontró que *M. haageana* subsp. *san-angelensis* comenzó a producir botones florales a partir del mes de octubre de 2010 y terminó en febrero de 2011 (Cuadro 13), periodo en el que se registró un total de 83 botones. Solo 19 botones llegaron a la antesis, que se registraron entre noviembre de 2010 hasta enero de 2011 (Figura 15-A). El mes de diciembre presentó los mayores valores tanto para el número de botones florales, como para flores en antesis.

Se seleccionaron 5 flores del total producidas, esto para evaluar el diámetro y la altura, el diámetro promedio fue de 4.91 mm y la altura-promedio de 10.79 mm (Figura 15-B).

La fase de fructificación no se registró.

Cuadro 13. Fenología floral de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*

Meses	Floración		
	Número de plantas en floración	Numero de botones florales	Numero de flores
Julio - 2010	0	0	0
Agosto -2010	0	0	0
Septiembre - 2010	0	0	0
Octubre - 2010	1	4	0
Noviembre - 2010	2	19	3
Diciembre - 2010	6	34	9
Enero - 2011	7	24	7
Febrero - 2011	1	2	0
Marzo - 2011	0	0	0
Abril - 2011	0	0	0
Mayo - 2011	0	0	0
Junio - 2011	0	0	0

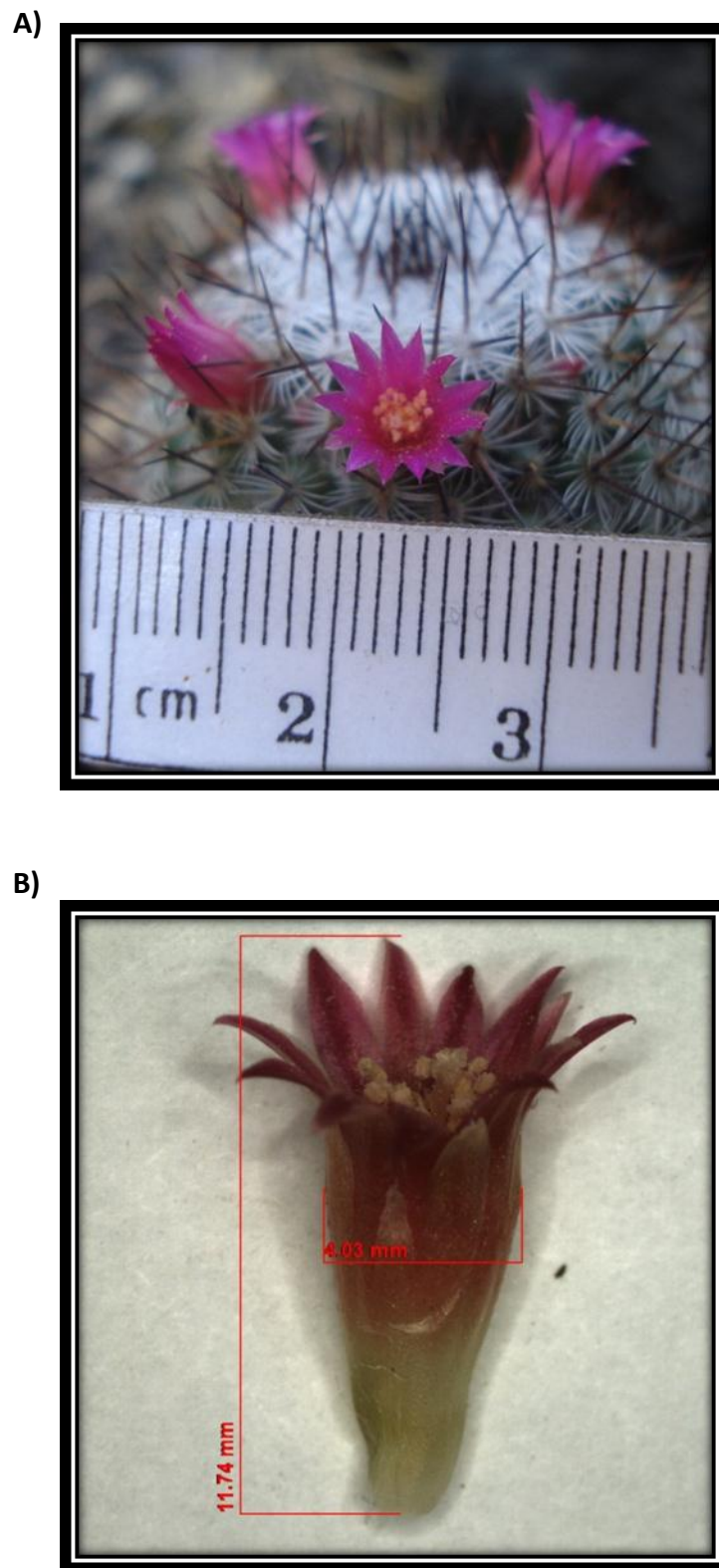


Figura 16. Flores de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* A) planta en floración y B) medidas de una flor.

