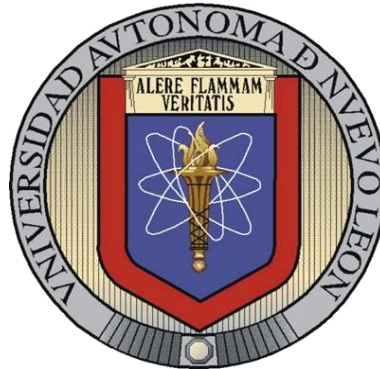


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**APLICACIÓN DE ZEOLITAS EN LA PROPAGACIÓN, ACLIMATACIÓN Y
REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS EN DOS ZONAS ECOLÓGICAS DEL
NORESTE DE MÉXICO**

POR

M.C. LIDIA ROSAURA SALAS CRUZ

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTORA EN CIENCIAS
CON ACENTUACIÓN EN MANEJO Y ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS
VEGETALES**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.

JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



APLICACIÓN DE ZEOLITAS EN LA PROPAGACIÓN, ACLIMATACIÓN Y REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS EN DOS ZONAS ECOLÓGICAS DEL NORESTE DE MÉXICO

Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

CON ACENTUACIÓN EN MANEJO Y ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS VEGETALES

M.C. LIDIA ROSAURA SALAS CRUZ

COMITÉ DE TESIS

Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab
Presidente

Dra. Marcela González Álvarez
Secretario

Dr. Luis Rocha Domínguez
Vocal 1

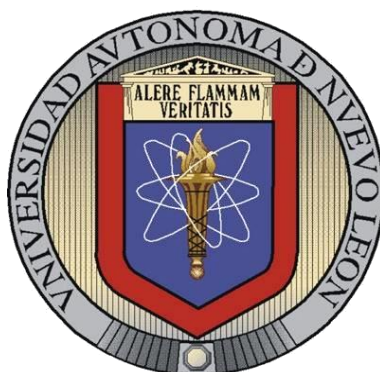
Dr. Artemio Carrillo Parra
Vocal 2

Dra. Lourdes Díaz Jiménez
Vocal 3

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**APLICACIÓN DE ZEOLITAS EN LA PROPAGACIÓN, ACLIMATACIÓN Y
REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS EN DOS ZONAS ECOLÓGICAS DEL
NORESTE DE MÉXICO**

Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTORA EN CIENCIAS

**CON ACENTUACIÓN EN MANEJO Y ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS
VEGETALES**

M.C. LIDIA ROSAURA SALAS CRUZ

Asesores externos

Dra. Lourdes V. Díaz Jiménez
Co-director

Dr. Alfredo Flores Valdés
Asesor

DEDICATORIA

A Jehová Dios, gracias por otorgarme la vida y tantas bendiciones.

A mi familia, por acompañarme y apoyarme siempre, mis padres: Rosaura Cruz de Salas y Francisco Rubén Salas Hernández, mis hermanos: Israel y José.

A mi esposo, Omar Vázquez Alanís por su amor, comprensión y paciencia.

A mis amigos, por su alegría, honestidad y confianza, Liz Gaspar, Cris Iracheta, Luz Flores, Alma López, Paul Maginot, Carlos Trejo, Jonathan Dorantes, GaBo, Salvador Espinoza.

Agradecimientos

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización del presente estudio.

A la Dra. Lourdes Díaz del Cinvestav Unidad Saltillo. Gracias por su invaluable ayuda en la realización de mis estudios de posgrado, asesorías y revisiones.

Al Dr. Alfredo Flores de Cinvestav Unidad Saltillo. Gracias por su apoyo en la selección de especies a trabajar, así como por donar el germoplasma para la realización del presente experimento.

A mi comité doctoral: Dr. Rahim Foroughbakhch, Dra. Marcela González, Dr. Luis Rocha, Dr. Artemio Parra; por sus revisiones y asesoría.

A todos mis maestros: Dra. María Luisa Cárdenas, Dr. Sergio Moreno Limón, Dra. Alejandra Rocha Estrada, Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez, Dra. Marcela González Álvarez, Dr. Víctor Ramón Vargas López, Dra. Hilda Gámez González, M.C. María del Consuelo González de la Rosa, Dr. Sergio Salcedo Martínez, Dr. Marco Antonio Guzmán Lucio, Dr. Jorge Hernández Pinero, Dr. Glafiro Alanís Flores; gracias por compartirme de sus conocimientos al cursar las materias impartidas en el departamento de Botánica.

A todos los que amablemente me ayudaron en la realización del trabajo de laboratorio y de campo: Dr. Luis Rocha, Perla Galván, Jorge Nieves, Liz Gaspar, Luz Flores, Paul Maginot, Jonathan Dorantes, Sarahí, Arturo, Alma López.

