



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

TESIS

REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS MICROPROPAGADAS DEL
ESTADO DE AGUASCALIENTES

PRESENTA

M. en C. Ernestina Meza Rangel

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
EN EL ÁREA DE ECOLOGÍA

TUTORES

Dr. Eugenio Pérez Molphe-Balch

Dr. Felipe Tafoya Rangel

ASESOR DE TESIS

Dr. Roberto Lindig Cisneros

Aguascalientes, Aguascalientes 7 de enero de 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES



ANIVERSARIO
UAA

Centro de Ciencias Básicas

**M. en C. ERNESTINA MEZA RANGEL
ALUMÑO (A) DEL DOCTORADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E .**

Estimado (a) alumno (a) Meza:

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los revisores de su trabajo de tesis y/o caso práctico titulado: "REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS MICROPROPAGADAS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES", hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su examen de grado.

Sin otro particular me permito saludarle muy afectuosamente.

A T E N T A M E N T E
Aguascalientes, Ags., 7 DE ENERO DE 2014
"SE LUMEN PROFERRE"
EL DECANO

M. en C. JOSÉ DE JESÚS RUIZ GALLEGOS



c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Biología
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Interesado (a)
JJRG,mjda



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS
Departamento de Química



ANIVERSARIO
UAA

M. en C. José de Jesús Ruíz Gallegos
Decano del Centro de Ciencias Básicas
P R E S E N T E:

Por medio de la presente como Tutor designado de la estudiante **M. en C. ERNESTINA MEZA RANGEL** con ID número **115728**, quien realizó la tesis titulada **"REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS MICROPROPAGADAS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES"**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el VOTO APROBATORIO, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 29 de mayo de 2013.

Dr. Eugenio Pérez Molphe Balch
Cotutor de Tesis
Departamento de Química
Centro de Ciencias Básicas

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Biología
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

M. EN C. JOSÉ DE JESÚS RUÍZ GALLEGOS
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS

P R E S E N T E

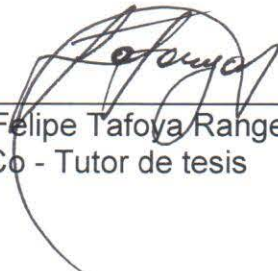
Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **ERNESTINA MEZA RANGEL** con ID 115728 quien realizó la tesis titulada: **REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS MICROPROPAGADAS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

“Se Lumen Proferre”

Aguascalientes, Ags., a 29 de mayo de 2013.



Dr. Felipe Tafuya Rangel
Co - Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. De Biología
c.c.p.- Consejo Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

28 de Mayo del 2013, Aguascalientes, Aguascalientes.

M. en C. José de Jesús Ruíz Gallegos

Decano del Centro de Ciencias Básicas

PRESENTE

Por este conducto hago de su conocimiento que la **M. en C. Ernestina Meza Rangel** (I.D. 115728) egresada del **Doctorado en Ciencias Biológicas** del Área de **Ecología** de la Universidad Autónoma de Aguascalientes ha integrado satisfactoriamente el documento de tesis titulado "**Reintroducción de Cactáceas Micropropagadas del Estado de Aguascalientes**" por lo que doy mi voto aprobatorio para que continúe con los trámites para presentar el examen de grado reglamentario.

Atentamente,

Dr. Roberto Lindig Cisneros

Asesor de tesis

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma de Aguascalientes y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca 88470 otorgada durante mis estudios.

Agradezco a mis tutores y asesores de tesis Dr. Eugenio Pérez Molphe Balch, Dr. Felipe Tafoya Rangel, Dr. Roberto Lindig Cisneros y Dr. Jesús Sigala Rodríguez por su gran ayuda en la conclusión de mi trabajo.

A mis padres, hermanos y tías Carmen y Benita por su cariño y por ser ejemplo para mí de dedicación y constancia en el trabajo.

A la Familia Sigala Rodríguez por su presencia y apoyo constante.

Agradezco también a mis maestros y compañeros que contribuyeron de varias maneras a la realización de este trabajo: Margarita de la Cerda Lemus, Gerardo García Regalado, Octavio Rosales Carrillo, Ma. Elena Siqueiros Delgado, Jaime Escoto Rocha, Roberto Rico Martínez, Sofía Sigala Meza, Gabriel González Adame, Alberto Rodríguez Ávalos, Martha Evelia Pérez Reyes, Silvestre Delgadillo Díaz de León, Eric Sigala Meza, Diana López Silva, Ma. Guadalupe Mata Pérez, Daniela Cano Sotomayor, Rebeca Ávalos, Juan Carlos Arias, Dolores Barba Ávila, Irma Adriana Castro Gallo, Isaac Reyes Silva, Carlos Antonio Dávila Figueroa y Mary Díaz Amaro.

A quienes proporcionaron fotografías para su inclusión en este trabajo: Sofía Sigala Meza, Jesús Sigala Rodríguez y Silvestre Delgadillo Díaz de León.

A todos mis amigos y compañeros que en muchos momentos me han animado a seguir adelante.

Gracias a todos.

Dedicatorias

A Sofia, Eric y Jesús por ser la motivación en mi vida y alentarme a seguir adelante.

A mis padres Arturo[†] y Ernestina, hermanos y sobrinos por ser la mejor familia que existe.



Índice General

Índice General.....	1
Índice de tablas.....	2
Índice de Figuras.....	3
Acrónimos.....	5
Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
I. Antecedentes	11
1.1 La Biotecnología aplicada a la conservación de Cactáceas	11
1.2. Descripción de las especies a trabajar.....	16
1.3. Reintroducción de especies vegetales.....	21
II. Justificación.....	23
III. Hipótesis de trabajo.....	24
IV. Objetivos.....	24
V. Metodología.....	25
VI. Discusión de resultados.....	31
Conclusiones.....	54
Glosario.....	56
Bibliografía.....	57
Anexos.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Antecedentes sobre el cultivo y propagación <i>in vitro</i> de cactáceas	13
Tabla 2. Localidades visitadas, especies observadas, características de la localidad y percepción sobre el estado de conservación de la localidad.....	32
Tabla 3. Número de brotes obtenidos de <i>Ferocactus histrix</i> con 0.5 mg/ L de BA.....	37
Tabla 4. Número de brotes obtenidos de <i>M. bombycina</i> con diferentes concentraciones de BA.....	37
Tabla 5. Porcentaje de germinación para <i>M. perezdelarosae</i>	38



Índice de Figuras

Figura 1. <i>Mammillaria bombycina</i>	16
Figura 2. <i>Mammillaria perezdelarosae</i>	18
Figura 3. <i>Ferocactus histrix</i>	20
Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología	30
Figura 5. <i>F. histrix</i> en Túnel de Potrerillos, Ags	34
Figura 6. <i>M. bombycina</i> en Río Gil, Ags. en el extremo inferior derecho se puede ver un ejemplar de <i>F. histrix</i>	34
Figura 7. <i>M. bombycina</i> entre rocas, Calvillo, Ags.....	35
Figura 8. <i>M. bombycina</i> en asociación con musgo en los Alisos, Ags.....	35
Figura 9. <i>M. perezdelarosae</i> sobre roca desnuda, en los planes, Ags.....	36
Figura 10. <i>M. perezdelarosae</i> asociada a musgo, en el Ocote, Ags.....	36
Figura 11. <i>F. histrix</i> en fase de proliferación mostrando algunos brotes	38
Figura 12. <i>F. histrix</i> creciendo en condiciones de invernadero	39
Figura 13. <i>M. bombycina</i> mostrando brotes y tejido calloso	39
Figura 14. <i>M. bombycina</i> en medio de enraizamiento con carbón activado	40
Figura 15. <i>M. bombycina</i> en condiciones de invernadero	40
Figura 16. Semilla de <i>M. perezdelarosae</i> en etapa de germinación	41
Figura 17. Mapa de localidades visitadas para las tres especies en estudio	42
Figura 18. Modelo de la distribución potencial de <i>F. histrix</i> en el estado de Aguascalientes representado por las zonas grises en el mapa. Los puntos verdes representan localidades en donde se encontró la especie	43
Figura 19. Modelo de la distribución potencial de <i>M. bombycina</i> en el estado de Aguascalientes representada por las zonas grises en el mapa. Los puntos amarillos representan localidades en donde se encontró la especie.....	43
Figura 20. Modelo de la distribución potencial de <i>M. perezdelarosae</i> en el estado de Aguascalientes representada por las zonas grises en el mapa. Los puntos rosa representan localidades en donde se encontró la especie	44
Figura 21. Plantas introducidas al medio natural sin protección.....	47
Figura 22. <i>M. bombycina</i> y <i>F. histrix</i> con protección física provista por la malla	47

Figura 23. Plantas protegidas con malla orientadas ladera abajo para menor
acumulación de hojarasca 48

Figura 24. *M. bombycina* con protección de malla y expuestas al sol en la estación de
transferencia, Calvillo, Ags..... 48



Acrónimos

AIB: Ácido indolbutírico

ANA: Ácido naftalenacético

BA: Benciladenina

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad

Fh: *Ferocactus histrix*

GPS: global positioning system (sistema de posicionamiento global)

INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

Mb: *Mammillaria bombycina*

mg/L: miligramos por litro

Mp: *Mammillaria perezdelarosae*

MS: Murashige y Skoog, 1962

NOM 059-SEMARNAT 2010: Norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT 2010, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo.

SIG: Sistema de Información Geográfica

TDZ: Tidiazurón

μM : Micromolar

Resumen

Las cactáceas de México son un grupo representativo de la flora Nacional que se encuentra con problemas de conservación debido a la sobreexplotación y el saqueo del cual han sido objeto. En este trabajo se revisó la distribución actual de tres especies de cactáceas sujetas a protección especial dentro del estado de Aguascalientes: *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae*, se generó su distribución potencial mediante la técnica de modelado de nicho ecológico, se realizó su propagación mediante cultivo de tejidos vegetales y se evaluó un esfuerzo de reintroducción de las plantas obtenidas en áreas naturales. El trabajo de campo mejoró de manera significativa el conocimiento de la distribución de las especies en el estado de Aguascalientes. En la fase de la propagación mediante cultivo de tejidos vegetales se obtuvieron 1.49 brotes por explante con 0.5 mg/L de benciladenina (BA) para *F. histrix*, 2.39 brotes con 1mg/L de BA para *M. bombycina* y 1.4 brotes por explante con 0.5 mg/L de BA para *M. perezdelarosae*. En la fase de reintroducción se usó la información cartográfica disponible, los mapas obtenidos en la fase de modelado y el material vegetal obtenido por cultivo de tejidos para realizar la reintroducción en dos localidades: la Estación Biológica “Agua Zarca” de la UAA y la estación de transferencia de residuos sólidos cercana al municipio de Calvillo. Mientras que en esta última localidad no hubo sobrevivencia, en “Agua Zarca” se obtuvo un 5% de sobrevivencia para *F. histrix* y un 12.5% para *M. bombycina* cuando fueron protegidas con malla de alambre. Factores como la presencia de plantas nodrizas, las condiciones ambientales y la protección física contra predadores, fueron de vital importancia en el establecimiento o sobrevivencia de las plantas en campo.

Abstract

The Cactaceae in Mexico is a representative group for the national flora that faces conservation threats due to overexploitation and smuggling at national and state levels. In this work the present distribution of three species of federally protected cacti in the state of Aguascalientes, Mexico: *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae*, was revised, their potential distribution was generated using the ecological niche modeling technique, were propagated by vegetative tissue culture and a reintroduction to natural areas attempt was evaluated. The field work improved substantially the known distribution of the three species in the state of Aguascalientes. In the tissue culture phase 1.49 shots per explant with 0.5 mg/L of Benzyladenine (BA) for *F. histrix* were obtained, 2.39 shots per explant with 1 mg/L of BA for *M. bombycina* and 1.4 shots per explant with 0.5 mg/L of BA for *M. perezdelarosae*. The available cartographical information, the maps obtained from the modeling and the plant material obtained in the tissue culture phase were used to carry out a reintroduction in two localities, one at Biological Station “Agua Zarca” property of UAA and a waste transfer Station close to Calvillo municipality. While in the later locality we observed zero survival in “Agua Zarca” we achieved a 5% survival for *F. histrix* and 12.5% for *M. bombycina* when the plants were protected with a wire enclosure. The presence of nursing plants, the environmental conditions and the physical protection against predators were critically important in the establishment or survival of the plants in the field.

INTRODUCCION

El término biodiversidad se refiere al rango de variación presentado por los organismos y sus ambientes. La biodiversidad es esencial para la adaptación a ambientes específicos y para la evolución continua de las especies y puede referirse a la variación presente dentro de un gen, un organismo, una especie, una población o un ecosistema (Boyle y Anderson 2002). La biodiversidad se encuentra distribuida de manera irregular en el planeta, con países que concentran una riqueza biológica de manera inusual, siendo México un caso especial, ya que es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo.

Dentro de esta biodiversidad, la familia de las cactáceas sobresale dentro de la flora Americana con más de 1,500 especies. Este grupo habita en una amplia diversidad de regiones climáticas y ecosistemas en todo el Nuevo mundo, y se distribuye desde los 58° latitud N en Canadá hasta los 50° latitud S en la Patagonia, incluyendo áreas tropicales y subtropicales, aunque la mayoría de las especies son encontradas en zonas áridas.

Las cactáceas frecuentemente sobreviven como especies endémicas con diferentes grados de situación de amenaza (Ramírez -Malagón *et al.* 2007). Varias especies de *Opuntia* y varios géneros de la subfamilia Cactoideae han sido introducidas a África, Asia y Australia, en donde se han naturalizado (Anderson 2001).

México es probablemente el país con mayor diversidad de estas especies, ya que existen más de 800 reconocidas en el territorio nacional, presenta además un gran índice de endemismos. Esta diversidad en nuestro país se ha atribuido a lo accidentado de su fisiografía, las grandes cadenas montañosas, la numerosa variedad de tipos de suelos, los amplios litorales, los altiplanos, los valles, las cuencas fluviales, etc. (Bravo-Hollis 1978).

En general, las cactáceas tienen gran importancia económica como plantas ornamentales, como fuente de alimento tanto para el hombre como para los animales, algunas especies producen sustancias de interés industrial o farmacéutico, siendo por lo mismo, indispensable su conocimiento, conservación y cultivo. En el estado de Aguascalientes las cactáceas ocupan un lugar destacado en su flora. Las condiciones climáticas del estado son favorables para el desarrollo de las cactáceas, ya que más de la mitad del territorio es semiárido (De la Cerda 1999). Para Aguascalientes se reportan 70 especies distribuidas en 13

géneros: *Opuntia* con 24 especies, *Mammillaria* con 18, *Stenocactus* con ocho, *Coryphantha* con siete, *Echinocereus* con tres, *Ferocactus* con dos, *Stenocereus* con dos y *Echinocactus*, *Lophophora*, *Myrtillocactus*, *Neolloydia*, *Pachycereus* y *Peniocereus* con una especie cada una (Quezada-Guzmán *et al.* 2000).