6. DISCUSIÓN

6.1. Condiciones edáficas

Para las tres condiciones microambientales los suelos presentaron una textura franco-arenosa, moderadamente ácidos, con valores que van de 5.15 para promontorio a 6.41 en planta nodriza, con mediana cantidad de materia orgánica (registrando porcentajes de 7.07 % en promontorio a 8.85 % en planta nodriza), de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Estos resultados son similares a los descritos por Rzedowski (1954) quien realizó un análisis edáfico en el matorral de *Pittocaulon praecox* (= *Senecionetum praecocis*) del Pedregal de San Ángel. Sin embargo, para la presente tesis donde se evaluaron tres microhábitats se encontró que existen un mayor porcentaje de materia orgánica bajo el dosel de *Opuntia tomentosa* y *O. streptacantha*. Estos resultados concuerdan con los reportados en zonas áridas y semiáridas, donde este porcentaje es mayor bajo las plantas nodrizas que en las áreas expuestas ya que bajo la planta nodriza hay mayor acumulación de restos vegetales, los cuales aumentan la actividad microbiana del suelo, incrementan la descomposición, mineralización y fijación de nitrógeno (Virginia, 1986; Walker *et al.*, 2001). Para el pH se encontraron diferencias entre planta nodriza y promontorio, siendo más ácidos en el último. Esto puede ser consecuencia del material parental presente en la REPSA, ya que en el trabajo realizado por Munguía-Rosas y Sosa (2008) con *Pilosocereus leucocephalus* en un ambiente semejante por la presencia de un derrame basáltico joven, se registró mayor acidez en las cavidades de las rocas en comparación con pH's obtenidos bajo una planta nodriza.

6.2 Microclima

Los valores de la RFA para las tres condiciones microambientales fueron significativamente diferentes entre sí, siendo más evidente en la época de secas (Cuadro 6). Estos resultados corroboran el efecto del nodrizaje en la incidencia de RFA, lo cual ha sido documentado ampliamente para varias especies de cactáceas de regiones áridas y semiáridas. Por ejemplo, Franco y Nobel (1989) muestran que *Ferocactus acanthodes*, una especie nativa del Desierto Sonorense, recibe 64 % menos radiación bajo la sombra de *Hilaria rigida* que en zonas expuestas. Para *Lophophora diffusa*, una especie endémica de la región semiárida del estado de Querétaro, se reportó que ésta recibe menos radiación solar bajo el dosel de *Celtis pallida* encontrando una reducción de hasta 90 % en comparación con sitios

expuestos Zúñiga *et al.* (2005). Estas diferencias en RFA también se ha documentado para especies de ambientes estacionales de la región inter-tropical, como es el caso de *Mammillaria gaumeri*. Esta especie es nativa de Yucatán, la cual según Cervera *et al.* (2007) recibe menos del 60 % de radiación solar en dunas costeras donde la especie se encuentra bajo la sombra de arbustos pertenecientes a varias especies. El caso *M. haageana* subsp. *san-angelensis* es significativo, porque aunque está en un ambiente menos húmedo que el de *M. gaumeri*, comparte la condición estacional, en donde la época de lluvias y secas es marcada (Figura 3). A diferencia de la especie anterior, *M. haageana* subsp. *san-angelensis* crece en un clima templado subhúmedo, en donde se documentó la reducción de la RFA bajo el dosel de las dos especies de *Opuntia* seleccionadas en la REPSA.

A diferencia de las plantas C_3 y C_4 donde la relación de la RFA con la toma neta de CO_2 se puede medir instantáneamente, en las plantas CAM donde los estomas tienden a abrirse en la noche para realizar el intercambio gaseoso, esta relación no se puede aplicar, por lo cual en su lugar la disponibilidad de RFA puede relacionarse con la toma neta diaria de CO_2 expresada en $mol\ m^{-2}\ día^{-1}$ (Nobel, 1998). Para *Opuntia ficus-indica* y *Ferocactus acanthodes* la toma neta diaria máxima de CO_2 ocurre con una RFA diaria de más o menos $30\ mol\ m^{-2}\ día^{-1}$ o $700\ \mu mol\ m^{-2}\ S^{-1}$ (Nobel, 1977; Nobel y Hartsock, 1983). En el caso de *Mammillaria gaumeri*, Cervera *et al.* (2007) encontraron que la toma máxima de CO_2 es de $26.5\ mol\ m^{-2}\ día^{-1}$ y también documentaron que a una incidencia de $34.7\ mol\ m^{-2}\ día^{-1}$ se reduce la captación de CO_2 debido a una fotoinhibición. Para *M. haageana* subsp. *san-angelensis* la RFA alcanzó un valor de hasta $945\ \mu mol\ m^{-2}\ S^{-1}$ a la 1:00 pm, en plano y durante la época de lluvias (junio de 2011); sin embargo el promedio fue de $504\ \mu mol\ m^{-2}\ S^{-1}$ en época de secas y para la misma hora (Cuadro 6).