Sinceramente ¡Gracias!

Yo planté, Apolos regó, pero Dios siguió haciendo [lo] crecer; de modo que ni el que planta es algo, ni el que riega, sino Dios que [lo] hace crecer.

1 Corintios 3:6,7

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
1. RESUMEN Y ABSTRACT.	1
2. INTRODUCCIÓN.	3
3. DEFINICION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.	5
4. HIPÓTESIS.	7
5. OBJETIVO.	8
5.1. Objetivo general.	8
5.2. Objetivos particulares.	8
6. ANTECEDENTES.	9
6.1. Generalidades sobre las cactáceas.	9
6.2. Importancia y diversidad cactológica.	10
6.3. Descripción botánica de especies en estudio.	12
6.3.1. <i>Acharagma roseana</i>	12
6.3.2. <i>Astrophytum capricorne</i>	13
6.3.3. <i>Astrophytum myriostigma</i>	14
6.3.4. <i>Echinocereus reichenbachii</i>	15
6.3.5. <i>Escobaria dasyacantha</i>	16
6.3.6. <i>Mammillaria plumosa</i>	17
6.3.7. <i>Mammillaria prolifera</i>	18
6.3.8. <i>Sclerocactus scheeri</i>	19
6.3.9. <i>Turbiniacarpus saueri</i> spp. <i>septentrionalis</i>	20
6.4. Distribución de cactáceas en México.	21
6.5. Especies bajo categoría de riesgo.	22
6.6. Propagación de cactáceas.	25
6.6.1. Propagación sexual.	25
6.6.1. Propagación asexual.	26
6.7 Requerimientos para el cultivo de cactáceas.	30

6.7.1	Temperatura.	30
6.7.2	Iluminación.	31
6.7.3	Ventilación.	31
6.7.4	Suelo.	31
6.7.5	Riego.	32
6.8.	Aclimatación.	32
6.9.	Reintroducción.	34
6.10.	Uso de zeolita natural en la propagación vegetal.	36
7.	MÉTODOS.	38
7.1.	Áreas de trabajo.	38
7.1.1.	Zona ecológica del campus Cinvestav, Ramos Arizpe, Coahuila.	38
7.1.2.	Zona ecológica del campus de la Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León.	39
7.2.	Material biológico.	39
7.3.	Criterio de selección de especies.	41
7.4.	Fases de la investigación.	41
7.4.1.	Prueba de viabilidad.	42
7.4.2.	Evaluación de germinación.	42
7.4.3.	Propagación asexual por la técnica de injerto.	43
7.4.4.	Aclimatación.	45
7.4.5.	Reintroducción.	46
7.4.6.	Análisis de suelo.	47
7.5.	Análisis estadístico.	47
8.	RESULTADOS.	49
8.1.	Evaluación de viabilidad y germinación.	49
8.2.	Propagación asexual por la técnica de injerto.	53
8.2.1.	Injerto con <i>Myrtilocactus geometrizans</i>	53
8.2.2.	Microinjerto con <i>Pereskia aculeata</i>	56
8.3.	Crecimiento en campo.	57
8.3.1.	Zona ecológica Ramos Arizpe, Coahuila.	57
8.3.2.	Zona ecológica Linares, Nuevo León.	60
8.4.	Supervivencia en campo.	62
8.4.1.	Zona ecológica Ramos Arizpe, Coahuila.	63
8.4.2.	Zona ecológica Linares, Nuevo León.	65
8.5.	Análisis de suelo.	66
9.	DISCUSION.	68
9.1.	Evaluación de viabilidad y germinación.	68
9.2.	Propagación asexual por la técnica de injerto.	69

9.3. Crecimiento en campo.	70
9.4. Supervivencia en campo.	71
9.5. Análisis de suelo.	72
10. CONCLUSIONES.	73
11. RECOMENDACIONES.	75
12. LITERATURA CITADA.	76
13. APENDICES.	90
APENDICE A.- Reintroducción de cactáceas en Ramos Arizpe	91
APENDICE B.- Reintroducción de cactáceas en Linares.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Estatus de protección ecológica de las 9 especies en estudio, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.	40
2	Análisis de varianza para porcentaje, velocidad e índice de germinación de nueve especies de cactáceas.	49
3	Medias de las variables porcentaje, velocidad e índice de germinación \pm desviación estándar, para nueve especies de cactáceas.	50
4	Análisis de varianza para viabilidad de 9 especies de cactáceas.	52
5	Porcentaje de viabilidad en semillas de nueve especies de cactáceas \pm desviación estándar, de acuerdo al patrón de tinción.	52
6	Análisis de varianza para las variables altura y diámetro en función de especies.	53
7	Análisis de varianza para las variables altura y diámetro en función de tratamientos.	54
8	Comparación múltiple de medias (\pm desviación estándar) para las variables altura y diámetro de cinco especies de cactáceas injertadas sobre <i>Myrtillocactus geometrizans</i>	55
9	Comparación múltiple de medias de las variables altura y diámetro para tres tratamientos aplicados a cactáceas injertadas sobre <i>Myrtillocactus geometrizans</i>	55
10	Tabla de Contingencia correspondiente a las frecuencias de plantas injertadas en función de especies y tratamientos.	55
11	Mediciones de cactáceas injertadas sobre <i>Pereskia aculeata</i>	56
12	Análisis de varianza para especie, exposición, nodriza y sustrato.	57