Muchas especies de cactáceas están consideradas como amenazadas o en peligro de extinción (Oldfield 1997; Hunt 1999), por lo que algunos países con altos grados de diversidad como México, han realizado acciones de conservación. En consecuencia, muchas cactáceas han sido incluidas en listas rojas y en la determinación de áreas prioritarias para la conservación (Oldfield 1997; Godínez-Álvarez *et al.* 2003).

Las cactáceas son vulnerables debido a su distribución geográfica restringida, sus largos ciclos de vida y sus bajas tasas individuales de crecimiento (Hernández y Godínez 1994; Godínez-Álvarez *et al.* 2003). Además, el éxito de algunas etapas como la polinización y la dispersión de las semillas dependen de la participación de otros organismos. Adicionalmente, las cactáceas también han sido afectadas por actividades humanas como la introducción de animales, destrucción del hábitat, colecta ilegal y tráfico internacional (Anderson 2001).

Existen tres formas en que podríamos conservar las cactáceas. Primero, dejándolas en su hábitat natural sin perturbarlas. Segundo, dejando ciertas áreas especiales como reservas naturales o áreas protegidas que contengan a éstas plantas. Ambas formas mencionadas se conocen como conservación *in situ*, ya que conservan a los organismos y su hábitat. Y tercero, conservando a la planta lejos del peligro, aunque esto implicaría que estuvieran fuera de su hábitat, por ejemplo en jardines botánicos, lo que es llamado conservación *ex situ* (Anderson 2001).

Actualmente, muchas especies de cactáceas están consideradas como amenazadas o en peligro de extinción (Oldfield 1997; Hunt 1999), por lo que algunos países con altos grados de diversidad como México, han realizado acciones de conservación (Fay 1994). Una herramienta de gran valor utilizada actualmente para la resolución de problemas básicos y aplicados a la biotecnología es el cultivo de tejidos vegetales o cultivo *in vitro*, que permite el establecimiento, mantenimiento y desarrollo de cualquier parte de una planta bajo condiciones controladas (Pérez-Molphe *et al.* 1999).

El cultivo *in vitro* tiene muchas ventajas sobre las técnicas de propagación tradicional en el manejo de algunas especies, entre las que se encuentran la multiplicación rápida bajo condiciones controladas, los cultivos libres de patógenos y control sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas mediante la inclusión de reguladores de crecimiento vegetal u hormonas (Fay 1994). Con esta técnica, un gran número de brotes pueden ser producidos con pequeñas cantidades del material inicial, en algunos casos, tan pequeña como un brote o una semilla. Varios autores han aplicado las técnicas de cultivo de tejidos como una alternativa para la preservación de cactáceas amenazadas (Vyskot y Jára 1984; Rubluo *et al.* 1989; Pérez-Molphe *et al.* 1998).

Las plantas propagadas mediante el cultivo de tejidos tienen la posibilidad de reestablecerse o reintroducirse en un área de donde hayan sido extraídas y así establecer poblaciones que se mantengan por sí mismas, preferentemente en un hábitat relativamente intacto o que pueda ser parte de un hábitat que haya sido restaurado (Maunder 1992). Estas reintroducciones pueden beneficiarse de la multiplicación de plantas a través del cultivo de tejidos y del gran número de semillas o explantes para ser usados en sitios de reproducción. También se debe hacer un esfuerzo para mantener los patrones idóneos de variación genética de las plantas al usar material que haya sido originado de los lugares de la reintroducción. Es así que la reintroducción de plantas en su hábitat natural o seminatural se está convirtiendo en una estrategia cada vez más usada para la conservación (Maunder 1992).

Por otro lado, los mapas de distribución son centrales para el estudio de los patrones biogeográficos. Los mapas que se usan con mayor frecuencia son los mapas de puntos y de áreas sombreadas, pero tienen varias desventajas. Los mapas de áreas sombreadas intentan representar la distribución de la especie en cuestión al incluir áreas alrededor de las localidades de colecta, y aún y cuando este proceso toma en cuenta variables ambientales, no deja de ser un proceso subjetivo que tiende a sobre estimar la distribución. Por otro lado, los mapas de puntos son mucho más precisos en la estimación de localidades conocidas, pero tienden a subestimar de manera muy marcada la distribución real en áreas que no han sido muestreadas o han sido muestreadas deficientemente (Anderson *et al.* 2002).

Finalmente, el modelado de nicho ecológico es una técnica que se está usando con mayor frecuencia últimamente para predecir áreas de distribución basado en variables ambientales, información de presencia de las especies y algoritmos que estiman el nicho

climático usando información ambiental y de localidad (Guisan y Zimmermann 2000; Graham *et al.* 2004). A pesar de las imprecisiones intrínsecas de la técnica (Pearson *et al.* 2006), tiene un gran rango de aplicaciones que van desde teoría de conservación de nicho y especiación (Peterson *et al.* 1999; Wiens 2004), cambio climático (Peterson *et al.* 2002; Ballesteros-Barrera *et al.* 2007), biología de especies invasoras (Peterson 2003), muestreo biológico de especies raras (Guisan *et al.* 2006; Pearson 2007), agricultura (Sánchez-Cordero y Martínez-Meyer 2000), salud humana y animal (Peterson 2003; Peterson *et al.* 2005), exclusión y liberación competitiva (Anderson *et al.* 2002), entre muchas otras (Kozak *et al.* 2008). Las ventajas que las técnicas de modelado de nicho ecológico tienen sobre el muestreo directo, incluyen la eficiencia en tiempo y la precisión y son superiores a las técnicas frecuentemente usadas para fines de conservación, como el análisis GAP (Peterson y Kluza 2003). Adicionalmente, el modelado de nicho ecológico puede crear predicciones de distribución aceptables con un número muy pequeño de puntos de colecta (Pearson 2007).

I. ANTECEDENTES

1.1. LA BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA CONSERVACIÓN DE CACTÁCEAS.

Las técnicas de propagación vegetativa son muy importantes para la conservación de la integridad genética del material vegetal. Las mismas se han desarrollado a lo largo de varios siglos y la investigación en este campo es todavía muy activa (Iriondo 2001). Su utilización en el campo de especies vegetales amenazadas reside fundamentalmente en los jardines botánicos y áreas protegidas, a la hora de multiplicar material vegetal para su exposición, con fines de estudio o intercambio. Estas técnicas también pueden ser utilizadas para la obtención de material vegetal destinado a trabajos de restauración ecológica, introducción o reintroducción, cuando la reproducción por métodos tradicionales no resulta factible o eficaz.

A continuación se mencionan las etapas básicas de que consta la técnica de propagación *in vitro*:

- a) Selección de las plantas madre. Esta etapa es importante porque durante ella se elige o seleccionan las plantas que serán utilizadas para iniciar los cultivos *in vitro*, lo cual es importante ya que al tratarse de un sistema de propagación clonal las plantas que se generen a partir de este sistema tendrán las características genotípicas de la planta madre. Es por ello que a menudo las plantas que se utilizarán como planta madre son

sometidas a procesos de desinfección rigurosos asegurando así que estas estén libres de contaminación. La selección de estos individuos se debe realizar en bancos de germoplasma de alta calidad genética y fitosanitaria o en plantaciones destinadas a semilla, con adecuada agrotécnica y adecuados sistemas fitosanitarios preventivos.

b) Establecimiento de cultivos axénicos.

Es dicha etapa se inician los cultivos axénicos que se obtienen al realizar la esterilización del explante el cual ha sido elegido previamente. El tipo de explante que se elija dependerá de la especie de que se trate y del sistema de proliferación que se aplique. (Pérez- Molphe *et al.* 1999).

c) Multiplicación del tejido.

En esta etapa obtienen una gran cantidad de brotes a partir de pequeñas cantidades de tejido, por cualquiera de las vías de multiplicación *in vitro* (organogénesis, embriogénesis somática y multiplicación por yemas, ápices o meristemos).

d) Elongación y Enraizamiento.

La mayoría de los brotes obtenidos no forman sistema radical por eso es que en esta etapa se pretende que los brotes lo formen y elonguen para que su adaptación a condiciones externas sea mejor.

e) Fase de aclimatación.

En esta fase las plántulas que se encuentran en condiciones de esterilidad en frascos o tubos de ensayo y con alta humedad relativa deben comenzar a aclimatarse quitando la cubierta del frasco poco a poco; con lo que se logrará que la planta se vaya adaptando a condiciones autótrofas, donde tendrá que regular sus procesos de absorción, translocación y transpiración de agua (Hurtado y Merino 1994).

Estas técnicas de cultivo de tejidos pueden complementarse con otras que se realizan *in situ* y su combinación puede ser de gran importancia para la recuperación de diferentes especies amenazadas (Touchell y Dixon 1999). En la tabla 1 se muestra un resumen de trabajos realizados en la propagación de especies por técnicas de cultivo *in vitro*.

Tabla 1. Antecedentes sobre el cultivo y propagación *in vitro* de Cactáceas.

Especie	Avance reportado
<p><i>Coryphanta vivipara</i>, <i>Echinocereus pectinatus</i>, <i>Ephiphyllum</i>, <i>Hatiora salicomioides</i>, <i>Lobivia binghamiana</i>, <i>L. lateritia</i>, <i>Notocactus scopa</i>, <i>Opuntia basilaris</i>, <i>Pachycereus pringlei</i>, <i>Rhipsalis aculeata</i> y <i>Selenicereus grandiflorus</i>.</p>	<p>Definición de un medio de cultivo, uso de reguladores de crecimiento. Obtención de tejido calloso en todas las especies (Mauseth 1977).</p>
<p><i>Opuntia polyacantha</i>, <i>Mammillaria elongata</i>, <i>Hylocereus calcaratus</i>, <i>Rhipsalis teres</i>, <i>Weberocereus biolleyi</i>, <i>Eryrorhipsalis pilocarpa</i>, <i>Ephiphyllum grandiflorum</i> y <i>E. phyllanthus</i>.</p>	<p>Usando diferentes concentraciones de auxinas y citocininas obtuvieron tejido calloso en las especies y probaron que el cultivo de tejidos es exitoso para propagar especies si se encuentra un balance adecuado de reguladores de crecimiento para cada especie (Johnson y Emino 1979)</p>
<p><i>Astrophytum miryostigma</i>, <i>Aylostera pseudodeminuta</i>, <i>Copiapoa tenuisima</i>, <i>Echinopsis tubiflora</i>, <i>Gymnocactus viereckii</i>, <i>Mammillaria prolifera</i>, <i>Pediocactus knowltonii</i>, <i>Pelecypora valdeziana</i> y <i>Turbinicarpus krainzianus</i></p>	<p>Desarrollo de un método de aislamiento de microexplantes, causando así poco daño a las plantas y pudiendo tomar muestras en diferentes estados de desarrollo de las plantas. Obtuvieron tejido calloso haciendo variar la composición del medio de cultivo para las diferentes especies (Havel y Kolar 1983).</p>
<p><i>Astrophytum myriostygma</i>, <i>Mammillaria carmenae</i> y <i>Trichocereus spachianus</i></p>	<p>Propagación de cactus por yemas axilares <i>in vitro</i>, utilizaron explantes conteniendo sitios con meristemas axilares de donde se obtuvieron brotes. Usaron bajas concentraciones de auxinas y citocininas y se observó alta estabilidad y uniformidad genética de las plantas clonadas (Vyskot y Jára 1984).</p>
<p><i>Leuchtenbergia principis</i></p>	<p>Examinó el potencial de propagación de especies de cactus y suculentas por multiplicación de meristemas apicales.</p>

	Con <i>L. principis</i> se obtuvieron 25 brotes por ápice (Starling 1985).
<i>Opuntia amyclaea</i>	Usando yemas axilares y medio MS y 10BA μ M produjeron 25,000 plántulas enraizadas en 100 días (Escobar <i>et al.</i> 1986).
<i>Mammillaria san-angelensis</i>	Propagación masiva de esta especie, usando BA sola o combinada con ANA y usando explantes laterales (Martínez Vázquez y Rubluo 1989).
<i>Mediocactus coccineus</i>	Proliferación y embriogénesis somática de esta especie en MS, enriquecido con ANA y BA (Infante 1992).
21 especies de los siguientes géneros: <i>Astrophytum</i> , <i>Cephalocereus</i> , <i>Coryphantha</i> , <i>Echinocactus</i> , <i>Echinocereus</i> , <i>Echinofosulocactus</i> , <i>Ferocactus</i> , <i>Mammillaria</i> , <i>Nyctocereus</i> y <i>Stenocactus</i>	Desarrollo del sistema de propagación, se logró la formación de múltiples brotes usando MS con BA ó BA más ANA. Enraizadas con AIA o AIB y teniendo 70 a 90% de sobrevivencia en suelo (Pérez-Molphe <i>et al.</i> 1998).
<i>Acharagma aguirreana</i> , <i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Coryphantha elephantidens</i> , <i>Ferocactus flavovirens</i> , <i>Mammillaria bocasana</i> , <i>M. oteroi</i> , <i>Pachycereus schottii</i> , <i>Pilosocereus chrysacanthus</i> , <i>Stenocereus stellatus</i> y <i>Thelocactus hexaedrophorus</i> .	Desarrollo de los sistemas de propagación para todas las especies, utilizando MS y diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento para cada una de ellas (Castro-Gallo <i>et al.</i> 2002).
<i>Pelecyphora aselliformis</i> y <i>P. strobiliformis</i>	Propagación eficiente utilizando explantes laterales y transversales y tratamientos con citocininas lograron formación de múltiples brotes. Sobrevivencia en suelo del 88% (Pérez-Molphe y Dávila-Figueroa 2002).
<i>Carnegia gigantea</i> , <i>Pachycereus pringlei</i> y <i>Stenocereus thurberi</i>	Formación de múltiples brotes de areólas con 3 tipos de explantes, apical, lateral y transversal. Eficaz enraizamiento usando MS y 3% de sacarosa y 1mg/L de AIB (Pérez-Molphe <i>et al.</i> 2002).
<i>Escobaria minima</i> , <i>Mammillaria pectinifera</i> y <i>Pelecyphora</i>	Probaron 25 medios con ANA y BA, Cinetina o TDZ. TDZ indujo tejido caloso y proliferaron brotes axilares con

<i>aselliformis</i>	hiperhidricidad. Alta tasa de multiplicación con BA en <i>E. minima</i> y <i>M. pectinifera</i> (Guisti <i>et al.</i> 2002).
<i>Notocactus magnificus</i>	Regeneración de brotes a partir del callo con MS y BA y ANA o de Cinetina y AIA. Obtención de 6 brotes por explante con MS y 22.2µM de BA, 3% sacarosa y 0.6% de agar (De Medeiros <i>et al.</i> 2006).
<i>Mammillaria bocasana</i> , <i>M. densispina</i> , <i>M. hanniana</i> , <i>M. hutchinsoniana</i> , <i>M. orcutti</i> , <i>M. picta</i> , <i>M. preveía</i> , <i>M. rodantha</i> y <i>M. zephyranthoides</i> .	Mayor número de brotes fue con 27.9 y 46.5 µM de Cinetina. 4.8 brotes fue el máximo número de brotes obtenido (Ramírez-Malagón <i>et al.</i> 2007).
<i>Mammillaria matildae</i>	Probaron diferentes tipos de explantes con combinaciones de BA/IAA, resultando los mejores los laterales con 4.9 ±0.13 nuevos brotes. Las plantas fueron reintroducidas más del 52% del lote declinó después de 5 meses (García-Rubio y Malda-Barrera 2010).
<i>Coryphanta retusa</i>	Se utilizó medio MS con diferentes concentraciones de BA y ANA y a los 60 días de cultivo por organogénesis directa se obtuvo como mejor tratamiento 2 mg/L de BA con 8.8 brotes por explante (Ruvalcaba-Ruiz <i>et al.</i> 2010).
<i>E. chamaecereus</i> , <i>Mammillaria plumosa</i> y <i>G. mihanivichii</i> cv. Hibotan	<i>M. plumosa</i> por inducción de brotes adventicios (2.44) y por activación aerolar (11.4) se obtuvo con 2,4-D 18µM y 9.30 µM. <i>E. chamaecereus aurea</i> activación aereolar con BA 13.2 µM y ANA 5.35 µM se produjeron 12.6 brotes por explante. <i>G. mihanovichii</i> cv, Hibotan produjo callo (Téllez-Román 2012).