Respecto a la humedad relativa, el porcentaje solo presentó diferencias significativas en la época de secas, donde la condición planta nodriza obtuvo valores mayores. Además, esta diferencia solo fue evidente a las 11:00 am y 1:00 pm (Cuadro 8). Resultados similares para esta variable se reportan para *Pilosocereus leucocephalus*, en la cual Munguía-Rosas y Sosa (2008) registraron el descenso del porcentaje de la humedad relativa a través de las horas del día, observando que ésta se encuentra arriba de 80 % en las primeras horas (6:00 am - 10:00 am) donde no existe diferencias entre condiciones microambientales. Para las horas del mediodía (11:00 am - 2:00 pm) se observan diferencias entre los microambientes, donde la humedad relativa desciende hasta un porcentaje

menor a 10 % para el caso de las zonas expuestas, en el caso de planta nodriza este descenso no es tan drástico ya que permanece alrededor de 45 %.

Está documentado que en las cactáceas el intercambio gaseoso se lleva a cabo durante la noche donde las moléculas de gas entran y salen de los tallos moviéndose a regiones con menor concentración por medio de difusión (Noble, 1998). Pimienta-Barrios *et al.* (2002) realizaron estudios en *Opuntia robusta* donde muestran que la toma diaria neta de CO₂ aumenta cuando las lluvias de verano comienzan, mientras que en la temporada de secas la mayor toma se produce a finales de la noche donde las temperaturas son bajas y los porcentajes de humedad relativa son altos. Aunque para la especie en estudio no se realizaron evaluaciones sobre la toma de CO₂ es probable que en el verano aumente la toma diaria de CO₂. Nuestros resultados indican que a las 9:00 am no existe diferencia de humedad relativa entre las condiciones microambientales por lo que es probable que el periodo de apertura de los estomas no se ve afectado por estas tres condiciones. Sin embargo, esto impone la necesidad de hacer evaluaciones durante la fase nocturna con el fin de hacer inferencias más precisas sobre el comportamiento de esta variable.

La temperatura tuvo un comportamiento similar al observado en el porcentaje de humedad relativa, donde se notaron diferencias a las 11:00 am y 1:00 pm en la época de secas. En los dos sitios donde se reintrodujo *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, las temperaturas registradas a las 9:00 am no presentan diferencias entre condiciones microambientales, pero a las 11:00 am y 1:00 pm la diferencia empieza a marcarse en la condición planta nodriza donde las temperaturas son menores en comparación con las dos condiciones microambientales restantes (Cuadro 10). En el estudio realizado para *Pilosocereus leucocephalus* una especie endémica de Mesoamérica, Munguía-Rosas y Sosa (2008) registraron que las temperaturas a primeras horas del día no presentan diferencias significativas entre condiciones microambientales de planta nodriza, cavidad y sitio expuesto. Al transcurrir las horas la temperatura comienza a elevarse, en donde el intervalo de tiempo que va de las 10:00 am a las 2:00 pm es donde se notan las diferencias entre condiciones, en las cavidades fue donde se presentaron las menores temperaturas seguido por planta nodriza. Estas diferencias de temperatura para hora y condición microambiental demuestran lo versátil que son los ambientes estacionales de manera similar a lo que ocurre en la REPSA donde habita *M. haageana* subsp. *san-*

angelensis, así como también el Rancho San Ignacio ubicado en el estado de Veracruz para *Pilosocereus leucocephalus*.

La temperatura también está relacionada con la toma de CO₂. Por ejemplo, en *Ferocactus acanthodes* y *Opuntia ficus-indica* la toma neta diaria máxima de CO₂ ocurre a temperaturas ambientales diurna/nocturna de 25/15 °C (Nobel 1998). En el caso de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* en la REPSA, la temperatura registrada bajo planta nodriza en la época de secas a la 1:00 pm fue de 36.7 °C, pero con un incremento en los dos microambientes restantes, donde la temperatura máxima fue mayor (Cuadro 10). Para tener una mejor evaluación e interpretación de esta variable en las tres condiciones microambientales será recomendable hacer mediciones en la fase nocturna.

Las variables físicas evaluadas muestran que bajo el dosel de *Opuntia tomentosa* y *O. streptacantha* se está llevando a cabo la modificación del microambiente que, en conjunto, generan las condiciones favorables para el establecimiento de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* dentro de la Reserva ecológica del Pedregal de San Ángel.