13	Análisis de varianza para diámetro y altura de cactáceas en función de las variables especie exposición y sustrato.	60
14	Tabla de contingencia para supervivencia de seis especies de cactáceas en función de las variables exposición solar, sustrato y nodricismo.	62
15	Tabla de contingencia para supervivencia de cactáceas en función de las variables exposición solar y sustrato. .	64
16	Análisis de suelos utilizados en la localidad Ramos Arizpe, Coahuila.	65
17	Análisis de suelos utilizados en la localidad Linares, Nuevo León.	66

LISTA DE FIGURAS

	Figura	Página
1	<i>Acharagma roseana</i> (foto: Maginot Ngangyo Heya)	13
2	<i>Astrophytum capricorne</i>	14
3	<i>Astrophytum myriostigma</i> (Foto: Maginot Ngangyo Heya)	15
4	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	16
5	<i>Escobaria dasyacantha</i> . (Foto: Todd Boland).	17
6	<i>Mammillaria plumosa</i> (Foto por Jim Peck)	18
7	<i>Mammillaria prolifera</i>	19
8	<i>Sclerocactus scheeri</i>	20
9	<i>Turbiniacarpus saueri</i> ssp. <i>septentrionalis</i> (Foto: Grzegorz F. Matuszewski).	21
10	Imagen de satélite mostrando la localidad ubicada en Cinvestav unidad Saltillo en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.	38
11	Imagen de satélite mostrando la localidad ubicada en Facultad de Ciencias Forestales, UANL, en el municipio de Linares, N. L.	39
12	Diagrama de flujo de las fases metodológicas.	41
13	Pasos para la realización de la técnica de injerto (http://www.doctor-risco.com/Cactusland/GuiaCultivoCactus/31_injertos_de_cactus.htm).	44
14	Condiciones de aclimatación para cada fase de la investigación. . .	45
15	Distribución de tratamientos de acuerdo a los factores evaluados	

	para la reintroducción de cactáceas: exposición solar, nodricismo y tipo de sustrato.	47
16	Curvas de germinación para nueve especies de cactáceas durante 25 días de evaluación.	51
17	Patrón de tinción observado al realizar el test de viabilidad mediante la prueba de tetrazolio, clasificando las semillas en: a) viables, b) viabilidad limitada y c) no viables.	51
18	Injerto de <i>Mammillaria prolifera</i> sobre <i>Pereskia aculeata</i>	56
19	Diámetro promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición oriente, con nodriza, sustrato perlita/peat moss; T2: oriente-c/nodriza-zeolita; T3: oriente-s/nodriza-perlita; T4: oriente-s/nodriza-zeolita; T5: poniente-c/nodriza-perlita; T6:poniente-c/nodriza-zeolita; T7: poniente-s/nodriza-perlita; T8: poniente-s/nodriza-zeolita.	58
20	Altura promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición oriente, con nodriza, sustrato perlita/peat moss; T2: oriente-c/nodriza-zeolita; T3: oriente-s/nodriza-perlita; T4: oriente-s/nodriza-zeolita; T5: poniente-c/nodriza-perlita; T6:poniente-c/nodriza-zeolita; T7: poniente-s/nodriza-perlita; T8: poniente-s/nodriza-zeolita.	58
21	Floración de <i>Mammillaria prolifera</i> reintroducida en localidad Ramos Arizpe, Coahuila.	59
22	Altura promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición poniente-sustrato perlita, T2: poniente-zeolita, T3: poniente-natural, T4: oriente-perlita, T5: oriente-zeolita, T6: oriente-natural.	61
23	Diámetro promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición poniente-sustrato perlita, T2: poniente-zeolita, T3: poniente-natural, T4: oriente-perlita, T5: oriente-zeolita, T6: oriente-natural.	61
24	Supervivencia para seis especies de cactáceas, reintroducidas a campo. Se incluyeron todos los tratamientos (nodricismo, exposición solar y tipo de suelo).	63