1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES A TRABAJAR DE ACUERDO A BRAVO-HOLLIS (1978) Y ANDERSON (2001).

Mammillaria bombycina

Quehl, Monatsschr. Kakteenk, 20:149.1910. Sujeta a protección especial (NOM 059 – SEMARNAT 2010). *Neomammillaria bombycina* (Quehl) Britton & Rose, 1923; *Chilita bombycina* (Quehl) Orcut, 1926; *Escobariopsis bombycina* (Quehl) Doweld, 2000.



Figura 1. *Mammillaria bombycina*

Plantas comúnmente formando agregaciones de 80 cm. Tallo simple o cespitoso en la base, globoso hasta claviforme, de 20 cm. de altura y 6 cm. de diámetro, ápice hundido y provisto de abundante lana blanca. Tubérculos dispuestos en 11 a 18 series espiraladas, cónicos hasta cilíndricos, con el ápice redondeado, de 15 mm. de longitud y 10 mm. de espesor en la base, de consistencia firme, con jugo acuoso. Axilas con abundante lana blanca que, en el ápice de la planta, cubren los tubérculos, provistas también algunas veces, de cerdas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Areolas circulares cuando jóvenes, después alargadas, al principio con algo de lana blanca, después desnudas. Espinas radiales 30 a 40, de 2 a 10 mm. de longitud, las laterales más largas, todas muy delgadamente aciculares, rígidas, rectas, algo pubescentes, bulbosas en la base, blancas brillantes, casi siempre horizontales, las superiores y las inferiores más ascendentes que las laterales. Espinas centrales 2 a 4, la superior de 7 mm de longitud, recta, las laterales, cuando existen, de 10 mm de longitud, rectas, extendidas y algo ascendentes, la inferior de 20 mm de longitud, erecta, ganchuda, todas delgadamente aciculares, lisas, blancas, volviéndose de color ámbar, con la punta de color café rojizo. Flores infundibuliformes, situadas cerca del ápice, de 15 mm de longitud y diámetro, segmentos exteriores de perianto lanceolados, acuminados, con el margen ciliado, de color verde rojizo hacia la base y arriba de color blanco rojizo, segmentos interiores del perianto largamente elípticos, con el ápice hendido y el margen ciliado, de color violeta rojizo, filamentos blancos abajo y hacia arriba rojo carmín, anteras amarillentas, estilo blanco abajo, y arriba muy rojo, lóbulos del estigma 4 a 6, purpúreo rojizos. Fruto claviforme, de 15 mm de longitud por 12 mm de diámetro blanquecino. Semillas muy pequeñas negras (figura 1).

Estados de Aguascalientes y Jalisco. Localidad tipo: no indicada. Ha sido señalada en Santa María, San Luis Potosí. En el estado de Aguascalientes solo se ha encontrado en selva baja caducifolia en el municipio de Calvillo, a una altitud de 1900msnm (De la Cerda 1999).

Mammillaria perezdelarosae

Bravo & Scheinvar, Cact. Suc. Mex. 30:76. 1985. Pr. *M. perezdelarosae* subsp. *perezdelarosae*.
M. bombycina Quehl subsp. *perezdelarosae* (Bravo & Scheinvar) D.R. Hunt, 1997;
Escobariopsis perezdelarosae (Bravo & Scheinvar) Doweld, 2000. *M. perezdelarosae* subsp.
andersoniana Fitz Maurice & B. Fitz Maurice, 2001.



Figura 2. *Mammillaria perezdelarosae*

Plantas generalmente cespitosas aunque pueden encontrarse solitarias; depresoglobosas a cortamente cilíndricas con la edad; hasta 11 cm de largo por 6.5 cm. de ancho; ápice redondeado cubierto de espinas conniventes, ascendentes, ganchudas, marrón rojizas a negruzcas; la parte basal del tallo redondeada, todo oculto por las numerosas espinas. Tubérculos en 8 y 13 series espiraladas, cónicos con el ápice truncado de 6 mm. de ancho en la base y 4 mm. de alto, verde oscuro brillante, areólas subapicales muy angostas con lana blanca crespada, caduca con la edad; axilas setosas; espina radiales 64, setosas, las superiores más cortas, de 2.5 mm. de longitud, blancas con la base amarilla, espinas centrales 2 a 3, la inferior

más robusta, con el ápice ganchudo dirigido hacia abajo y la base bulbosa, de 11 a 20 mm. de longitud. Flores dispuestas cerca del ápice de la planta; perianto campanular de 1.5 cm. de longitud, blancas, con la banda media de los tépalos rosa pálido; largo con el ápice apiculado; margen entero hacia arriba finamente dentado, blanco con banda media verde amarillenta; tépalos exteriores blancos con banda media verdosa; tépalos interiores del mismo color dispuestos en dos series; margen entero abajo y hacia arriba finamente dentado; estambres insertos en la base del tubo receptacular; estilo emergente sobre los estambres; lóbulos de los estigmas, 4, amarillo claro (figura 2).

Se distribuye en los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas. Esta hermosa especie es sumamente escasa. En Aguascalientes, se localiza en el matorral subtropical en el municipio de Calvillo, en el bosque de encino en San José de Gracia y en el matorral inermorosetófilo en Jesús María a altitudes de 1900 a 2350 msnm.

Ferocactus histrix

(DC.) G. E. Linds., Cact. Succ. J. (Los Angeles) 27:171. 1995. Sujeta a protección especial.

Echinocactus histrix DC., 1828, *Bisnaga histrix* (DC.) Doweld, 1999.

Echinocactus electracanthus Lem., 1838, *Bisnaga electracantha* (Lem.) Orcutt, 1926.

Echinocactus melocactiformis DC., 1828, *Ferocactus melocactiformis* (DC.) Britton & Rose, 1922.



Figura 3. *Ferocactus histrix*

Plantas simples, usualmente solitarias. Tallo globoso hasta ampliamente subovoide, de alrededor de 50 cm. de altura y diámetro, pero a veces puede alcanzar hasta cerca de 1m de altura; ápice algo aplanado y tomentoso. Costillas 20 a 38, rectas, agudas, de 2 a 3 cm. de altura, poco tuberculadas. Áreolas distantes entre sí 2 a 3 cm, ovales, de 2 cm. de longitud, cuando jóvenes con tomento amarillento, después grisáceo, provistas también de algunas glándulas. Espinas gruesas, amarillas en su totalidad o con tinte rojizo hacia la base, a veces con el tiempo, de color castaño. Espinas radiales 8 o más, ligeramente curvas, más cortas que la central, radiadas. Espina central 1, hasta 9 cm. de longitud, recta o ligeramente curvada, anulada, a veces aplanada lateralmente, a menudo de sección triangular o poligonal. Espinas glandulíferas de 3 mm. de longitud, activas en las areólas con flores, persistentes después. Flores campanuladas, de 3.5cm. de longitud y 2.5 cm. de diámetro, amarillas pericarpelo con escamas amarillas, ciliadas, en transición con las escamas del tubo, que son más grandes, ciliadas y rojizas, con el margen amarillo; segmentos exteriores del perianto de 1.5 cm. de longitud y 4 mm. de anchura, con el margen aserrado, amarillos con la franja media roja; segmentos interiores del perianto linear oblongos, agudos, aserrados, extendidos, amarillos; estambres numerosos; filamentos de color verde amarillento claro; anteras pequeñas,

amarillas; estilo de 15 mm. de longitud; lóbulos del estigma 16, lineares, verdes. Fruto cortamente elipsoide, de unos 2 cm. de diámetro, blanco, de paredes delgadas, traslúcidas, delicuescente, comestible. Las semillas pequeñas, de 1 mm. de longitud, de color castaño oscuro (figura 3).

Los brotes son llamados cabuches, los frutos, borrachitos o tuna de biznaga y su parénquima jugoso es acitrón o dulce de biznaga. La explotación extensiva de esta especie para la elaboración del dulce hace preocupante su conservación, ya que las plantas más grandes son destruidas para obtener su parénquima (Anderson 2001). Tiene una amplia distribución en los cerros de la altiplanicie central, en los estados de Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Durango, Michoacán, San Luis Potosí y Zacatecas; extendiéndose hasta Jalisco. En Aguascalientes se localiza escasamente en el municipio de Calvillo en el matorral subtropical a una altura de 1880 msnm (De la cerda 1999).

1.3. REINTRODUCCIÓN DE ESPECIES VEGETALES

La reintroducción de especies es una herramienta muy útil y cada vez más usada para la conservación de las mismas, sin embargo hay varios factores que se deben considerar al momento de llevar a cabo estas reintroducciones para asegurar que los esfuerzos tengan éxito. En las siguientes líneas se detallan tales factores.

Existencia de especies: una de los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta al hacer la reintroducción es que las especies de interés sean nativas de la zona.

Tamaño óptimo de la población a reintroducir: Los grupos pequeños pueden fallar en establecer poblaciones por factores aleatorios, densidades bajas de individuos reproductores o índices bajos de sobrevivencia (Armstrong y Seddon 2008).

Cuantificación de mortalidad, sobrevivencia, y factores de mortalidad como enfermedades, daños por herbívoros, falta de lluvia, demasiada exposición solar, etc. (Martínez- Avalos *et al.* 2007).

Asociación nodriza: Las cactáceas pueden desarrollar fuertes raíces cerca de rocas (Peters *et al.* 2008), mientras que algunas especies como *Ariocarpus fissuratus*, *Epithelantha bokei*, *Turbincarpus pseudopectinatus* y varias especies de *Mammillaria* crecen preferentemente en la ausencia de plantas nodrizas (Godínez-Álvarez *et al.* 2003). Por otro lado, en las zonas áridas, las lluvias impredecibles, las altas tasas de depredación y los suelos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

secos que alcanzan temperaturas muy elevadas retrasan el establecimiento de las plántulas, lo que hace que muchas de estas plantas solo puedan encontrarse en donde exista una planta-nodriz, como son los arbustos, pastos, plantas suculentas y árboles. La asociación nodriza puede ser biótica, con plantas-nodrizas o abiótica con rocas (Peters *et al.* 2008).

Factores abióticos: temperatura, humedad, evaporación, etc. Las plantas nodrizas crean menores condiciones de stress, reducen la temperatura, evaporación, evapotranspiración, incidencia de radiación, y daños por congelamiento, además incrementa la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991). Sin embargo, en algunos cactus pequeños la asociación planta-nodriza y la disminución de la radiación solar puede ser un factor limitante ya que algunos poseen un radio superficie/volumen bajo (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991). Por el contrario las rocas producen menor obstrucción de la radiación y proveen de un ambiente más fresco que bajo un arbusto (Nobel 1992). Por lo anterior, el uso de rocas como asociación con los cactus puede resultar una estrategia de reintroducción efectiva para algunas especies. El uso de plantas adultas incrementa la sobrevivencia, lo cual debe tomarse en consideración para programas de reintroducción (Peters *et al.* 2008).

Orientación: Es importante considerar el tipo de orientación que cada especie requiere para su desarrollo. Por ejemplo, se ha visto que para *M. perezdelarosae*, es importante que su orientación sea hacia el sol directo.

Tenencia de la tierra: Debe considerarse qué tipo de propiedad se desea trabajar, sea esta propiedad privada o ejidal, ya que de esto dependerá en gran parte si se tiene acceso y el nivel de protección que puedan recibir los ejemplares reintroducidos.

II. JUSTIFICACION

El género *Mammillaria* tiene su centro de diversidad genética en México (Rubluo 1997), ocupando gran parte de las zonas áridas y semiáridas del país. Muchas especies como *M. bombycina* y *M. perezdelarosae*, son usadas como especies ornamentales. Otras especies como *Ferocactus histrix* es sobreexplotada debido a su uso en la producción de dulces y agua de biznaga. Si consideramos que cada día el hábitat de estas tres especies está siendo objeto de destrucción, se prevé que la situación de su conservación se agrava más. Es por lo anterior que se propone realizar un estudio de distribución de tres especies de cactáceas protegidas en el estado de Aguascalientes, *F. histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae*, que de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentran sujetas a protección especial, lograr su propagación *in vitro* y diseñar una estrategia de reintroducción en el medio natural. De esta forma se espera contribuir a mejorar la situación en la que actualmente se encuentran estas especies en la entidad.

III. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1. El presente trabajo permitirá conocer mejor la distribución de *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae*, así como sus preferencias de hábitat, dentro del Estado de Aguascalientes.
2. A través de la propagación *in vitro* es posible obtener suficientes individuos de *Ferocactus histrix*, *Mammillaria bombycina* y *M. perezdelarosae* para su reintroducción al medio natural. Además, esta técnica puede proveer de ejemplares para cualquier uso haciendo innecesario el saqueo de ejemplares silvestres.
3. Un porcentaje de las plantas producidas mediante la técnica de propagación *in vitro* son capaces de sobrevivir en condiciones naturales.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General:

Realizar un estudio de distribución de tres especies de cactáceas protegidas en el estado de Aguascalientes, lograr su propagación *in vitro* y diseñar una estrategia de reintroducción en el medio natural.

Objetivos Específicos

1. Recopilar las localidades de colecta para las tres especies y realizar trabajo de campo para verificar la distribución en el estado y obtener más localidades.
2. Georreferenciar las localidades obtenidas de la revisión de literatura y del trabajo de campo.
3. Realizar la micropropagación de las especies en laboratorio.
4. Obtener la distribución potencial de cada especie por medio de la técnica de modelado de nicho ecológico.
5. Diseñar una estrategia de reintroducción con las plantas obtenidas del proceso de micropropagación.
6. Llevar a cabo la reintroducción de las especies micropropagadas y evaluar la supervivencia de los organismos introducidos.