6.3 Supervivencia

La mayor supervivencia al final del experimento se registró bajo planta nodriza con un porcentaje de 30 %, mientras que en la condición plano se obtuvo un porcentaje de 16 % y la condición promontorio presento un 0 % de supervivencia. Estos resultados no concuerdan con los encontrados por Rubluo *et al.* (1993) quienes realizaron la reintroducción de plántulas propagadas *in-viro* de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, en el área de exhibición del Jardín Botánico (UNAM). En dicho trabajo el porcentaje de supervivencia fue de 91 % en un periodo de 2.5 años siendo la principal causa de pérdida la extracción ilegal. La diferencias de resultados en la presente investigación y los obtenidos por Rubluo *et al.* (1993) se puede deber a factores extrínsecos. Nosotros encontramos que la supervivencia de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* se vio afectada en mayor proporción por la herbivoría, siendo la condición microambiental de promontorio donde la predación fue más intensa ya que para el mes de septiembre de 2010 solo sobrevivía una planta. Mientras tanto es muy probable que la herbivoría sea menor en sitios más protegidos como es el caso de las colecciones vivas del Jardín Botánico.

En la REPSA existen reportes básicos sobre la interacción planta herbívoro (Cano-Santana, 1994), pero no específicamente entre cactáceas y algún mamífero. Sin embargo Cano-Santana (1994) refiere la

presencia de al menos tres mamíferos herbívoros como el conejo (*Sylvilagus floridanus*), el cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y el ratón (*Peromyscus gratus*), sobre los cuales será necesario realizar estudios y corroborar lo señalado. Por ahora, la hipótesis que aquí se plantea sobre herbivoría por conejos y otros mamíferos pequeños, se sustenta en la evidencia de la forma de las mordidas, ya que concuerda con la de estos mamíferos (Hortelano-Moncada, colección de mamíferos, IB UNAM, com. pers.). Está documentado que la herbivoría es un factor decisivo en la reintroducción de cactáceas. Para *Mammillaria grahamii* y *Echinocereus engelmannii* que habitan en el NW de México y SW de Estados Unidos, existe referencia de estar sujetas a predación por parte de dos especies de liebres (*Lepus alleni* y *L. californicus*), pero se reduce cuando se encuentran bajo el dosel de *Cylindropuntia fulgida*, donde los artículos de ésta caen al piso creando una barrera de espinas que puede persuadir a los mamíferos herbívoros (McAuliffe, 1984). Igualmente en el estudio realizado en la Región Volcánica de Tula, Tamaulipas., Hernández (1991) encontró que algunas de las cactáceas de este lugar como *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia lindheimeri* y *Stenocereus griseus* sirven como alimento a tres mamíferos herbívoros que se encuentran en el sitio, como son la ardilla de tierra (*Spermophilus spilosoma*), la liebre (*Lepus californicus*) y el cacomixtle (*Bassariscus astutus*). De estos tres herbívoros, el último está presente en el sitio donde se reintrodujo *M. haageana* subsp. *san-angelensis*.

Al considerar que el objetivo principal fue la reintroducción de *M. haageana* subsp. *san angelensis* en su ambiente natural, los resultados obtenidos indican que además de la herbivoría, la elección del microambiente es decisivo para la supervivencia de este taxón, ya que el efecto de crecer en áreas abiertas (promontorios y planos) implica una mayor exposición a las condiciones ambientales, así como la interacción con depredadores en este caso con mamíferos herbívoros. Otros estudios donde han reintroducido especies a sus ambientes originales muestran la necesidad de establecer condiciones previas a su reintroducción.

Para *Pediocactus knowltonii* Olwell et al. (1990) obtuvo un porcentaje de supervivencia de 83 % para un periodo de 3 años, a partir de esquejes que fueron obtenidos de plantas que se encontraban en el área de distribución natural de la especie. La especie estuvo en condiciones de invernadero hasta que desarrolló raíces y posteriormente fueron trasplantadas a su área natural en dos épocas del año

(otoño y primavera), encontrando que la mejor época de reintroducción fue la de otoño donde se presentan las lluvias.

En otro estudio Stiling *et al.* (2000) reportó un porcentaje de 34.4 % de supervivencia para *Opuntia corallicola*, al reintroducirla a partir de cladodios propagados, los cuales se obtuvieron inicialmente de plantas presentes en el área de estudio. Los cladodios fueron trasplantados cuando presentaban raíces. Las causas de muerte más recurrente fueron el pisoteo de los cladodios por ciervos, así como el ataque por una bacteria no identificada que se presentó con un color café sobre los tallo. Además el referido autor encontró que estos factores de mortandad fueron más evidentes en las áreas abiertas.

El trabajo realizado por Mayo (2003) muestra un porcentaje de supervivencia de 100% para plántulas de *Coryphantha elephantidens*, cuyo origen fue a partir de propagación *in-vitro*. El resultado obtenido fue el mismo para individuos que se encontraban bajo planta nodriza y área abierta. Este autor reporta que las plántulas fueron aclimatadas durante ocho meses, previo a su reintroducción. La zona de establecimiento se encontró sobre las inmediaciones de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Xochicalco, la cual está bajo la protección de leyes federales.