25	Curvas de supervivencia de seis especies de catáceas durante 85 días de evaluación. Se incluyeron todos los tratamientos (nodricismo, exposición solar y tipo de suelo).	63
26	Supervivencia de cactáceas reintroducidas a campo. Se incluyeron todos los tratamientos (exposición solar y tipo de suelo).	64
27	Curvas de supervivencia de cactáceas durante 85 días de evaluación. Se incluyeron todos los tratamientos (exposición solar y tipo de suelo).	65

NOMENCLATURA

ANP	Área Natural Protegida
Bw	Muy árido con lluvias de verano
Bs	Árido con lluvias de verano
CITES	Convención Internacional
cm	Centímetros
CONABIO	Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad
g	Gramos
g/L	Gramos por litro
h	Horas
ha	Hectáreas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
ISTA	International Seed Testing Association
IUCN	International Union for Conservation of Nature
IG	Índice de Germinación
Kg	Kilogramos
Km ²	Kilómetros cuadrados
L	Litros
m	Metros
M	Velocidad de germinación
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
MDR	Matorral desértico rosetófilo
mm	Milímetros
mg	Miligramos
mL	Mililitros
mg/L	Miligramos por litro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MS	Murashige-Skoog
N	Norte

O	Oeste
PG	Porcentaje de germinación
r^2	Coefficiente de determinación
SIG	Sistema de información geográfica
VG	Velocidad de germinación
v/v	Volumen sobre volumen
W	Western
°C	Grados Celsius
μM	Micromolar
%	Por ciento
°	Grados
''	Segundos
'	Minutos

1. RESUMEN

México cuenta con una vasta riqueza de especies vegetales (particularmente especies endémicas), se estima que el 40% de la flora vascular es propia o endémica del territorio mexicano; además es el país con la mayor diversidad de cactáceas con alrededor de 700 especies. Sin embargo, la situación actual de las cactáceas mexicanas es grave, debido al deterioro de hábitat, comercio irracional y lento crecimiento. Una alternativa para la propagación de cactus es el desarrollo de nuevos sustratos con las características ideales para el óptimo crecimiento de las plántulas. Una opción para cubrir dichas necesidades específicas lo constituyen las zeolitas naturales; en México, la información generada en cuanto al uso de zeolita como sustrato para la propagación de cactáceas, es escasa, por consiguiente el objetivo del presente trabajo es desarrollar técnicas de propagación y aclimatación para la reintroducción de las cactáceas: *Acharagma roseana* ssp. *roseana* (Boed.) E.F. Anderson, *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose, *Astrophytum myriostigma* Lem., *Echinocereus reichenbachii* (Terscheck ex Walp.) Haage, *Escobaria dasyacantha* (Engelm) Britton & Rose, *Mammillaria plumosa* F.A.C. Weber, *Mammillaria prolifera* (Mill.) Haw., *Sclerocactus scheeri* (Salm-Dyck) N.P. Taylor y *Turbincarpus saueri* ssp. *septentrionalis* G.F. Matuszewski & J. Šnicer; utilizando zeolita natural como sustrato. La reintroducción se realizó en 2 zonas ecológicas localizadas en Nuevo León y Coahuila. Se registraron quincenal y mensualmente los parámetros de adaptación (sobrevivencia/mortalidad), de crecimiento (altura, diámetro, proyección de copa); la fenología y la sanidad de las plantas. Las cactáceas fueron exitosamente establecidas en ambas localidades, *M. prolifera* obtuvo el mejor porcentaje de sobrevivencia (93%) al ser colocada en sustrato con zeolita, en la exposición solar oriente y bajo la sombra de una planta nodriza.

Palabras clave: cactáceas, conservación, supervivencia, zeolita.

ABSTRACT

Mexico has a vast richness of plant species (particularly endemic species), it's estimated that 40% of the vascular flora is own or endemic of the Mexican territory; in addition, it's the country with the greatest diversity of cacti with about 700 species. However, the current situation of Mexican cacti is severe, due to the habitat deterioration, irrational trade and slow growth. An alternative for the cactus propagation is the development of new substrates with ideal characteristics for the plantlets optimal growth. The natural zeolites constitute an option to cover said specific needs; in Mexico, the information generated in the use of zeolite as a substrate for the propagation of cacti is scarce, therefore the present work proposed to develop propagation and acclimatization techniques for the reintroduction of cacti: *Acharagma roseana* ssp. *roseana* (Boed.) E.F. Anderson, *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose, *Astrophytum myriostigma* Lem., *Echinocereus reichenbachii* (Terscheck ex Walp.) Haage, *Escobaria dasyacantha* (Engelm) Britton & Rose, *Mammillaria plumosa* F.A.C. Weber, *Mammillaria prolifera* (Mill.) Haw., *Sclerocactus scheeri* (Salm-Dyck) N.P. Taylor and *Turbinicarpus saueri* ssp. *septentrionalis* G.F. Matuszewski & J. Šnicer; using the natural zeolite as substrate. The reintroduction was realized in two ecological zones located both in Nuevo Leon as in Coahuila. Were recorded biweekly and monthly the adaptation parameters (survival/mortality), growth (height, diameter, crown projection); likewise, the phenology and health of the plants. The cacti were successfully established at both locations, the species *M. prolifera* had the best survival rate (93%) to be placed on the substrate with zeolite in east solar exposure and under the shade of a nurse plant.