V. METODOLOGÍA

Trabajo de campo

Identificación de las especies con las que se trabajó: las especies de este estudio se eligieron por su importancia como ornamentales, por su grado de amenaza ya que la NOM-059-SEMARNAT-2010 las tiene consideradas en la categoría de sujetas a protección especial, por ser endémicas de la región en el caso de *M. bombycina* y *M. perezdelarosae*, y por ser utilizada en la elaboración de dulce y como ornamental en el caso de *F. histrix*.

Localización de poblaciones de las especies de interés: para lograr esto se realizaron salidas a diferentes localidades del estado de Aguascalientes en las que se sabe que existen las especies por referencias bibliográficas (De la Cerda 1999, Quezada-Guzmán 2000), o en sitios en donde existan condiciones geográficas apropiadas para la especie. Se realizaron salidas aproximadamente cada 15 días a partir de enero de 2009 hasta febrero de 2010 a las localidades potenciales. En dichas localidades se hicieron recorridos hasta localizar a las especies. No se realizó colecta de material vegetal, debido a que estas especies están bien representadas en los herbarios locales y solo se pretendía conocer o extender su distribución, por lo que solo se documentó fotográficamente todo el material encontrado en campo. Una vez que se encontraban los ejemplares, se anotaron los siguientes datos:

Georeferenciación precisa de las localidades en donde se encuentran la (s) especie (s), esto se realizó con ayuda de un aparato de posicionamiento geográfico por satélite (GPS por sus siglas en inglés). Las coordenadas geográficas registradas fueron almacenadas en una base de datos para hacer posteriormente el modelado de nicho ecológico.

Notas del hábitat (macro y microhábitat) de las poblaciones encontradas. Para los factores de macrohábitat: tipo de vegetación, uso de suelo, altitud, orientación de la ladera e inclinación de la ladera. Factores de microhábitat: vegetación cercana a las especies, otros cactus, presencia de plantas nodrizas, tamaño de las plantas encontradas en campo, su cercanía a rocas y tipo de suelo y distancia a la roca más cercana.

Micropropagación

Se obtuvieron semillas de las tres especies de interés de viveros especializados, adicionalmente se obtuvieron semillas de *F. histrix* del Jardín botánico “Rey Netzahualcóyotl” de la UAA de ejemplares provenientes del estado de Aguascalientes, aunque no se conoce la

localidad exacta en donde estos ejemplares fueron colectados. Para *M. perezdelarosae* se obtuvo un segundo lote de una colecta en la localidad de los Planes, San José de Gracia, Ags.

Las semillas colectadas se sometieron a un proceso de desinfección, el cual es descrito a continuación. Se colocaron las semillas en un vaso de precipitado y se lavaron de tres a cinco veces, dependiendo de lo sucias que estuvieran. El lavado se hizo con *dermoclean* y agua corriente por 5 min. en agitación. Se enjuagó en agua corriente y, si era necesario, se usó una gasa o una cucharilla para evitar que las semillas cayeran del recipiente mientras se enjuagaban. Se lavaron por segunda vez por un minuto con etanol al 70%, se enjuagaron y se volvieron a lavar, ahora con cloro al 20% por 20 min en un vaso de precipitado cubierto con aluminio. Para eliminar el exceso de cloro se enjuagó con agua destilada estéril en la campana de flujo laminar (para lo que se recomienda preparar la campana y el material necesario mientras se lleva a cabo el lavado con cloro). Se vuelve a enjuagar, y se deja con un poco de agua destilada. En caso de que la semilla siguiera contaminándose (como sucedió para *F. histrix* en un primer tratamiento) se recomienda tratar la semilla con un fungicida, dejando la semilla durante toda la noche en una solución de agua con el fungicida y al día siguiente realizar el proceso de desinfección normal. El fungicida usado fue *nitrasan* a una concentración de una cucharada por cada 2 lts. de agua.

Una vez que la semilla fue desinfectada, se colocó en el medio de cultivo para su germinación. El medio de cultivo que se empleó fue el MS (Murashige y Skoog) al 50%. Cuando la semilla germinó, se sacó del medio en el que se encontraba, se eliminó la parte basal, y la parte superior del tejido se colocó en medio MS adicionado con 0.5 mg/L de BA (Benciladenina) y se esperó a la multiplicación del tejido. En este proceso se contó el número de brotes por explante que produjo el tejido y se valoró si era necesario o no variar la concentración de regulador de crecimiento para así aumentar el número de brotes por explante. Esta se aumentó a 1mg/L de BA.

Se separaron los brotes más desarrollados para transferirlos a un medio con carbón activado, el cual removió el regulador de crecimiento y ayudó a la producción de la raíz. Cuando la raíz no se formó en el medio con carbón activado, se utilizó el mismo medio MS pero al 50% para un mejor enraizamiento. Una vez que este brote desarrolló la raíz pudo adaptarse al medio natural, lo que se logró al abrir un poco el frasco en que se encontraba el brote por dos días. Finalmente se sacó el brote del frasco, se retiró el exceso de medio de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

cultivo y se procedió a colocarlo en una maceta con una mezcla 1:1 de tierra y arena. Se guardó en una bolsa de plástico que fue colocada en una cámara bioclimática. La bolsa fue perforándose poco a poco hasta que, después de aproximadamente cuatro días, se eliminó la bolsa de plástico y las macetas se llevaron al invernadero, donde permanecieron aproximadamente un mes, hasta ser llevadas a campo.

Modelado de nicho ecológico

Para el modelado de nicho ecológico se recopiló la mayor cantidad de puntos observados para tener la mayor precisión geográfica posible. Se obtuvieron localidades reportadas en la literatura y referencias personales de profesores y compañeros que tienen experiencia trabajando con estas especies en el Estado. Las localidades se georreferenciaron e integraron en una base de datos, la cual se mantuvo en constante depuración para evitar posibles errores de georreferenciación, que si no se eliminaban, podrían ocasionar problemas en los esfuerzos de modelado. Una vez que se eliminaron las localidades de georreferenciación dudosa de la base de datos, esta se preparó para su inclusión en el sistema de información geográfica.

El programa que se usó para modelar la distribución potencial de las especies fue Maxent, acrónimo que proviene del principio en el cual se basa dicho programa para realizar el modelado de nicho ecológico, el cual es conocido como máxima entropía. Aunque existe una gran cantidad de paquetes y programas para modelar distribución potencial, Maxent es uno de los que han sido mejor evaluados por la comunidad científica en el área de modelado de distribución potencial de especies (Elith *et al.* 2006). Con el objeto de preparar la base de datos de los puntos de colecta para su inclusión en el programa de Maxent se obtuvo y se instaló el sistema de información geográfica (SIG) llamado Manifold.

El modelado de nicho ecológico, que se realizó para obtener la distribución potencial de las tres especies de nuestro estudio, requirió de información geográfica ambiental y biológica de alta calidad, y para ello se obtuvieron dos juegos de información geográfica con el objeto de explorar su utilidad para este fin. Uno de ellos es el paquete de capas geográficas del país disponibles en la página de la comisión nacional para el conocimiento de la diversidad (CONABIO 1999) y el segundo consiste en una serie de capas geográficas climáticas de escala global que se recortaron para ajustarse a nuestra área de estudio. Estas capas de información fueron generadas de estaciones climáticas en todo el mundo (Bio 1-19), y son la información

ambiental que es usada de manera estándar en los esfuerzos de modelado para predicción de áreas de distribución potencial de especies (New *et al.* 1999). También se llevó a cabo la integración de las capas de información ambiental y de las localidades de colecta en el SIG para depurar errores potenciales en ambas fuentes.

El modelado consistió de tres fases. En la fase 1 se realizó un modelado preliminar para delimitar objetivamente con bases geográficas y ambientales el área que sirvió de base para el modelado definitivo. Con el análisis de la Fase 1 del modelado se realizó el corte y edición de las capas de información ambiental en el SIG para eliminar toda la información que no era útil para el modelado siguiente. Una vez que las capas estuvieron recortadas, se realizó un segundo modelado (Fase 2 del modelado), ahora con la finalidad de obtener los primeros mapas potenciales de distribución y de identificar variables estadísticamente redundantes que no aportaran información valiosa al modelo. La fase 3 del modelado consistió en la exclusión de las variables redundantes del modelo y en ajustar los parámetros del programa para así obtener modelados precisos. Esta última fase fue la más larga, ya que consistió en obtener un modelo usando cierta configuración del programa, variables y puntos, revisar el resultado del modelado, y modificar la configuración para obtener modelados cada vez más precisos. Este paso se repite una gran cantidad de veces para ir haciendo cada vez más confiable el resultado del modelado. Finalmente, se construyeron los modelos definitivos que incluyeron los ajustes mencionados en el punto anterior y la totalidad de los puntos de colecta obtenidos.

Reintroducción

Usando los resultados del análisis cartográfico y del modelado de nicho ecológico, se identificaron las áreas potenciales para la reintroducción de las especies. Se evaluaron y seleccionaron las áreas de reintroducción, considerando factores no biológicos como el uso del suelo, tenencia de la tierra, entre otros. Una vez seleccionadas las áreas de reintroducción, se visitaron los lugares potenciales, y se identificaron las características de microhábitat que se consideraron más parecidas a las de las plantas encontradas en campo con la finalidad de incrementar las probabilidades de éxito en el establecimiento de las plantas propagadas.

Se realizó una reintroducción piloto con *F. hystrix* y *M. bombycina* para ver la respuesta que tenían los ejemplares reintroducidos adaptándose al sitio en donde se colocarían. El lugar

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

elegido para realizar esta reintroducción fue la Estación Biológica Agua Zarca, propiedad de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (Ver anexo A para características de la zona). En total se llevaron a campo 34 ejemplares de *F. hystrix* y 27 ejemplares de *M. bombycina*. Las plantas se monitorearon a lo largo de octubre del 2010 a enero de 2011, visitándolas cada 8-10 días para tomar nota de su estado físico, regarlas y regar el musgo circundante, replantarlas si por alguna razón estaban fuera del sustrato, fotografiar su progreso y colocar barreras como algún tronco o piedra que pudieran ayudarlas contra la depredación de roedores u otros organismos.

Posterior a la prueba piloto se eligieron nuevamente dos de las especies (*F. hystrix* y *M. bombycina*) para la reintroducción definitiva, ya que no se contó con suficiente material de *M. perezdelarosa* para llevar a campo. La reintroducción se llevó a cabo en dos localidades. La primera fue la Estación Biológica Agua Zarca, la cual se consideró adecuada debido a que está dentro de las áreas de distribución potencial identificadas en los mapas producto de Maxent, a que el tipo de vegetación correspondía al observado cuando se encontraron los ejemplares en campo y a los niveles de protección que esta provee al tener de acceso restringido. También se realizó una parte de la reintroducción solo con *M. bombycina* en las cercanías de la estación de transferencia de residuos sólidos del municipio de Calvillo, Ags; por ser una localidad en donde existe una población bien representada de esta especie, ser de fácil acceso, y encontrarse en la zona de distribución potencial de la especie.

En la Estación Biológica Agua Zarca se colocaron 4 tratamientos diferentes con 20 plantas en cada uno. El primero fue sin ningún tipo de protección, el segundo sin protección física pero sí con cabello humano, el cual ha sido usado en estrategias de reintroducción en otros sitios y parece desalentar a los potenciales depredadores (Dr. Roberto Lindig, com. pers.), el tercero se hizo con una malla de alambre como protección y el cuarto con malla de protección y cabello. Las mallas protectoras fueron elaboradas con tela o malla de mosquitero y forma rectangular (15x15x3 cm). A esta caja de malla se le dejaron cejas a los lados (3 cm) para fijarla al suelo con martillo y clavos de 3 pulgadas, en ocasiones fue necesario usar clavos de concreto para fijar la malla sobre rocas. En todos los casos las plantas se colocaron sobre rocas con musgo, en la base de árboles o cerca de grietas, procurando emular sus condiciones naturales. Los sitios en donde se sembraron las plantas fueron georreferenciados y marcados con cintas que permitían la localización fácil. Las plantas se visitaron durante 27 meses para

tomar nota de su sobrevivencia, su estado físico, regarlas en caso necesario y documentar fotográficamente el proceso de adaptación. La figura 4 muestra un diagrama de flujo que presenta un resumen de las diferentes etapas descritas en la metodología.

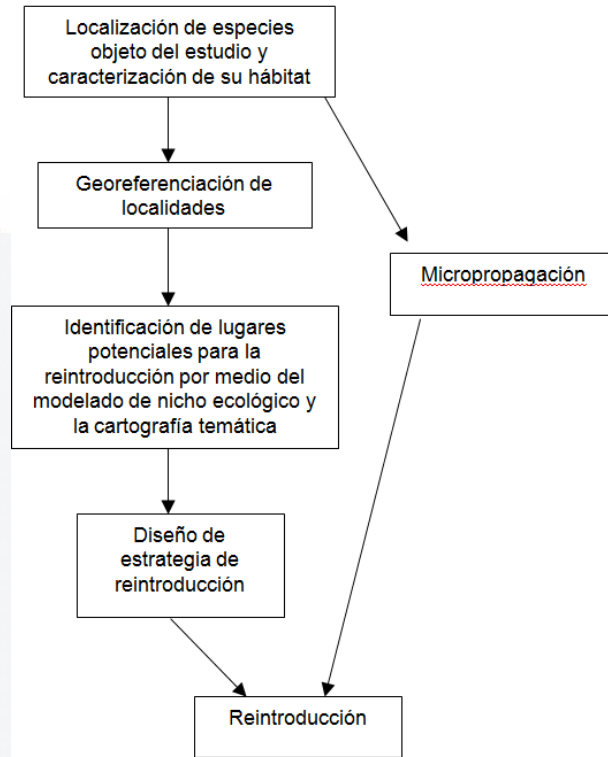


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Trabajo en campo.

En las localidades visitadas se observó que *Ferocactus histrix* se encuentra localizado mayormente en cañadas poco accesibles, cerca o sobre rocas (Figura 5). Sin embargo, en el noreste del Estado, se encontraron ejemplares de esta especie en laderas bajas y con poca inclinación, contrastando la accesibilidad de éstos con los encontrados en la mitad oeste del Estado que se encontraban casi invariablemente en cañadas de difícil acceso. *F. histrix* puede encontrarse solitario o en grupos de 2 o 3 individuos. Frecuentemente era simpátrico con *M. bombycina*.