En la reintroducción de plántulas propagadas *in-vitro* de *Mammillaria mathildae*, García-Rubio y Malda-Barrera (2010) obtuvieron un porcentaje de supervivencia de 52 % después de 5 meses. Las autoras señalan que el bajo porcentaje de supervivencia en la reintroducción, se pudo deber a que fueron trasplantadas en época de secas, lo que ocasionó un estrés hídrico en las plantas. También refieren que esta especie en su ambiente natural se asocia con diversas bacterias y hongos simbiotes que le proveen mayores posibilidades de adaptarse a ambientes estresantes, lo cual sería importante tomar en cuenta en las plantas a ser reintroducidas.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, así como los arriba señalados, corroboramos la importancia de los criterios para la reintroducción señalados por Fiedler y Laven (1996), con el propósito de obtener mayor porcentaje de establecimiento y supervivencia en cactáceas reintroducidas. En resumen los criterios recomendados y que consideramos esenciales son: a) conocer las condiciones ambientales del sitio de reintroducción; b) tener en cuenta las posibles interacciones biológicas con su entorno; c) que el sitio de reintroducción este bajo algún tipo

resguardo legal; y d) conocer las condiciones ambientales que prevalecen en el área de distribución de la especie.

6.4 Incremento en diámetro y altura por disponibilidad de agua

Los resultados alcanzados en *M. haageana* subsp. *san-angelensis* muestran solo diferencias en diámetro a través del tiempo. Esto significa que para finales de la temporada de lluvias (septiembre de 2010) se registró el mayor incremento, mientras que para finales de la temporada de secas (mayo 2011) las plantas disminuyeron su tamaño en diámetro (Figura 14). Estos resultados son consecuencia probable de la anatomía y fisiología de las cactáceas, quienes tienden a producir mayor tejido de almacenamiento de agua y nutrimentos (Nobel, 1998). Estudios realizados en *Ferocactus acanthodes* han demostrado que durante la época de lluvia absorbe grandes cantidades de agua, la cual emplea gradualmente durante la temporada de sequía (Gibson y Nobel, 1986). Estos patrones de incremento y disminución de tamaño en diámetro también fueron reportados por Owell (1990) para *Pedocactus knowltonii* en donde el incremento del tallo se producía en la estación de otoño donde se presentaban las lluvias y disminuía el tamaño en la estación de primavera. En lo que respecta a la altura, no se encontraron diferencias entre condiciones de planta nodriza, promontorio y plano, ni en los lapsos de tiempo marcados durante el estudio (Cuadro 11); aunque en los mismos periodos, siguió el mismo patrón de incrementar y disminuir como en el caso del diámetro. Se han llevado a cabo estudios donde se demuestra que dentro de la tribu Cacteeae los taxa que presentan tubérculos, como *Mammillaria*, tienen la capacidad de acortar y alargar el tallo como respuesta a los cambios en el contenido de agua. Esto es debido a la ausencia de células lignificadas como serían las fibras o los radios y a la presencia de traqueidas de banda ancha (TBA) que favorecen la capacidad de compresión vertical del tejido vascular durante los periodos de sequía (Mauseth, 2006; Vázquez-Sánchez y Terrazas, 2011).

6.5 Características de espinas

Para el caso de la longitud de espinas centrales y radiales no se encontraron diferencias. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Bravo-Mendoza *et al.* (2007) para *Neobuxbaumia tetetzo* donde el tamaño de las espinas apicales está en función del tamaño de la planta y es independiente de su ubicación con respecto a la planta nodriza, así como de la cantidad de radiación

solar recibida. Se han sugerido varias funciones a las espinas de las cactáceas, una de ellas está relacionada con defensa contra los herbívoros (Gibson y Nobel, 1986). En el caso de las plantas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* llevadas a su ambiente natural, éstas sufrieron los efectos de la depredación por los herbívoros presentes en la REPSA lo que indica que las espinas no persuadieron a los herbívoros para evitar ser comidas. Otras funciones que se le han atribuido a las espinas es la protección contra el ambiente, donde éstas le confieren resguardo ante las altas incidencias de la radiación solar evitando daños en los tejidos, también pueden moderar la temperatura en el tallo protegiendo las areolas de cambios bruscos de temperatura (Gibson y Nobel, 1986). Por lo expuesto, se considera que para encontrar diferencias en los tamaños y patrones tanto para espinas radiales y centrales, así como también para demostrar la posible protección de estas espinas por la incidencia de RFA para *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, es necesario un tiempo de valuación mayor a un año.