Key words: Cactaceae, conservation, survival, zeolites.

2. INTRODUCCIÓN

México posee una vasta diversidad biológica que se debe principalmente a su ubicación geográfica, diverso relieve y variedad de climas. En cuanto a flora, aproximadamente el 10% de las plantas del mundo se encuentran en la República Mexicana. En el caso de las plantas con flores, México ocupa el quinto lugar mundial en riqueza de especies (y el sexto en número de endemismos), ya que cerca de 40% de la flora vascular es propia o endémica del territorio mexicano; además de ocupar el primer lugar en cuanto a diversidad de cactáceas con cerca de 700 especies (CONABIO, 2009). En donde encontramos la mayor diversificación de dichas plantas es en dos principales regiones áridas, el desierto Chihuahuense y el desierto Sonorense, situados en la región norte de la República Mexicana. Sin embargo, la situación actual de las cactáceas mexicanas es grave, debido al deterioro de hábitat por cambios irracionales de uso del suelo, comercio ilegal para satisfacer la demanda de plantas como ornamentales en el mercado negro nacional e internacional y al lento crecimiento que presentan. A través de la NOM-ECOL-059-2010 se reportan 221 especies de cactáceas en sus distintas categorías de riesgo en el noreste de México, además han sido incluidas en listados internacionales como el apéndice II de CITES o la lista roja de especies amenazadas de la IUCN.

Existen diferentes estrategias que pueden ser aplicadas para aminorar la problemática; como lo propone Falk, (1990) la conservación *in situ* (en su hábitat) y *ex situ* (fuera de su hábitat natural), constituyen una herramienta importante en la conservación de la diversidad de este grupo. Entre las estrategias de conservación *in situ* se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP), sitios legalmente protegidos para el resguardo de la diversidad biológica. Sin embargo, también es posible desarrollar tareas de conservación *ex situ* mediante establecimiento de jardines botánicos y propagación por semilla en viveros. Así, la aplicación de las diferentes estrategias para la protección de cactáceas contribuye a disminuir las presiones de colecta sobre poblaciones silvestres.

La mayor información sobre conservación de cactáceas trata principalmente del establecimiento de protocolos para la reproducción, especies asociadas o nodrizas y estudios sobre distribución; no obstante, es necesario llevar a la práctica toda la información generada para observar beneficios directos en las comunidades vegetales afectadas.

El primer paso en la conservación vegetal es conocer la biología reproductiva de la especie para establecer los mejores métodos de reproducción (accesibles y de bajo costo) y lograr satisfacer la demanda que hace vulnerables las poblaciones silvestres; a su vez reintroducir ejemplares para recuperar las poblaciones afectadas.

Una alternativa para la propagación de cactus es el desarrollo de nuevos sustratos con las características ideales para el óptimo crecimiento de las plántulas. Una opción que cubre dichas necesidades específicas lo constituyen las zeolitas naturales; su estructura física y química las hace un sustrato atractivo en la agricultura (Urbina *et al.*, 2006); y para el cultivo de cactáceas entre otras plantas. La aplicación de esta nueva tecnología (las zeolitas) tendrá repercusiones en la producción y por consecuencia en la propagación y la rehabilitación de sitios en áreas naturales protegidas.

En México, la información generada en cuanto al uso de zeolita como sustrato, para la propagación de cactáceas se limita a experimentos realizados a nivel de laboratorio e invernadero. Por consiguiente el presente trabajo plantea la propagación y aclimatación para lograr la reintroducción de cactáceas en áreas naturales, utilizando zeolita como sustrato, puesto que el uso de zeolita en México es limitado, aún y cuando es accesible, de bajo costo y reúne las características óptimas como sustrato hortícola. De tal forma, la presente investigación resultará un importante aporte en materia de conservación *in situ* y *ex situ*, de cactáceas en riesgo. El producto final será la conservación de las especies, sobretodo de las especies amenazadas y en peligro de extinción.