Para *Mammillaria bombycina* se localizaron varias colonias, algunas en cañadas en condiciones que también son favorables para *F. histrix* (Figura 6), y otras al ras del suelo en la base o en la unión de rocas (Figura 7). Esta especie también se encontró en zonas húmedas con encino o en zonas más secas en asociación con pastos, musgo y otras cactáceas (Figura 8). Se observaron muy pocos ejemplares con flor y para el periodo de estudio no se encontraron semillas de esta especie en campo. Se observó un número significativo de ejemplares pequeños de *F. histrix* y *M. bombycina* principalmente, lo cual puede indicar que estas poblaciones se encuentran en buenas condiciones, que las especies están sanas y que siguen reproduciéndose adecuadamente en forma sexual.

Mammillaria perezdelarosae se localiza en rocas (Figura 9) y muchas veces asociada a musgos (Figura 10), selaginellas, líquenes (Anexo B figura 1) o pastos. Se encontraron pocas plantas con flor y solo cuatro ejemplares con semilla, las cuales fueron colectadas para la posterior propagación *in vitro*. Se observó que esta especie generalmente forma colonias de pocos ejemplares, aunque también se le observó en forma solitaria. En la tabla 2 se detallan datos de las localidades visitadas y algunas características de su macrohábitat y microhábitat.

Tabla 2. Localidades visitadas, especies observadas, características de la localidad y comentarios sobre el estado de conservación de la localidad.

Localidad	Especies observadas	Características de la localidad	Conservación
Estación de transferencia, Calvillo. 21.880012 -102.635119 1889msnm	<i>Ferocactus hitrix</i> y <i>Mammillaria bombycina</i>	Guapilla, huizache y palo bobo.	Ejemplares de <i>Mammillaria</i> con flores, sin embargo su amenaza es grande debido a la cercanía de granjas.
Negritos-Morelos, Rincón de Romos. 22.23038 -102.40690 2029msnm	<i>Ferocactus histrix</i>	Vegetación característica conformada por huizache, palo bobo, guapilla, nopales, asociados a selaginellas y pasto.	Ejemplares cercanos a la carretera por lo que hay mucho tránsito de autos y gente.
Tunel de portrerillos, Rincón de Romos. 21.88197 -102.41571 2048msnm	<i>Ferocactus histrix</i>	Cactus columnares y nopales.	Conservadas debido a que están en una cañada, algunas a gran altura.
Cascada, a un costado de la carretera Colomos-Calvillo, Calvillo. 21.88197 -102.765367 1802msnm	<i>Ferocactus histrix</i>	Ejemplares sobre barrancas pronunciadas.	En buenas condiciones debido a lo difícil de su acceso.
Entre Ocote y Tapias Viejas, Jesús María. 21.79099 -102.52525	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Asociadas a roca con musgo, selaginellas. Población con muchos ejemplares pequeños.	Cercanas a una carretera, fácil acceso.
Ojo de Agua de los Montes, Tepezalá. 22.27753 -102.16647 2116msnm	<i>Ferocactus histrix</i>	Cerca de nopales, huizache, sangre drago. Pocos ejemplares con flor.	Terreno muy erosionado, cerca del paso de animales y gente.
Cerro del Chichimeco, Jesús, María. 22.00379 -102.36658 2026msnm	<i>Ferocactus histrix</i> y <i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Asociados o cercanos a palo bobo, agave, jarilla, yuca y pastos. Sobre rocas grandes. La abundancia de <i>Mammillaria</i> fue baja.	Zona de excavaciones de materiales para construcción muy cercanos a la zona.

Los Planes, San José de Gracia. 21.99953 -102.54596 2410msnm	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Sobre rocas, asociadas a musgo, vegetación cercana con manzanita, yuca, ciprés, pino y otras cactáceas. Ejemplares abundantes, algunos con flor y fruto.	Población conservada debido a su difícil acceso.
Cerro del Muerto, Aguascalientes. 21.85573 -102.43787 2205msnm	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Asociado a musgo, cerca de pasto, jarilla, sotol, palo bobo, manzanita.	Ladera con vegetación perturbada en donde el encino es sustituido por la <i>Dodonaea</i> . Se observan árboles quemados.
Cerro de los Gallos, Aguascalientes. 21.85554 -102.43623 2286msnm	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Sobre roca con musgo, además sotol, <i>Dodonaea</i> , algunos helechos. Ejemplares pequeños y poco abundantes.	Situados en laderas muy inclinadas.
Parte baja de Mesa Montoro, San José de Gracia. 21.98567 -102.57250 2466msnm	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	En grietas o sobre roca. Vegetación con encinos.	Zona con presencia de ganado.
Parte oeste de la Posta Zootécnica. Jesús María. 21.96675 -102.39704 2038msnm	<i>Ferocactus histrix</i> y <i>Mammillaria perezdelarosae</i> .	Cercanos a roca, presencia de nopales, palo bobo, huizache, uña de gato. En pendiente muy vertical. La población de <i>Mammillaria</i> muy pequeña.	Zona visitada por ciclistas y motociclistas.
Cerro del Chiquihuite, Pabellón-Asientos. 22.11336 -102.21001 2104msnm	<i>Mammillaria perezdelarosae</i>	Palo bobo, mezquite, Huizache.	Zona muy cercana a asentamientos humanos, cerca de carretera.
Cerro de Juan Grande, Palo Alto. 21.96207 -102.93573 2148msnm	<i>Ferocactus histrix</i> y <i>Mammillaria perezdelarosae</i> .	Asociados a jarilla, sangre drago, mezquite. Abundancia media de las dos especies.	En paredes muy verticales de difícil acceso.
Los Alisos, Calvillo. 21.732341 -102.701545 2442msnm	<i>Mammillaria bombycina</i>	Zona con presencia de encino, algo de laurel. Asociada a rocas con musgo. Ejemplares en colonias abundantes.	Población bien conservada.
Barranca verde, San José de Gracia. 22.08127 -102.08127	<i>Ferocactus histrix</i>	Laurel, Encino.	Población bien conservada, de difícil acceso.



Figura 5. *F. histrix* en Túnel de Potrerillos, Ags.



Figura 6. *M. bombycina* en Río Gil, Ags. En el extremo inferior derecho se puede ver un ejemplar de *F. histrix*.



Figura 7. *M. bombycina* entre rocas, Calvillo, Ags.



Figura 8. *M. bombycina* en asociación con musgo en los Alisos, Ags.



Figura 9. *M. perezdelarosae* sobre roca desnuda en los planes, Ags.



Figura 10. *M. perezdelarosae* asociada a musgo, en el Ocote, Ags.

Micropropagación

En un primer tratamiento *F. histryx* presentó 99% de contaminación en una primera etapa, por lo que variaron las condiciones de la desinfección, aumentándose el número de lavado lo que no produjo resultados favorables.

Posteriormente con otro lote se semillas se logró el 80% de éxito en la germinación de *F. histryx*, con los brotes resultantes se establecieron los cultivos axénicos para esta especie. El mayor número de brotes por explante obtenido al usar 0.5 mg/L BA fue de 1.46. En la Figura 11 se muestran algunos de los brotes obtenidos para *F. histryx* los cuales se colocaron a enraizar en medio MS al 50% y fueron exitosamente adaptados a condiciones de invernadero (Figura 12).

Tabla 3. Número de brotes obtenidos de *F. histryx* con 0.5 mg/ L de BA.

Concentración del regulador usado	Brotos por explante
0.5 mg/L de BA	1.46

Con las semillas de *Mammillaria bombycina* se obtuvieron resultados positivos de germinación, ya que se tuvo un 75% de éxito en este proceso. Posteriormente se establecieron los cultivos axénicos y parte de ese material se pasó a etapa de proliferación con diferentes concentraciones de BA, siendo la mejor con 1mg/L. Otra parte del material se pasó a enraizar y una más al invernadero. La tabla cuatro muestra el número de brotes obtenidos con los tratamientos aplicados para esta especie. Las figuras 13 a 15 muestran a *M. bombycina* en etapa de proliferación (Figura 13), en medio con carbón activado previo al enraizamiento (Figura 14) y en condiciones de invernadero (Figura 15).

Tabla 4. Número de brotes obtenidos de *M. bombycina* con diferentes concentraciones de BA.

Número de brotes producidos por explante con 0.5 mg/L BA	Número de brotes producidos por explante con 1mg/L BA
1.58	2.39

Las semillas de *M. perezdelarosae* se colocaron en medio MS al 50% para su germinación (tabla 5), como se había hecho para las otras especies (Figura 16), posteriormente se pasaron a MS con 0.5 y 1.0 mg/L BA para su proliferación, obteniendo con el mejor tratamiento 1.4 brotes por explante con 0.5 mg/L de BA. Los brotes obtenidos de esta especie crecieron muy poco en el medio de cultivo y en condiciones de invernadero se obtuvo una sobrevivencia baja.

Tabla 5. Porcentaje de germinación para *M. perezdelarosae*

Lote	# de semillas colocadas en medio de germinación	# semillas que germinaron	% de germinación
1	49	19	38.77
2	59	1	1.69



Figura 11. *F. histrix* en fase de proliferación mostrando algunos brotes.



Figura 12. *F. histrix* creciendo en condiciones de invernadero.

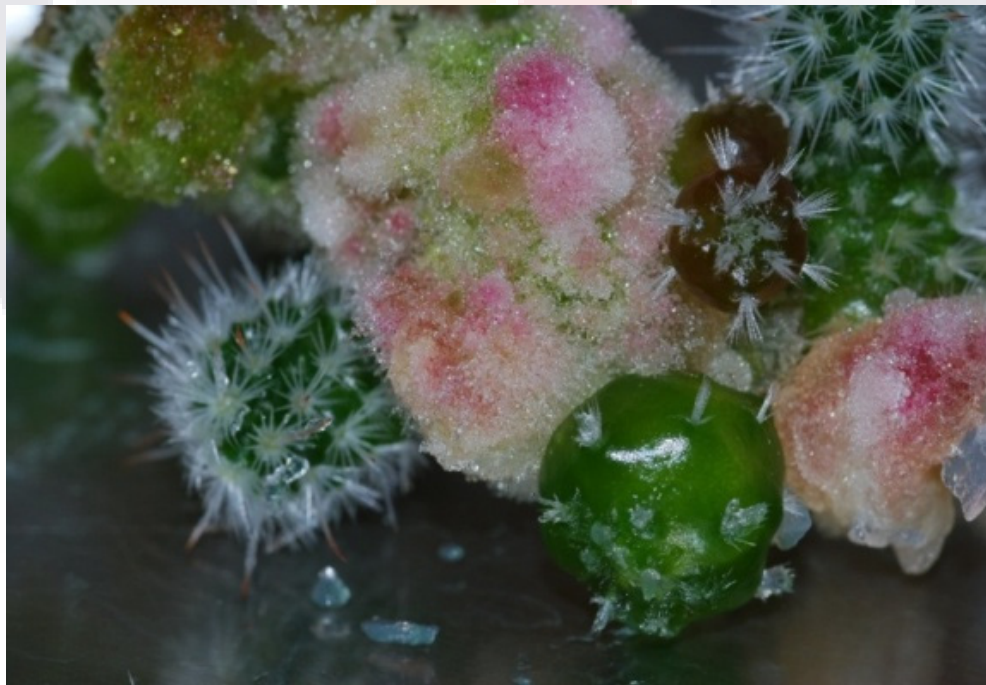


Figura 13. *M. bombycina* mostrando brotes y tejido calloso.

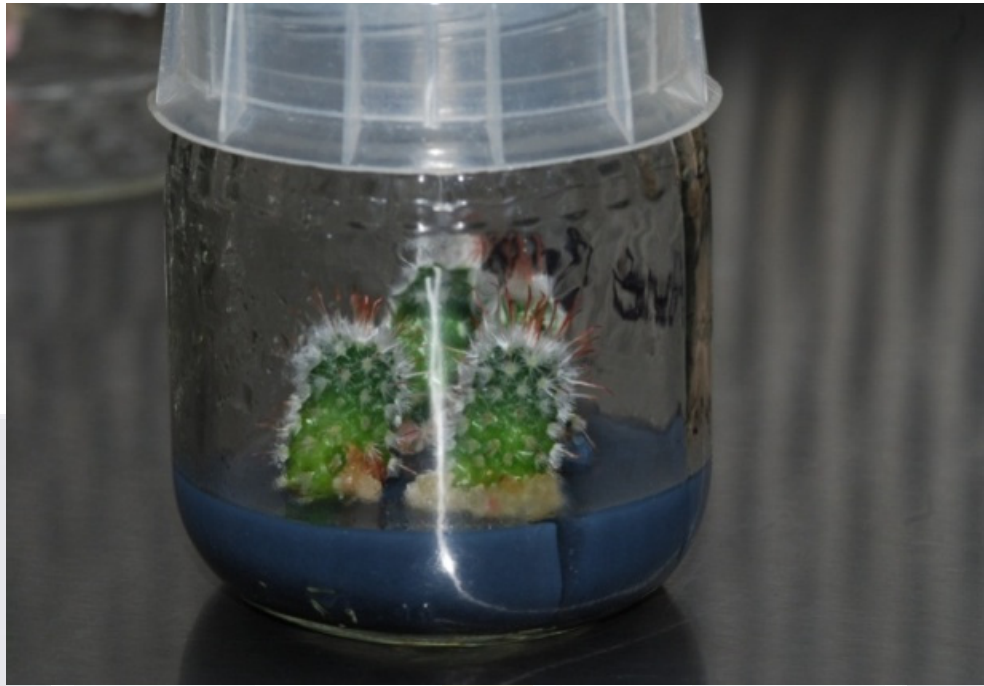


Figura 14. *M. bombycina* en medio de enraizamiento con carbón activado.



Figura 15. *M. bombycina* en condiciones de invernadero.



Figura 16. Semilla de *M. perezdelarosae* en etapa de germinación.

Modelado de nicho ecológico.

Con los puntos de colecta obtenidos en los muestreos se pudo realizar el mapa que muestra las localidades en las que se encuentra cada una de las especies en estudio en el estado de Aguascalientes (figura 17). Las localidades registradas en el trabajo de campo fueron 76 para *F. histrix*, 30 para *M. bombycina* y 60 para *M. perezdelarosae*, muchas de los cuales reportan a las especies en zonas en las que no se conocían previamente.