6.6 Fenología de la floración y fructificación

El periodo de floración en *M. haageana* subsp. *san-angelensis* comenzó a finales del mes de octubre de 2010 y culminó en el mes de febrero de 2011. Sin embargo no se produjeron frutos. Este último resultado contrasta con lo reportado por Rubluo *et al.* (1993) quienes indican que las plántulas reintroducidas a partir de cultivos *in-vitro* generaron frutos con semillas fértiles de abril a mayo de 1989. Por lo tanto la diferencia en este resultado puede deberse por lo menos a dos factores. El primero es sobre los posibles polinizadores, ya que estos se ven afectados por la fragmentación de su hábitat y a la llegada de nuevos insectos y plantas (Bond, 1994). Aunque no existe un estudio sobre biología floral para las dos especies de *Mammillaria* nativas de la REPSA, es probable que sea el mismo polinizador para ambas especies, ya que son semejantes en la estructura floral y tamaño. El segundo factor está relacionado con la autogamia, proceso que se ha encontrado en numerosas cactáceas pero ha sido escasamente documentado (Gibson y Nobel, 1986). Las plantas reintroducidas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* se obtuvieron de un lote propagando *in-vitro* y con alta probabilidad de un origen clonal. Existen reportes de autoincompatibilidad en *Mammillaria grahamii*, una especie de Arizona, en la cual Bowers (2002) encontró que en condiciones experimentales de invernadero, solo 1 de cada 10 plantas auto-polinizadas producía fruto, cuyas semillas fueron infértiles. Por lo tanto es muy recomendable realizar un estudio particular en *M. haageana* subsp.

san-angelensis sobre su biología floral y demostrar si las plantas que ahora sobreviven en el área de reintroducción son capaces o no de producir frutos y semillas viables.

CONCLUSIONES

Las condiciones edáficas como el pH, porcentaje de humedad, así como las condiciones ambientales (RFA, % HR y temperatura) registrados bajo el dosel de *Opuntia tomentosa* y *O. streptacantha* muestran que el proceso de nodrizaje es evidente en *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, para el ecosistema representado en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

La RFA fue la variable entre las condiciones microambientales de planta nodriza, promontorio y plano, la cual registro diferencias durante las tres horas del día y durante las dos épocas del año.

Para el % HR y la temperatura las diferencias se observaron durante las horas más críticas del día que son las 11:00 am y la 1:00 pm, esto solo fue registrado durante la época de secas la cual presenta las condiciones ambientales más estresantes.

La supervivencia fue baja en general, sin embargo, el mayor porcentaje se presentó en la condición planta nodriza, en donde hay más protección contra las condiciones ambientales y contra la depredación por mamíferos herbívoros.

La mayor causa de mortalidad de plantas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* fue la predación, y que fue más evidente en las partes expuestas como son los promontorios y los planos.

Las condiciones microambientales de planta nodriza, promontorio y plano no influenciaron el crecimiento tanto en altura como en diámetro en plantas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*.

El crecimiento en diámetro de plantas de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* es estacional, presentando un crecimiento y decrecimiento durante el año, el cual estuvo en función de la época de lluvias y secas.

El patrón de espinación así como las longitudes de las espinas radiales y centrales de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* no se ven afectadas por la intensidad de la RFA recibida, ya que tanto para planta nodriza, promontorio y plano el número y disposición en la aréola fueron similares.

La floración de *M. haageana* subsp. *san-angelensis* comienza a finales de la época de lluvias (octubre) y termina a mediados de la época de secas (febrero). Sin embargo, no se registró la presencia de frutos en ninguna planta de *M. haageana* subsp. *san-angelensis*, esto puede ser debido a que existe autoincompatibilidad en la especie.

LITERATURA CITADA

- Aerts, R., E. November, I. Van der Borgh, M. Behailu, M. Hermy y B. Muys.** 2006. Effects of pioneer shrubs on the recruitment of the fleshy-fruited tree *Olea europaea* ssp. *cuspidata* in Afromontane savanna. *Applied Vegetation Science* 9: 117-126.
- Anderson, E. F.** 2001. The cactus family. Timber Press. Portland, Oregon.
- Arias, S.** 2009. La familia Cactaceae. En: Lot, A. y Z. Cano- Santana (Eds.), Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Pp. 135-141.
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper.** 2006. Ecology. From individuals to ecosystems. Cuarta edición. Blackwell, Oxford.
- Bland, J. M. y D. G. Altman.** 1998. Statistics notes: survival probabilities (the Kaplan-Meier method). *British Medical Journal* 317: 1572.
- Bond, W. J.** 1994. Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 344: 83-90.
- Bowers, J. E.** 2002. Flowering patterns and reproductive ecology of *Mammillaria grahamii* (Cactaceae), a common, small cactus in the Sonoran Desert. *Madroño* 49: 201–206.
- Bravo-Hollis, H.** 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada.** 1991. Las cactáceas de México. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Bravo-Mendoza, M., A. Espinosa-Cantú, I. Castellanos-Vargas y Z. Cano-Santana.** 2007. Tamaño de *Neobuxbaumia tetetzo* y longitud de sus espinas apicales en un gradiente de luz bajo *Mimosa luisana*, un arbusto nodriza. *Acta Botánica Mexicana* 79: 69-80.