3. DEFINICION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Las cactáceas son plantas que debido a su importancia cultural, alimenticia, industrial, medicinal y sobre todo ornamental se han vuelto vulnerables y en peligro de extinción. Por lo anterior es inminente desarrollar estrategias de conservación mediante la implementación de sistemas tecnológicos de producción y propagación para la protección de dichas especies. Es determinante el entendimiento de la función de los ecosistemas de zonas áridas del noreste de México mediante el estudio de la biología de sus principales componentes vegetales (cactáceas) para restablecer sus poblaciones naturales y asegurar la conservación de su germoplasma.

Una alternativa para solucionar dicha problemática es desarrollar proyectos que involucren la producción, desarrollo, reintroducción y evaluación de plantas a su hábitat, lo anterior implica la evaluación de sustratos que durante la fase de producción proporcionen los nutrientes adecuados para el óptimo crecimiento de las plantas y favorezcan su adaptación a condiciones naturales. Un sustrato que cumple con las características necesarias para el desarrollo de cactáceas entre otras plantas son las zeolitas naturales, aunque actualmente los estudios científicos sobre el uso de dicho mineral como sustrato son pocos.

En estudios previos referentes al uso de zeolita como sustrato se ha obtenido una respuesta favorable en la obtención de cactáceas bajo condiciones de laboratorio e invernadero (Salas, 2010); sin embargo, es necesario evaluar el comportamiento de estas especies bajo la aplicación directa en el campo de diferentes tratamientos con zeolitas naturales.

Por lo anterior, el presente trabajo aporta como componente original la aplicación de zeolita natural directamente en el campo, como sustrato para la producción, desarrollo y establecimiento de diferentes cactáceas (endémica, protegida y en extinción) en el noreste de México, tomando en cuenta sus propiedades de retención de humedad y aporte de nutrientes expresado en su

capacidad de intercambio iónico; puesto que no hay evidencia de estudios similares que involucren la evaluación de cactáceas en su hábitat natural aplicando zeolita como sustrato, aún y cuando es un mineral accesible y de bajo costo, ya que existen grandes yacimientos a lo largo del país.

De esta forma, se pretende proporcionar una alternativa para la recuperación de poblaciones afectadas, aplicable a programas de conservación a largo plazo y que permita disminuir la presión sobre dichas poblaciones vegetales debido principalmente al cambio de uso de suelo y saqueo de especies para su comercio ilícito.

4. OBJETIVO

4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de zeolitas naturales sobre la propagación sexual y asexual, aclimatación y reintroducción de 9 especies de cactáceas, con fines de rehabilitar 2 zonas ecológicas de los estados de Nuevo León y Coahuila.

4.2 Objetivos Particulares

- Determinar la morfología, viabilidad y capacidad germinativa de semillas de las especies bajo condiciones de laboratorio e invernadero, aplicando sustratos convencionales y zeolita natural.
- Propagar sexual y asexualmente (por injerto) 9 especies de cactáceas nativas del noreste de México, aplicando sustratos convencionales y zeolita natural.
- Reintroducir y establecer las plántulas de cactáceas aplicando el mecanismo de aclimatación para su establecimiento en hábitat natural.
- Determinar el efecto del nodricismo y exposición solar sobre las especies estudiadas en los sitios donde se llevará a cabo la reintroducción de plántulas.
- Evaluar el efecto del sustrato adicionado con zeolita sobre el establecimiento y crecimiento de las cactáceas reintroducidas.

5. HIPÓTESIS

- Los factores bióticos y ambientales determinan la capacidad germinativa de las semillas en condiciones de laboratorio e invernadero.
- Es posible propagar cactáceas de manera sexual y asexual aplicando sustratos convencionales y zeolita natural.
- La reintroducción de cactáceas a su hábitat natural se ve favorecida al utilizar zeolita como sustrato.

6. ANTECEDENTES

6.1. Generalidades sobre las cactáceas

Las cactáceas son una familia de plantas que habitan generalmente en ecosistemas desérticos; suelen tener tallos gruesos y carnosos, hojas que la evolución transformó en espinas, flores delicadas que contrastan con la corpulencia de la planta, de brillantes colores, vistosas y efímeras, y frutos jugosos. Sus peculiares características han fascinado a botánicos y especialistas, y sus extrañas y caprichosas formas han atrapado la atención de coleccionistas de todo el mundo (Becerra, 2000).

Las cactáceas han sido consideradas como plantas atractivas desde la época de nuestros antepasados indígenas; quienes las usaron en alimentación, medicina, utilería doméstica, magia y política. Aún en la actualidad son muy atractivas desde el punto de vista ornamental por la variedad de sus caracteres morfológicos y fisiológicos, tales como la presencia de tejidos carnosos o suculentos en sus raíces, tallos y hojas, que tienen la capacidad de almacenar abundante cantidad de agua. Son apreciadas por las conformaciones caprichosas de sus tallos, con ángulos, costillas, espinas, nodos de forma globosa, de barril, candelabro, raquetados. En las cactáceas las hojas por lo general están transformadas en espinas rígidas, rectas o en forma de gancho o espinas fibrosas, algunas muy pequeñas, mostrando de esta forma la adaptación de las especies a los desiertos. Su sistema radicular además de ser carnoso, puede ser superficial extendido y muy ramificado. Sus flores son de pocos días de duración, muchas veces de un solo día o sólo aparecen en la noche, son muy atractivas por sus vistosos colores y formas; son muy visitadas por insectos, aves y murciélagos. En muchas de ellas, sus frutos carnosos son alimento para humanos y fauna silvestre (Alanís, 2001).