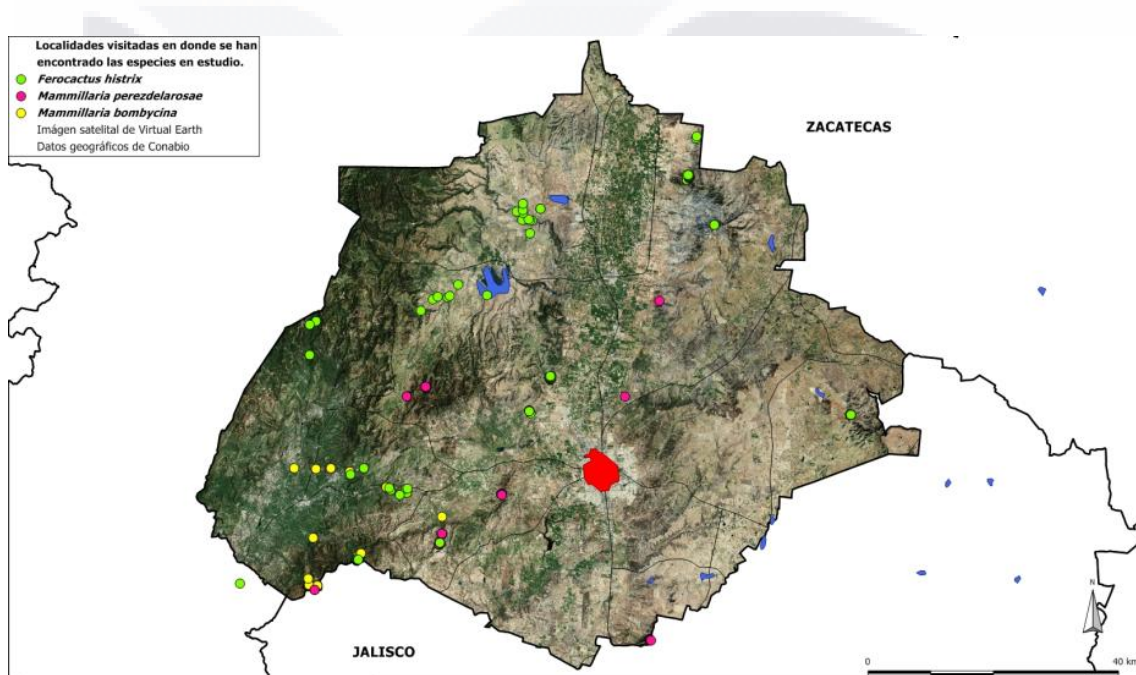


Figura 17. Mapa de localidades visitadas para las tres especies en estudio.

La figura 18 presenta el mapa de distribución potencial de *F. histrix*, en donde podemos notar una mayor presencia de la especie hacia la parte noroeste y suroeste del estado en los municipios de Calvillo, San José de Gracia y Rincón de Romos. La figura 19 presenta el mapa de distribución potencial de *M. bombycina* en Aguascalientes, especie que muestra su distribución actual principalmente hacia el suroeste en el municipio de Calvillo, aunque según el modelado también podría encontrarse hacia el norte y este del Estado. Finalmente, la figura 20 presenta el mapa correspondiente a la distribución potencial de *M. perezdelarosae* en el Estado, y es de notar que su distribución actual y potencial no muestra un patrón definido sino que está más dispersa que en las otras dos especies, aunque si se ve una mayor concentración en los municipios de Calvillo, Jesús María y San José de Gracia.

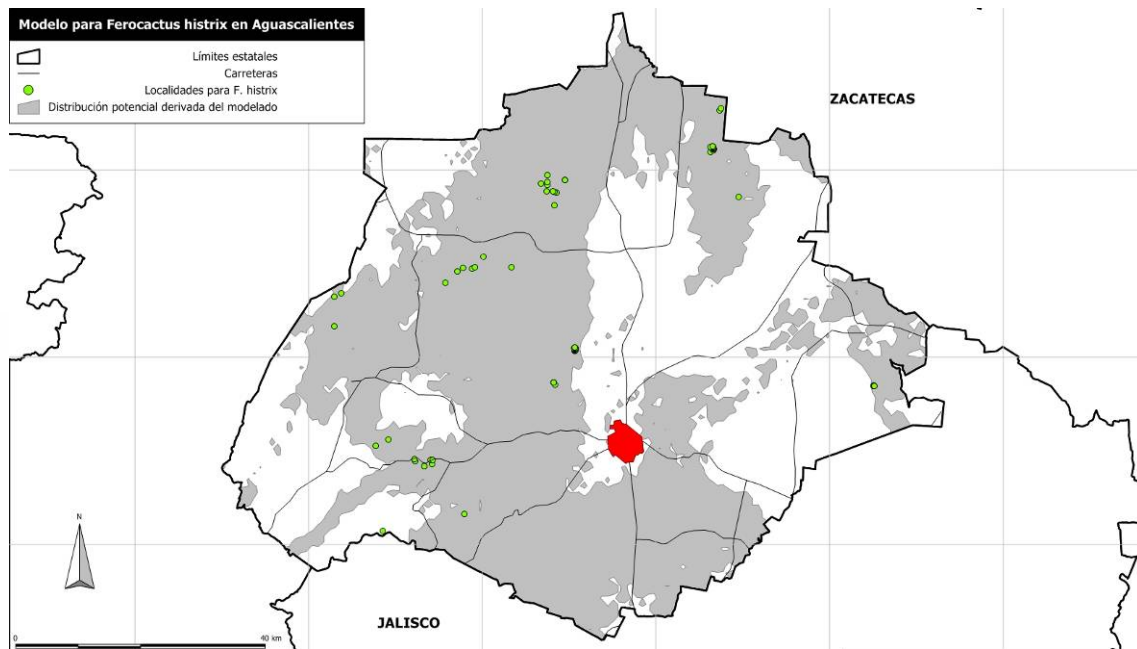


Figura 18. Modelo de la distribución potencial de *F. histrix* en el estado de Aguascalientes representado por las zonas grises en el mapa. Los puntos verdes representan localidades en donde se encontró la especie.

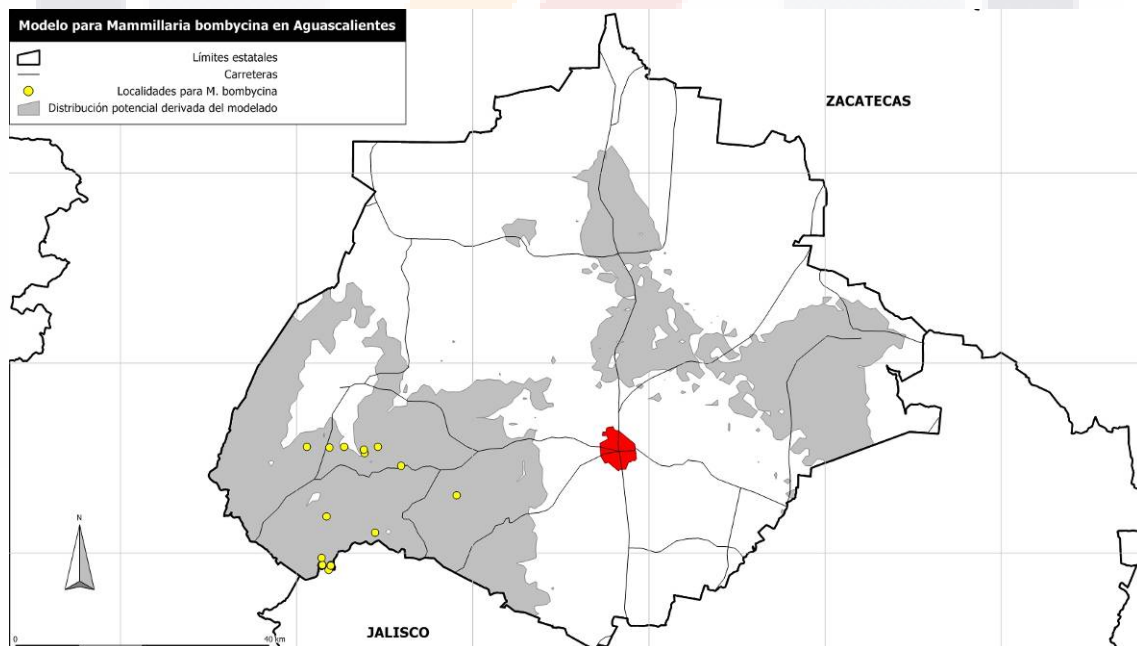


Figura 19. Modelo de la distribución potencial de *M. bombycina* en el estado de Aguascalientes representada por las zonas grises en el mapa. Los puntos amarillos representan localidades en donde se encontró la especie.

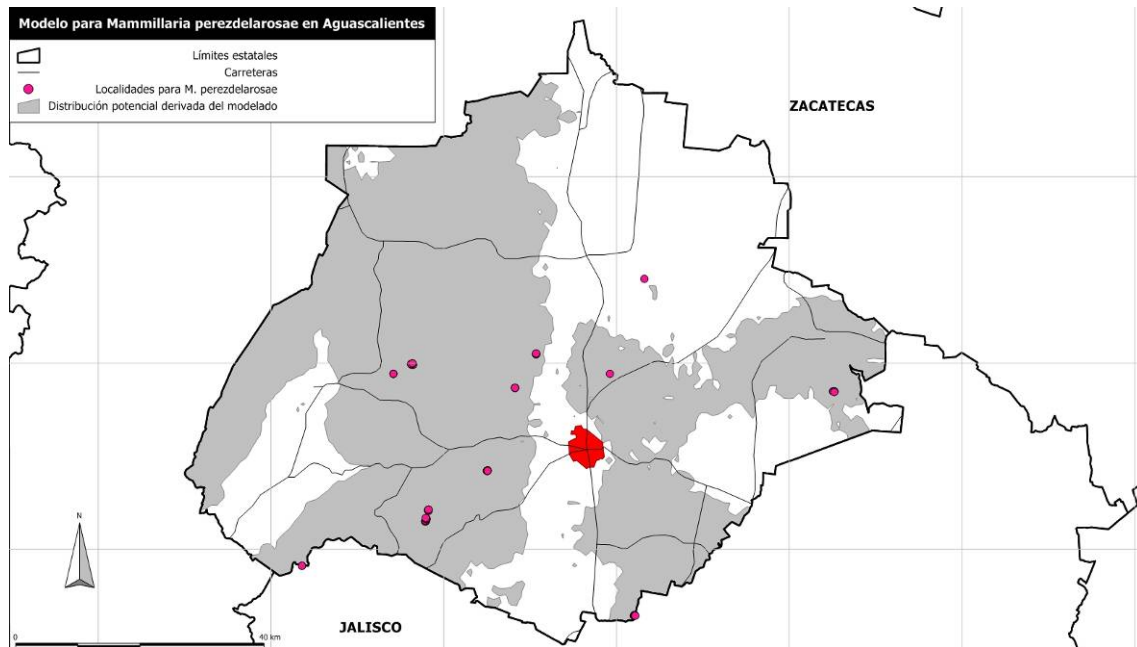


Figura 20. Modelo de la distribución potencial de *M. perezdelarosae* en el estado de Aguascalientes representada por las zonas grises en el mapa. Los puntos rosa representan localidades en donde se encontró la especie.

El análisis de la contribución de las variables ambientales y la generación de varios modelos en los que se incluían y excluían sistemáticamente variables de los modelos que se construían, permitió identificar qué variables ambientales podrían ser importantes para cada especie. Para *F. histrix*, se identificaron rango medio de temperatura semanal (Bio2), estacionalidad de precipitación (Bio15), temperatura mínima del periodo más frío (Bio6), precipitación del cuatrimestre más húmedo (Bio16) y estacionalidad de temperatura (Bio4). Para *M. bombycina* las variables más significativas fueron la temperatura mínima del periodo más frío (Bio6), la precipitación del cuatrimestre más caliente (Bio18), el rango de temperatura anual (Bio7) y la precipitación del mes más seco (Bio14). Finalmente, para *M. perezdelarosae* se identificaron la precipitación del cuatrimestre más caliente (Bio18), la temperatura mínima del periodo más frío (Bio6), la estacionalidad de precipitación (Bio15) y la precipitación del cuatrimestre más frío (Bio19) como las variables ambientales más importantes para esta especie.

Una vez terminado el modelado que resultó en los mapas de distribución potencial, obtuvimos las capas de información de vegetación y uso de suelo 1:250,000 provistas por la CONABIO (CONABIO 1999). Usando estas capas identificamos los tipos de vegetación en los cuales estaban los puntos de colecta de las tres especies. Se observa que el 46.96% de los ejemplares de *F. histrix* se encuentran en matorral subtropical, el 24.24% en pastizal natural, el 21.21% en matorral sarcocrasicaule, el 4.54% en bosque de encino y el 3.03% en áreas de manejo agropecuario. El 73.33% de los ejemplares de *M. bombycina* localizados están en áreas de manejo agropecuario, el 13.33% en matorral subtropical y el 10% en bosque de encino. El 46.66% de los ejemplares de *M. perezdelarosae* localizados están en bosque de encino, el 26.66% en pastizal, el 21.66% en matorral subtropical y el 5% en áreas de manejo agropecuario.

Reintroducción

En la reintroducción piloto se obtuvieron porcentajes de sobrevivencia del 23.535% para *F. histrix* y 11.11% para *M. bombycina*. Esta evaluación de sobrevivencia fue hecha después de medio año de haber plantado los organismos y sirvió para mejorar la estrategia seguida para la introducción definitiva.

Para la introducción definitiva se realizaron 4 tratamientos, obteniendo los siguientes resultados después de 27 meses de monitoreo: en el primer tratamiento en donde no se utilizó protección alguna para las plantas (figura 21), se observó que los roedores consumieron la totalidad de los ejemplares en un lapso de un mes. En el segundo tratamiento no se utilizó protección física pero se colocó cabello alrededor de las plantas, y en este caso ocurrió algo muy similar al primer tratamiento, ya que al solo contar con la protección del cabello, las plantas fueron fácilmente depredadas. En el tercer tratamiento, que consistió en la colocación de las plantas con una protección construida con una malla delgada (figura 22), se observó una sobrevivencia del 5% para *F. histrix* y un crecimiento de 1cm aproximadamente, y un 12.5% de sobrevivencia y 1 a 2 cm de crecimiento de los ejemplares de *M. bombycina*. En el cuarto tratamiento se colocó la protección de malla y además cabello humano con lo que se obtuvo un 6.25% de sobrevivencia para *F. histrix* y un 10% para *M. bombycina*. También se observó crecimiento para estos ejemplares de *F. histrix*. Cabe mencionar que en uno de los ejemplares de *M. bombycina* tuvo dos que crecieron hasta a 1cm. En todos los casos se observó que las plantas nodrizas (principalmente encinos y musgo), las grietas de las rocas y las bases de los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

árboles proporcionaron una protección vital para las plantas. En el caso de las plantas que se colocaron en la base de los árboles, la ubicación en la que se colocaron en relación al árbol fue importante para la sobrevivencia, ya que las colocadas en el lado del árbol opuesto al arroyo, facilitaban la acumulación de hojarasca y llegaban a cubrir completamente las plantas, imposibilitando presuntamente la fotosíntesis al no recibir luz (figura 23). Este problema no se presentó en el lado opuesto de la base del árbol (el orientado ladera abajo, hacia el fondo de la cañada).

En la segunda localidad, la estación de transferencia en el municipio de Calvillo, se colocaron 40 ejemplares de *M. bombycina* distribuidos en una zona con rocas cercanas y vegetación dominada en el estrato arbóreo por *Ipomoea arborescens* (palo bobo). Todos los ejemplares en esta localidad fueron protegidos con una malla de alambre para evitar la depredación. En este lugar se observó la presencia de ganado vacuno. Las plantas presentaron una deshidratación más rápida por la falta de lluvia y porque las plantas nodrizas perdieron sus hojas, dejando así a los ejemplares reintroducidos muy expuestos al sol y al frío (Figura 24). A pesar de realizar visitas periódicas quincenales a esta localidad para suplementar de agua a las plantas, este lote se perdió completamente después de un año de monitoreo y de sequía severa en la zona.