Callaway, R. M. 1995. Positive interactions among plants (Interpreting botanical progress). *The Botanical Review* 61: 306-349.

Cano-Santana, Z. 1994. La Reserva del pedregal como ecosistema: estructura trófica. En: A. Rojo (Ed.), *Reserva ecológica El Pedregal de San Ángel: ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Pp. 149-158

Cano-Santana, Z. y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias* 41: 58-68.

Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, P.E. Mendoza-Hernández, R. León-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L.C. Ruiz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. En: Oyama, K. y A. Castillo (Eds.), *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México*. Universidad Nacional Autónoma de México y Siglo XXI, México D. F. Pp. 203-226.

Castillo-Argüero, S., G. Montes-Cartas, M. A. Romero-Romero, Y. Martínez-Orea, P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallen y O. Núñez-Castillo. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F. México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74: 51-75.

Castillo-Argüero S., Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Gallén y J.A. Meave. 2007. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Aspectos florísticos y ecológicos. Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F.

Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, J. A. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Núñez-Castillo, G. Santibáñez- Andrade y P. Guadarrama-Chávez. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. En: Lot, A. y Z. Cano- Santana (Eds.), *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Pp. 107-117

- Cervera, J.C., J. L. Andrade, E. A. Graham, R. Durán, P. C. Jackson y J. L. Simá.** 2007. Photosynthesis and optimal light microhabitats for a rare Cactus, *Mammillaria gaumeri*, in two tropical ecosystems. *Biotropica* 39: 620–627.
- Coronel, V.** 2002. Distribución y re-establecimiento de *Opuntia megasperma* var. *orientalis* Howell. (Cactaceae) en Punta Cevallos, Isla Española - Galápagos. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay, Cuenca.
- De Candolle, A. P.** 1828. Revue de la famille des Cactées. Postscriptum [présenté à la Société Helvétique des Sciences Naturelles, séance à Lausanne le 22 juillet 1828]. *Mémoires du Museum d'Histoire naturelle de Paris* 17: 107-119.
- Fiedler, P. L. y Laven, R. D.** 1996. Selecting reintroduction sites. En: Falk, D. A., C. I. Millar y M. Olwell (Eds.), *Restoring diversity. Strategies for reintroduction of endangered plants*. Island Press, Washington, D.C. Pp. 157-170.
- Fox, J.** 2005. The R Commander: a basic statistics graphical user interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14: 1-42.
- Franco, A. C. y P. S. Nobel.** 1989. Effect of nurse plants on the micro-habitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77: 870-886.
- García, E.** 1988, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana)*. Quinta edición. Offset Larios, México, D.F.
- García-Rubio, O. R. y G. Malda-Barrera.** 2010. Micropropagation and reintroduction of the endemic *Mammillaria mathildae* (Cactaceae) to its natural habitat. *Horticultural Science* 45: 934-938.
- Gibson, A. C. y P. S. Nobel.** 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press, Boston.
- Godínez-Álvarez, H., T. Valverde y P. Ortega-Baes.** 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review* 69: 173-203.

- Grime, J. P.** 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111: 1169-1194.
- Grime, J. P.** 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester.
- Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila.** 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Hacker, S. D. and S. D. Gaines.** 1997. Some implications of direct positive interactions for community species diversity. *Ecology* 78: 1990–2003.
- Hernández, T.** 1991. Las cactáceas en la dieta de tres especies mamíferos en un matorral crasicaule de Tula, Tamaulipas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 36: 65-69.
- Hunt, D.** 1977. Schumann & Buxbaum Recompiled (3). *The Cactus and Succulent Journal of Great Britain* 39: 97-100.
- Hunt, D.** 2006. *The new cactus lexicon*. David Hunt Books, Milborne Port.
- IUCN.** 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.1. <<http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 16 June 2011.
- Lot, A.** 2008. 25 años de la reserva del Pedregal de San Ángel. *Ciencias* 1: 30-32.
- Mandujano, M., A. Flores-Martinez., J. Golubov y E. Ezcurra.** 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist* 47: 162-168.
- Mauseth, J.D.** 2006. Structure-function relationships in highly modified shoots of Cactaceae. *Annals of Botany* 98: 901-926.
- Mayo, V.** 2003. Reintroducción de *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem. A partir de plántulas propagadas *in vitro*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco.