Una adaptación a las condiciones áridas se ha desarrollado en las plantas suculentas (que almacenan agua). Estas plantas abren sus estomas durante la noche y los cierran durante el día. El cierre de los estomas durante el día ayuda a las plantas

del desierto a conservar agua, pero también previene la entrada del CO₂ a las hojas. Durante la noche, cuando sus estomas están abiertos, estas plantas toman CO₂, y lo incorporan a una variedad de ácidos orgánicos. Este modo de fijación del carbono se denomina metabolismo del ácido crasuláceo, o CAM, en referencia a las plantas de la familia Crassulaceae. Las células mesófilas de las plantas CAM almacenan los ácidos orgánicos que sintetizan durante la noche en sus vacuolas hasta la mañana, cuando el estoma se cierra. Durante el día, cuando las reacciones de la fase luminosa pueden aportar ATP y NADPH para el ciclo de Calvin, el CO₂ es liberado desde los ácidos orgánicos sintetizados la noche anterior para incorporarse en azúcares en los cloroplastos (Campbell y Reece, 2007).

6.2. Importancia y diversidad cactológica

Las cactáceas constituyen elementos dominantes de la vegetación de las zonas áridas y semiáridas de México. Han sido consideradas plantas atractivas desde nuestros antepasados indígenas; las usaron en alimentación, medicina, utilería doméstica, magia y política. Aún en la actualidad son muy atractivas desde el punto de vista ornamental por la variedad de sus caracteres morfológicos y fisiológicos, tales como la presencia de tejidos carnosos o suculentos en sus raíces, tallos y hojas, que tienen la capacidad de almacenar abundante cantidad de agua; son apreciadas por las conformaciones caprichosas de sus tallos, con ángulos, costillas, espinas, nodos de forma globosa, de barril, candelabro, raquetados. Sus flores son de pocos días de duración, muchas veces de un solo día o solo aparecen en la noche, son muy atractivas por sus vistosos colores y formas; son muy visitadas por insectos, aves y murciélagos. Sus frutos, debido principalmente a su carnosidad han servido de alimento para humanos y fauna silvestre (Bravo, 1978).

Reyes (1997), describe las cactáceas como plantas de formas *sui generis* y extrañas debido a sus caracteres anatómicos y fisiológicos, tales como su estructura crasa, reducción del limbo de las hojas, hipertrofia del pecíolo hasta su transformación en un podario o tubérculo, modificación de las yemas hasta su conformación en areolas, espiración diversa y un metabolismo de tipo ácido crasuláceo (CAM).

Otro aspecto interesante es su lento crecimiento, que a veces dura cientos de años (como es el caso del Sahuaro, *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose); el cuál se ve interrumpido por diversos factores, entre ellos, la destrucción del hábitat que afecta el potencial reproductivo de todo el ecosistema. El cambio de uso de suelo, el sobrepastoreo, la extracción de productos maderables y no maderables; han llevado a la mayoría de dichas especies a una situación de peligro de extinción. Al mismo tiempo, el saqueo de germoplasma o de material vegetativo de las cactáceas existentes en las comunidades de plantas del desierto para comercializarlas ilícitamente y venderlas en el mercado negro nacional o en el extranjero, impacta las poblaciones de muchas de estas especies, haciendo inminente el establecimiento de estrategias para su conservación (Reyes, 1997).

Especialmente las cactáceas ofrecen una gran gama de posibilidades para su aprovechamiento, entre las que se cuenta la producción de tinturas para la industria alimenticia, extracción de alcaloides de uso médico, obtención de alimento para consumo humano, alimento fresco y/o forraje para la ganadería y plantas de ornato, así también por el importante papel que como parte esencial de la flora desempeñan dentro del ecosistema (Carmona *et al.*, 2008).