Figura 21. Plantas introducidas al medio natural sin protección.



Figura 22. *M. bombycina* y *F. histrix* con protección física provista por la malla metálica.



Figura 23. Plantas protegidas con malla orientadas ladera abajo para disminuir la acumulación de hojarasca.



Figura 24. *M. bombycina* con protección de malla y expuesta al sol en la estación de transferencia de residuos sólidos, Calvillo, Ags.

Los resultados del trabajo de campo confirmaron y ampliaron la distribución de las especies en comparación con lo reportado por De la Cerda 1999 y Quezada 2000. *F. histrix* se localizó en el municipio de El Llano el cual no se menciona por ninguno de los autores anteriores. Para *M. bombycina* se amplió el número de localidades encontradas por De la Cerda 1999 en el municipio de Calvillo y para *M. perezdelarosae* se encontró en el municipio de Jesús María el cual no se había mencionado anteriormente como lugar de distribución.

La investigación de campo realizada en este trabajo se basó en observaciones de las condiciones en que los ejemplares viven para coleccionar información que permitiera llevar a cabo la reintroducción exitosa de los ejemplares micropropagados. Aunque no se realizó un estudio ecológico de cactáceas de estructura poblacional u ocupación de hábitat (Álvarez *et al.* 2004), si se obtuvieron datos importantes, como las asociaciones que las especies tienen con otras plantas o con rocas que les sirven como nodrizas, las cuales fueron cruciales al momento de la reintroducción. La presencia de organismos adultos de *F. histrix* bien conservados en laderas bastante inclinadas y de difícil acceso contrastó con la presencia de organismos juveniles en laderas con poca pendiente lo que hace pensar en una posible recuperación de la población de esta especie en estas zonas. Sin embargo esta especie continúa usándose mucho en camellones y jardines de la ciudad de Aguascalientes, siendo estos últimos sitios en donde se usan ejemplares presuntamente extraídos del medio natural.

En el caso de la micropropagación, la técnica de desinfección empleada para las semillas de las 3 especies fue buena, ya que la mayoría de las semillas resultaron sin contaminación y pudieron así obtenerse los cultivos axénicos necesarios para comenzar la etapa de proliferación de las plantas. La excepción en este caso fue el primer tratamiento de Fh, que resultó contaminado casi en su totalidad en la primera etapa del proceso, debido posiblemente a que la semilla ya venía contaminada y no propiamente a la aplicación de la metodología de desinfección.

Como ya se ha comprobado en otros trabajos de propagación (García- Rubio y Malda – Barrera 2010, Castro Gallo *et al.* 2002, Pérez-Molphe *et al.* 1998), el medio de cultivo Murashige y Skoog resultó efectivo en el establecimiento de los cultivos y desarrollo de las plantas. Se observó que *Mammillaria bombycina* y *Ferocactus histrix* tienen un promedio de brotes por explante con 2.39 (con 1 mg/L BA) y 1.46 (con 0.5 mg/L BA) respectivamente, lo cual es bajo al compararlo con otro obtenido en *M. matildae* que fue de 4.9 (con MS sin

reguladores de crecimiento) (García-Rubio y Malda-Barrera 2010). Sin embargo, con este número de brotes por explante se logró obtener un número suficiente de ejemplares para lograr llevar a cabo los esfuerzos de reintroducción. *Mammillaria perezdelarosae* mostró un porcentaje de germinación de las semillas de 38.77% como mejor promedio y 1.4 brotes por explante con 0.5 mg/L de BA. Lo anterior, junto con su baja sobrevivencia en invernadero (8%), imposibilitó obtener ejemplares suficientes de esta especie para el proceso de reintroducción.

Los mapas de distribución potencial obtenidos del modelado de nicho ecológico para las 3 especies resultaron de gran utilidad para definir mejor los sitios potenciales en las que las especies estudiadas podrían estar distribuidas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estos modelos se construyen usando únicamente variables ambientales y faltaría considerar otros factores que seguramente limitarían la distribución de la especie, como las interacciones entre especies, la depredación, y otros factores abióticos que prevendrían efectivamente la presencia de la especie en todos los sitios en donde se predice la distribución por el modelado. También debe notarse que algunas zonas que el modelo señala como posibles de reintroducción potencial son ahora zonas urbanas, industriales o agrícolas y por lo tanto ya no podrían considerarse para reintroducción. Esto pudo observarse claramente en la prueba piloto de reintroducción realizada, ya que a pesar de que el mapa ubica este lugar como adecuado para *F. histrix* o *M. bombycina*, la sobrevivencia de los ejemplares introducidos se vio afectada grandemente por la depredación y factores ambientales como el frío y la sequía. El modelado nos permite entonces conocer el nicho ecológico potencial de la especie, lo cual es diferente del nicho realizado o los sitios en donde se encuentra realmente la especie.

El modelado de nicho ecológico también nos permitió identificar variables climáticas importantes para estas especies. Al comparar las variables para ambas especies de *Mammillaria* se observó que Bio6 (la temperatura mínima del periodo más frío) y Bio18 (la precipitación del cuatrimestre más caliente) son las más relevantes para ambas especies. Esto significa que las bajas temperaturas y la cantidad de precipitación que se presente en el mes más caliente son las condiciones climáticas que están más fuertemente asociadas con la distribución de estas especies. Esta similitud puede explicarse por la cercanía filogenética que existe entre ambas especies. En tanto que para *F. histrix*, la variable más importante fue Bio2 (rango medio de temperatura semanal), que no figuró entre la variables relevantes para las dos

especies de *Mammillaria*. El modelado también identificó variables coincidentes de importancia en las tres especies con Bio6 (temperatura mínima del periodo más frío), aunque su importancia fue menor que las anteriormente mencionadas.

Al sobreponer los mapas de distribución potencial de las especies y los mapas de vegetación pudimos identificar tipos de vegetación a los que estas especies están asociadas de una manera general. En el caso de *F. histrix*, fue el matorral subtropical; para *M. bombycina* fue el suelo con manejo agropecuario y para *M. perezdelarosae* fue el bosque de encino. Sin embargo, este uso de suelo no coincidía siempre con las observaciones en campo, debido a que en los mapas la resolución de la carta digital tiene muy poco detalle (1:250,000) y se requerirían cartas de mayor escala de detalla para obtener asociaciones de vegetación más precisas. Relacionado con esta falta de detalle a pequeña escala de las cartas, es importante mencionar que el suelo identificado como de manejo agropecuario, puede todavía tener elementos de la vegetación original, es decir, que aún siendo catalogado de manejo agropecuario por la cartografía, el tipo de vegetación predominante puede ser bosque de encino, de manzanita, matorral subtropical, etc.

Para realizar la reintroducción se consideró como una buena opción la Estación Biológica Agua Zarca, pues en este lugar las plantas estarían presuntamente protegidas de la depredación humana y de daño por parte del ganado, factores importantes para la sobrevivencia de las plantas reintroducidas. En los esfuerzos de reintroducción piloto se obtuvieron porcentajes de sobrevivencia de 11.11% para *M. bombycina* y 23.535% para *F. histrix*. Esta evaluación fue hecha después de cuatro meses de haber plantado los organismos y sirvió para mejorar la estrategia seguida para la introducción definitiva. Tomando en cuenta los datos obtenidos a través de esta prueba piloto, se tomaron medidas de protección para las plantas como el resguardarlas de los depredadores, además de realizar la reintroducción en otra época del año en donde el alimento para los predadores fuera más abundante. Con tales medidas, se minimizaron los daños que estas plantas pudieron sufrir por depredación, sequía y frío, y con ello aumentar el porcentaje de sobrevivencia de las mismas en la siguiente reintroducción.

Durante la reintroducción en la Estación Biológica Agua Zarca, pudo observarse que el porcentaje de sobrevivencia de las plantas estuvo entre 5-6.5% para *F. histrix* y entre 10-12.5% para *M. bombycina*. Esto representa un importante avance en los estudios de reintroducción si

se considera que estos ejemplares han sobrevivido un mayor tiempo en condiciones de campo que los mostrados por otros autores como García-Rubio y Malda-Barrera 2010, Contreras y Valverde 2002, Leirana-Alcocer y Parra-Tabla 1999; además de que han mostrado un incremento en su talla y un ejemplar de *M. bombycina* originó dos brotes por reproducción asexual. Ciertamente existen reportes de especies que han sobrevivido en mayor porcentaje como *M. san-angelensis* con 91% (Rubluo *et al.* 1993) a una reintroducción, sin embargo ésta fue lograda en un jardín botánico donde las plantas tienen un mantenimiento constante.

Los porcentajes de sobrevivencia fueron mayores en la prueba piloto que en la reintroducción definitiva, pero es importante mencionar que fueron mayores debido que el periodo de monitoreo post reintroducción fue mucho menor en la reintroducción piloto (cuatro meses), mientras que el tiempo de sobrevivencia de la reintroducción definitiva representan un monitoreo post-reintroducción de poco más de dos años.

Algunas causas de que no se obtuvieran mayores niveles de sobrevivencia fueron probablemente: la aparente alta abundancia de huecos de roedores que son los posibles responsables de la depredación y el hecho de que la reintroducción coincidió con años con una precipitación muy baja en el Estado, lo cual seguramente afectó el desarrollo de las especies introducidas. Otra causa de muerte de los ejemplares pudo haber sido el frío que en los meses de invierno pudo haber sido crítico, particularmente en la Estación Biológica Agua Zarca, que afectó la supervivencia debido a la situación de estrés hídrico a la que se enfrentaron los ejemplares previamente a la temporada de invierno. En cuanto a las plantas que se colocaron sin protección y con cabello o sin él, no se observó diferencia en la protección que éste proporcionó a las plantas ya que todas ellas eventualmente se perdieron. Por lo tanto la única protección real fue la malla de alambre colocada sobre las plantas.

La presencia de plantas nodrizas representó un elemento de suma importancia, ya que la sombra y protección que éstas proporcionaron influyó de manera fundamental en la sobrevivencia de las especies al disminuir los efectos de la sequía en la zona. Esto se comprobó en la introducción realizada en la estación de transferencia del municipio de Calvillo, en donde las plantas terminaron por morir debido a que las nodrizas se secaron o disminuyeron su follaje al haber poca precipitación. De manera general, los árboles, particularmente los encinos (*Quercus* spp.), proporcionaron la mejor protección a los ejemplares introducidos. En el año 2012 se presentó una mejor temporada de lluvias que la

presentada en los años previos, y esto seguramente ha sido favorable para las plantas introducidas al medio natural. En la última visita para revisar las plantas colocadas en la estación biológica Agua Zarca en noviembre del 2013, se encontró que las plantas que sobrevivieron hasta el periodo de lluvias han persistido y han aumentado de tamaño. Se confirma que la protección brindada por la malla de alambre resultó ser la única estrategia efectiva de protección de los ejemplares.



CONCLUSIONES

- El trabajo de campo permitió confirmar la presencia de las especies en las localidades mencionadas en la literatura y localizar más poblaciones en el territorio estatal.
- Al visitar las localidades en campo se tomaron varias características de macro y microhábitat que permitieron tener una idea clara del hábitat que se debería de buscar en la elección posterior de los sitios de reintroducción.
- Los modelos de distribución potencial lograron definir áreas apropiadas para la reintroducción mediante el uso de variables ambientales. Las variables más importantes que se identificaron en el modelado para *F. histrix* fueron rango medio de temperatura semanal, estacionalidad de precipitación y temperatura mínima del periodo más frío. Para *M. bombycina* las variables más significativas fueron la temperatura mínima del periodo más frío, la precipitación del cuatrimestre más caliente y el rango de temperatura anual. Para *M. perezdelarosae* se identificaron la precipitación del cuatrimestre más caliente, la temperatura mínima del periodo más frío y la estacionalidad de la precipitación como las variables ambientales más importantes.
- Las asociaciones vegetales de las tres especies fueron diferentes; *F. histrix* se encontró principalmente en matorral subtropical con un 46.96%, *M. bombycina* en suelo con manejo agropecuario con un 73.3% y *M. perezdelarosae* se encontró más comúnmente en bosque de encino con un 46.6%.
- El uso conjunto de la información recabada en campo, los resultados de los modelos de distribución potencial, los datos obtenidos de cartografía especializada y el conocimiento del uso de suelo y niveles de protección, permitieron elegir sitios potenciales de distribución para llevar a cabo posteriormente la reintroducción.
- En este trabajo se vio la necesidad de contar con cartografía de mayor detalle en la que puedan discriminarse más tipos de vegetación, para así obtener información que sea ecológicamente relevante para la determinación del hábitat preferido por las especies. Esto redundaría en una mejor elección de los sitios en donde se pueda llevar a cabo la reintroducción de estas especies.
- El método de desinfección de las semillas empleado en el trabajo resultó bueno para las 3 especies en estudio.

- El número de brotes por explante obtenido para *M. bombycina* fue de 2.39 (con 1 mg/L BA) y para *F. histrix* fue de 1.46 (con 0.5 mg/L BA), lo cual se consideró adecuado para cumplir los objetivos de este trabajo.
- En la prueba final de reintroducción se obtuvo un 5% de sobrevivencia para *F. histrix* y un 12.3% para *M. bombycina* cuando las plantas se cubrieron con malla y un 6.25% para *F. histrix* y 10% para *M. bombycina* cuando las plantas se cubrieron con malla y cabello. Estos resultados son satisfactorios ya que estos porcentajes de sobrevivencia son obtenidos después de casi dos años de monitoreo de las plantas reintroducidas.
- Las especies obtenidas por micropropagación son capaces de adaptarse adecuadamente a condiciones de suelo y campo, siempre y cuando se introduzcan en sitios apropiados, se les provea de protección contra depredadores y se sigan lineamientos como los mencionados en el presente trabajo para asegurar su sobrevivencia.
- Las estrategias de introducción o reintroducción exitosas tendrán un impacto positivo en la conservación de especies con problemas de conservación, y aunque el presente trabajo se enfoca en tres especies a una escala local, establece las bases para refinar aún más las estrategias de introducción, o para aplicarlas con otras especies o en otras localidades.

GLOSARIO

Ácido Naftalenacético. Tipo de auxina sintética muy activa, implicados en el crecimiento y diferenciación celular.

Areolas. grupo de agujones, finos y delicados de las cactáceas.

Auxinas. Grupo de sustancias de crecimiento de una planta producidas por muchas regiones de la división y crecimiento celular activo que regulan muchos aspectos del crecimiento vegetal. Compuesto comúnmente derivados de triptófano.

Benciladenina. Citocinina sintética comúnmente utilizada en cultivo *in vitro* de tejidos vegetales.