- McAuliffe, J. R.** 1984. Prey refugia and the distributions of two Sonoran Desert cacti. *Oecologia* 65: 82-85.
- Munguía-Rosas, M. A. y V. Sosa.** 2008. Nurse plants vs. nurse objects: effects of woody plants and rocky cavities on the recruitment of the *Pilosocereus leucocephalus* columnar cactus. *Annals of Botany* 101: 175–185.
- Nabhan, G.** 1975. Nurse plant ecology of threatened desert plants. En: Elias T. S. (Ed.), Conservation and management of rare and endangered plants: proceedings of a California conference on the conservation and management of rare and endangered plants. California Native Plant Society, Sacramento. Pp. 377-383.
- Nobel, P. S.** 1977. Water relations and photosynthesis of a barrel cactus, *Ferocactus acanthodes*, in the Colorado Desert. *Oecologia* 27: 117-133.
- Nobel, P. S.** 1980. Morphology, nurse plants, and minimum apical temperatures for young *Carnegieia gigantea*. *Botanical Gazette* 141: 188-191.
- Nobel, P.S.** 1998. Los incomparables agaves y cactus. Trillas, México, D. F.
- Nobel P. S. y Hartsock T. L.** 1983. Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiology* 71: 71–75
- Olwell, P., A. Cully y P. Knight.** 1990. The establishment of a new population of *Pediocactus knowltonii* third year assessment. En: Mitchell, R. S., C. J. Sheviak y D. J. Leopold (Eds.), Ecosystem management: rare species and significant habitats. Museum Bulletin 471, Albany, New York State Museum. Pp. 189-193.
- Pavlik, B. M.** 1996. Defining and measuring success. En: Falk, D. A., C. I. Millar y M. Olwell (Eds.), Restoring diversity. Strategies for reintroduction of endangered plants. Island Press, Washington, D.C. Pp. 127-156.

- Peters, E. M., C. Martorell y E. Ezcurra.** 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 72: 593-601.
- Pimienta-Barrios E., M. E. González y P. S. Nobel.** 2002. Ecophysiology of a wild platyopuntia exposed to prolonged drought. *Environmental and Experimental Botany* 47: 77-86.
- R Development Core Team.** 2006. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Reyes-Olivas, A., E. García-Moya y L. López-Mata.** 2002. Cacti–shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments* 52: 431-445.
- Rubluo, V., V. Chávez, A. P. Martínez y O. Martínez-Vázquez.** 1993. Strategies for the recovery of endangered Orchids and Cacti through *In-vitro* culture. *Biological Conservation* 63: 163-169.
- Rzedowski, J.** 1954. La vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 8: 59-429.
- Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski.** 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. I. Compañía Editorial Continental S. A, México, D.F.
- Sánchez-Mejorada, H.** 1981. Un nombre nuevo para una cactácea del Anáhuac. *Cactáceas y succulentas mexicanas* 25: 6-10.
- Santibáñez-Andrade, G., S. Castillo-Argüero y J. A. Zavala-Hurtado.** 2009. La heterogeneidad ambiental en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel D.F., México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 85: 71-79.
- Scheinvar, L.** 1985. Cactaceae. En: Rzedowski, J. y G. Rzedowski (Eds.), Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. 2. Escuela nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional e Instituto de Ecología A. C. México, D. F. Pp. 93-135.

- SEMARNAT.** 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación. 2a. Sección. 31 Diciembre de 2002.
- SEMARNAT.** 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Diario Oficial de la Federación. 2a. Sección. 30 Diciembre de 2010.
- Shreve, F.** 1910. The rate of establishment of the giant cactus. *Plant World* 13: 235-240.
- Siebe, C.** 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. En: Lot, A. y Z. Cano- Santana (Eds.), Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Pp. 43-49.
- Stiling, P., A. M. Rossi, y D. Gordon.** 2000. The difficulties of single factor thinking in restoration: replanting a rare cactus in the Florida Keys. *Biological Conservation* 94: 327-333.
- Tambussi, E.A.** 2004. Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Turner, R. M., S. M. Alcorn, G. Olin, y J. A. Booth.** 1966. The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical gazette* 127: 95-102.
- Valencia, R., N. Pitman, S. León-Yáñez y P.M. Jørgensen.** 2000. Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Valiente-Banuet, A. y G. E. de Luna.** 1990. Una lista florística actualizada para la Reserva del Pedregal de San Ángel, México, D. F. *Acta Botánica Mexicana* 9: 13-30.
- Valiente-Banuet, A. y E. Ezcurra.** 1991. Shade as the cause of association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- Valverde, T. y V. Chávez.** 2009. *Mammillaria* (Cactaceae) como indicadora del estado de conservación del ecosistema. En: Lot, A. y Z. Cano- Santana (Eds.), Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Pp. 497-507.

Vázquez-Sánchez, M. y T. Terrazas. 2011. Stem and wood allometric relationships in Cactaceae (Cactaceae). *Trees Structure and Function* 25:755-767.

Virginia, R. A. 1986. Soil development under Legume tree canopies. *Forest Ecology and Management* 16: 69-79.

Walker, L. R., D. B. Thompson y F. H. Landau. 2001. Experimental manipulations of fertile islands and nurse plant effects in the Mojave Desert, USA. *Western North American Naturalist* 61: 25-35.

Zúñiga, B., G. Malda y H. Suzán. 2005. Interacciones planta-nodriza en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un desierto subtropical de México. *Biotrópica* 37: 351-356.