Brotos axilares. Brote que aparece en una axila.

Citocininas. Compuesto derivados de la adenina, sintetizados en tejidos jóvenes y raíces.

Delicuescente. Se aplica a los tejidos u órganos que se convierten en una masa fluída.

Embriogénesis somática. Proceso en el que ciertas células, y bajo ciertas condiciones en cultivo *in vitro*, tienen la capacidad de formar embriones mediante un proceso similar a la embriogénesis cigótica

Especies amenazadas. Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

Especies sujetas a protección especial. Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

Perianto. Estructura que protege las partes reproductivas en desarrollo de una flor.

Pericarpelo. Parte del receptáculo de origen axial que rodea el ovario de las cactáceas.

Tejido Calloso. Masa amorfa de células vegetales poco diferenciadas y de rápida proliferación.

Fuentes: Pérez-Molphe-Balch *et al.* 1999, Thain y Hickman 1995, Tooltill y Blackmore 1984.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, R., Godínez-Álvarez, H., Guzmán, U. y Dávila, P. 2004. Aspectos Ecológicos de dos Cactáceas Mexicanas amenazadas: Implicaciones para su conservación. Bol. Soc. Bot. Méx. 75:7-16 (2004).
- Anderson, E. F. 2001. The Cactus Family. Timber Press. Portland, Oregon. 776 pp.
- Anderson, R.- P., A. T. Peterson y M. Gómez-Laverde. 2002. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. Oikos 98: 3-16.
- Armstrong, D. P. y P. J. Seddon. 2008. Directions in reintroduction Biology. Trends in Ecology and Evolution Vol. 23 No.1.
- Ballesteros-Barrera, C., E. Martínez-Meyer y H. Gadsden. 2007. Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two microendemic lizards, Genus *Uma*, of northern Mexico. Journal of Herpetology 41: 733-740.
- Boyle, T. H. y E. F. Anderson. 2002. Biodiversity and conservation, *En* P.S. Nobel. Cacti: Biology and Uses. University of California Press, Berkeley, California, Pp. 274-316.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol I. 743 pp.
- Castro Gallo, I. A., E. Meza-Rangel, M. E. Pérez-Reyes y E. Pérez-Molphe-Balch. 2002. Propagación *in vitro* de 10 especies mexicanas de cactáceas. Scientiae Naturae. Vol. 4. No. 2:5-24.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) 1999. “Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO”. Escala 1: 1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Contreras, C. y T. Valverde. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. J. Arid Environ. 51:89-102.
- De la Cerda, M. 1999. Cactáceas de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 106 pp.
- De Medeiros, L. A, S. R. Roberval Cassia, L. A. Gallo, E.T. de Oliveira y E.S. Payao Dematte. 2006. In vitro propagation of *Notocactus magnificus*. Plant Cell Tissue and organ culture 84: 165-169.

- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. McC. M. Overton, A. Townsend Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M. S. Wisz y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Escobar A, H. A., V. M. Villalobos A y M. A. Villegas. 1986. *Opuntia* micropropagation by axillary proliferation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 7:269-277.
- Escoto-Rocha, J y L.M.Pardavé-Díaz. 2011. Estación Biológica Agua Zarca 2005-2010. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 110pp.
- Fay, M. 1994. In what situations is *in vitro* culture appropriate to plant conservation? *Biodiversity and conservation* 3, 176-183.
- García-Rubio, O y M. García- Barrera. 2010. Micropropagation of the Endemic *Mammillaria mathildae* (cactaceae) to Its Natural Habitat. *Hort Science*. 45 (6): 934-938.
- Giusti, P., D. Vitti, F. Fiocchetti, G. Colla, F. Saccardo y M. Tuccii. 2002 . In vitro propagation of three endangered cactus species. *Scientia Horticulturae* 95: 319-332.
- Godínez-Alvarez, H., T. Valverde y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the cactaceae. *The Botanical Review*. 69: 173-203.
- Graham, C. H., S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz y A. T. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 497-503.
- Guisan, A., O. Broennimann, R. Engler, M. Vust, N. G. Yoccoz, A. Lehmann y N. E. Zimmermann. 2006. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. *Conservation Biology* 20: 501-511.
- Guisan, A. y N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Havel, L y Kolar, Z. 1983. Microexplant isolation from Cactaceae. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*: 2: 349-353.
- Hernández, H. M. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.

- Hunt, D. 1999. CITES Cactaceae checklist. Royal botanical gardens & International Organization for Succulent Plant Study, Kew.
- Hurtado, D.V. y M.E. Merino. 1994. Cultivo de Tejidos Vegetales. Ed. Trillas. México, D.F. 232pp.
- Infante, R. 1992. *In vitro* axillary shoot proliferation and somatic embryogenesis of yellow pitaya *Mediocactus coccineus* (Slam-Dyck). Plant cell, Tissue and organ Culture 31:155-159.
- Iriondo, J.M. 2001. Conservación de Germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). Invest. Agr.: Prod. Veg. Vol16 (1).
- Johnson, J. L. y E. R. Emino. 1979. Tissue Culture propagation in the cactaceae. Cactus & Succulent Journal 51:275-277.
- Kozak, K. H., C. H. Graham y J. J. Wiens. 2008. Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology. Trends in Ecology & Evolution 23: 141-148.
- Leirana-Alcocer, J y V. Parra-Tabla. 1999. Factors affecting the distribution, abundance and seedling survival of *Mammillaria gaumeri*, an endemic cactus of coastal Yucatán, México. J. Arid Environ. 41 :421-428.
- Maunder, M. 1992. Plant reintroduction: an overview. Biodiversity and Conservation. 1, 51-61.
- Mauseth, J. D. 1977. Cactus tissue culture: A potential method of propagation. Cactus & Succulent Journal. XLIX: 80-81.
- Martínez-Avalos, J.G, J. Golubovb, M.C. Mandujano y E. Jurado. 2007. Causes of individual mortality in the endangered star cactus *Astrophytum asterias* (Cactaceae): The effect of herbivores and disease in Mexican populations. Journal of arid Environments. 71, 250-258.
- Martínez Vázquez, O. y A. Rubluo. 1989. *In vitro* mass propagation of the near-extinct *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada. Journal of Horticultural Science 64 (1): 99-105.
- New, M. G., M. Hulme and P.D. Jones. 1999. Representing 20th century space-time climate variability. I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. Journal of Climate 12: 829-856.

- Nobel, P. 2002. Cacti Biology and uses. University of California Press. 280pp.
- Nobel, P. S, P. Miller y E. Graham. 1992. Influence of Rocks on soil temperature, soil water potential and rooting patterns for desert succulents. *Oecologia* 92, 90-96.
- Oldfield, S. 1997. Status and conservation action plan. Cactus and succulent plants. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Pearson, R.G. 2007. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. Available at <http://ncep.amnh.org>.
- Pearson, R. G., W. Thuiller, M. B. Araujo, E. Martinez-Meyer, L. Brotons, C. McClean, L. Miles, P. Segurado, T. P. Dawson y D. C. Lees. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography* 33: 1704-1711.
- Pérez-Molphe- Balch, E. y C. A. Dávila Figueroa. 2002. In vitro propagation of *Pelecyphora aselliformis* Ehrenberg and *P. strobiliformis* Werdermann (Cactaceae). *In Vitro Cell. Bio.-Plant.* 38: 73-78.
- Pérez Molphe Balch, E., M.E. Pérez- Reyes, C. A. Dávila- Figueroa y E. Villalobos-Amador. 2002. In vitro propagation of three species of columnar cacti from the Sonoran Desert. *Hort Science* 37(4): 693-696.
- Pérez-Molphe Balch, E, M. E. Pérez Reyes, E. Villalobos-Amador, E. Meza-Rangel, L. R. Morones-Ruíz y H. Lizalde Viramontes. 1998. Micropropagation of 21 species of Mexican cacti by axillary proliferation. *In vitro Cell Dev. Bio. Plant* 34: 131- 135.
- Pérez-Molphe-Balch, E., R. Ramírez, H.G. Núñez y N. Ochoa. 1999. Introducción al Cultivo de Tejidos Vegetales. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 179 pp.
- Peters, E. M, C. Martorell y E. Ezcurra. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* 72: 593-601.
- Peterson, A. T. 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology* 78: 419-433.
- Peterson, A. T. y D. A. Kluza. 2003. New distributional modelling approaches for gap analysis. *Animal Conservation* 6: 47-54.
- Peterson, A. T., C. Martínez-Campos, Y. Nakazawa y E. Martinez-Meyer. 2005. Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human

- dengue cases. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 99: 647-655.
- Peterson, A. T., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sanchez-Cordero, J. Soberón, R. H. Buddemeier y D. R. B. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. Nature 416: 626-629.
- Peterson, A. T., J. Soberón y V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time. Science 285: 1265-1267.
- Quezada-Guzmán, E., J. García-Santibañez y R. Díaz-López. 2000. Nomenclator: cactáceas en Aguascalientes. INIFAP. 47pp.
- Ramírez-Malagón, R., I. Aguilar-Ramírez, A. Borodanenko, L. Pérez- Moreno, J. L. Barrera-Guerra, H. G. Nuñez-Palenius y N. Ochoa-Alejo. 2007. In vitro propagation of ten threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae). In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant 43:660–665.
- Rubluo, A. 1997. Micropropagation in *Mammillaria* . In Y.P.S. Bajaj (Ed) Biotechnology in Agriculture and Forestry. High techniques and micropropagation. Vol VI. Springer, Berlin, pp193-205.
- Rubluo, A., V. M. Chávez, A. P. Martínez y O. Martínez-Vázquez. 1993. Strategies for recovery of endangered orchids and cacti through in vitro culture. Biol. Conserv. 63, 163–169.
- Rubluo, A., V. M. Chávez y A.P. Martínez. 1989. In vitro seed germination and re-introduction of *Bletia urbana* (Orchidaceae) in its natural habitat. Lindleyana 4: 68-73.
- Ruvalcava-Ruiz, D, D. Rojas Bravo y A.J. Valencia-Botín. 2010. Propagación in vitro de *Coryphanta retusa* (Britton & Rose) un cactus endémico y amenazado. Tropical and Subtropical Agroecosystem, 12 (2010): 139-143.
- Sánchez-Cordero, V. y E. Martínez-Meyer. 2000. Museum Specimen Data Predict Crop Damage by Tropical Rodents. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 97: 7074-7077.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Jueves 30 de Diciembre de 2010, Segunda sección.

- Starling, R. 1985. *In vitro* propagation of *Leuchtenbergia principis*. *Cactus & Succulent Journal (U.S.)* 57: 114:115.
- Téllez- Román, J. 2012. Tesis. Morfogénesis *in vitro* de cactáceas. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 171pp.
- Thain, M. y M. Hickman. 1995. *The Penguin Dictionary of Biology*. 9ed. Harmondsworth, Middlesex, England. 665pp.
- Tooltill, E. y S. Blackmore. 1984. *The Facts on File Dictionary of Botany*. Market House Books Limited. 390pp.
- Touchell, D H y K.H. Dixon. (1999) *In vitro* preservation *En*: Bowes B G (Ed) *A Colour Atlas of Plant Propagation and Conservation*, pp. 108-118. Manson Publishing. London
- Valiente-Banuet, A y E. Ezcurra.1991. Shade as cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetezo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ecology*. 79:961-971
- Vyskot, J. y Z. Jára. 1984. Clonal propagation of cacti through axillary buds *in vitro*. *Journal of Horticultural Science* 59 (3): 449-452.
- Wiens, J. J. 2004. Speciation and ecology revisited: Phylogenetic niche conservatism and the origin of species. *Evolution* 58(1): 193-197.



10 de diciembre de 2013

M. en C. Ernestina Meza Rangel
Departamento de Química
Centro de Ciencias Básicas
Universidad Autónoma de Aguascalientes
20100 Aguascalientes, Aguascalientes
MÉXICO

Estimada M. en C. Ernestina Meza Rangel,

Tengo el gusto de informarle que ha sido aceptado para su publicación el trabajo “DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LAS CACTÁCEAS *FEROCACTUS HISTRIX*, *MAMMILLARIA BOMBYCINA* Y *M. PEREZDELAROSAE* EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO”, del cual es autora junto con Felipe Tafoya-Rangel, Roberto Lindig-Cisneros, José Jesús Sigala-Rodríguez, Eugenio Pérez-Molphe-Balch.

Aún no está asignado el número en el que aparecerá publicado el artículo. En cuanto lo tenga se lo haré saber.

Atentamente:



Biól. Rosa María Murillo Martínez
en nombre del Comité Editorial

Acta Botanica Mexicana

Centro Regional del Bajío

Avenida Lázaro Cárdenas 253, Apdo. postal 386, 61600 Pátzcuaro, Michoacán, México
correo electrónico: rosamaria.murillo@inecol.mx tel.: (434) 3422698, fax: (434) 3422699

ANEXO A. Detalles de la Estación Biológica Agua Zarca

Como una zona importante para el estudio de la Biodiversidad se cuenta en el estado con la Estación Biológica “Agua Zarca”, la cual se localiza al noreste de la ciudad de Aguascalientes a 75km de ésta. Esta es propiedad de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Posee una extensión de 254 hectáreas Tiene una altitud entre los 2,200 y 2,350 metros sobre el nivel del mar y se localiza entre las coordenadas 22° 05’ 30” y 22° 06’ 00” de Latitud norte y los 102° 34’ 30” y 102° 33’ 00” de Longitud Oeste. Su vegetación representativa es bosque de encino con yuca y manzanita; y matorral espinoso y pastizal (Escoto-Rocha y Pardavé-Díaz, 2011).

El responsable de la Estación Biológica Agua Zarca, es el M. en C. Jaime Escoto Rocha, profesor investigador de la Colección Zoológica, Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Y puede ser contactado en la misma Colección Zoológica: Avenida Universidad 940, Col Ciudad Universitaria, Edificio 132, Aguascalientes, Ags. CP 20131.

ANEXO B. Archivo fotográfico complementario



Figura 1. *M. perezdelarosae* asociada a líquenes en el Ocote, Ags.



Figura 2. Ejemplar pequeño de *F. histrix* en Potrerillo, Ags.



Figura 3. Ejemplar de *F. histrix* con botones florales en Tepezalá, Ags.



Figura 4. *M. perezdelarosae* en el Ocote, Jesús María, Ags.



Figura 5. Colonia bien conservada de *F. histrix* en los Alisos, Calvillo, Ags.



Figura 6. *F. histrix* y *M. bombycina* al inicio de la reintroducción, en la estación biológica Agua Zarca, San José de Gracia, Ags.



Figura 7. *F. histrix* y *M. bombycina* después de 27 meses de su reintroducción, en la estación biológica Agua Zarca creciendo saludablemente.



Figura 8. *M. bombycina* con dos brotes pequeños (parte basal del ejemplar de la izquierda), en la estación biológica Agua Zarca, Ags.