En la actualidad se reporta una diversidad de 111 géneros y aproximadamente 1,500 especies, nativas y originarias al continente americano, solo el género *Rhipsalis* ocurre en el viejo continente. Sin embargo, debido a los constantes reacomodos taxonómicos de los géneros y las especies, se hace difícil una estimación concreta con respecto al número de taxa presentes en México y en particular en cada estado de la república. En Nuevo León existen 33 géneros, 114 especies y 25 taxa infraespecíficas, la familia se distribuye en todo el estado (Velazco, 2009). No obstante, de acuerdo a Guzmán *et al.* (2007), reportan para Nuevo León 32 géneros y 118 especies, ocupando el tercer lugar en importancia a nivel nacional después de San Luis Potosí (151 spp.) y Coahuila (126 spp.) y empatado con Oaxaca. Mientras que González (2004), ubica a Nuevo León en un segundo lugar nacional a nivel de especies (134 spp.) y en el estado con mayor riqueza de géneros.

Cabe destacar que Nuevo León es el único estado de la república que presenta tres géneros endémicos, *Aztekium*, *Geohintonia* y *Digitostigma* (Velasco, 2009).

Las cactáceas del Chihuahuense se caracterizan por sus tamaños, que van desde pequeños hasta medianos, sus distribuciones geográficas restringidas y sus lentas tasas de crecimiento. La gran demanda nacional e internacional de ejemplares de estas especies con fines hortícolas, aunada a sus características biológicas, las colocan como una de las familias botánicas más amenazadas del planeta.

6.3. Descripción botánica de especies en estudio

6.3.1. *Acharagma roseana* (Böed.)

Nombre común, biznaga verde. Sinonimia: *Escobaria roseana*. Planta normalmente cespitosa que puede formar macollos de más de 10 individuos, cada uno de los cuales tiene un tallo cilíndrico, de color verde claro, de 10 cm de largo por 5 cm de diámetro. El tallo está dividido en tubérculos de 8 mm de largo por 5 mm de diámetro, sobresaliendo algunos 2 mm del tallo. Las areolas situadas en la punta de cada tubérculo son amarillas, cubiertas de lana del mismo color. De éstas, emergen de 13 a 15 espinas radiales amarillas de 1.5 cm de largo y de 4 a 6 centrales también de color amarillo (Bravo y Sánchez, 1991; Flores, 2006). Las flores son apicales, de color amarillo pálido, con tonos de color café claro, de 1 cm de largo por 5 mm de diámetro. Los frutos son alargados, de color verde olivo, de 1 cm de largo por 3 mm de diámetro, llevando decenas de semillas de color café claro de 2 mm de diámetro. Esta especie está confinada a una pequeña franja de distribución que cubre el sureste del Estado y la parte centro oeste del Estado de Nuevo León, donde crece en pendientes rocosas cubiertas de vegetación xerófila, en alturas que van desde los 1000 hasta los 2200 msnm. El género ha sido recientemente nombrado *Acharagma*, aunque no está bien difundido todavía. Los alrededores de Saltillo, Coahuila son hábitat de 2 subespecies del género; la subespecie *roseanus*, común en la zona baja del valle, en alturas comprendidas entre 1000 a 1300 msnm, donde crece con índices de población hasta de 1 planta por metro cuadrado. La subespecie *pachyrhiza* crece

en la parte alta de montañas a más de 1500 msnm. Protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Figura 1).



Figura 1. *Acharagma roseana* (foto: Maginot Ngangyo Heya)

6.3.2. *Astrophytum capricorne* (Dietr.) Br. & R.

Nombre común: mechudo. Planta globoso-cilíndrica, que puede alcanzar hasta 40 cm de altura por 15 cm de diámetro. Su tallo de color verde oscuro está cubierto de escamas blancas y se divide en costillas que varían en número de 5 a 9. Cada costilla está cubierta de areolas de color café oscuro. Sus flores son muy vistosas, de color amarillo brillante con su centro interior de color rojo, tan grandes como 7 cm de diámetro. Sus frutos son pequeñas bayas de 1 cm de diámetro, y están cubiertos de pelusa fina. Sus semillas son similares a las del género *Notocactus*, el cuál es exclusivo de Sudamérica, es decir, en forma de pequeñas cazuelas, de 2 mm de diámetro (Figura 2).

Es una planta muy abundante en los alrededores de Saltillo, Coahuila y Monterrey, N.L., donde crece en las orillas de arroyos o en lomeríos bajos de abundante vegetación xerófila. Se le considera de corto rango de distribución en los municipios mencionados, aunque sus subespecies son comunes en otros municipios del centro-norte de Coahuila, y del noroeste de Nuevo León. El rango de altura donde crece varía entre los 500 y los 1300 msnm. En las localidades donde abunda es

posible encontrar hasta 3 individuos por metro cuadrado. Especie protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2001 como endémica y amenazada.



Figura 2. *Astrophytum capricorne*

6.3.3. *Astrophytum myriostigma* (Moell.)

Nombre común: bonete de obispo. Planta usualmente solitaria, aunque es posible encontrar especímenes con varias cabezas. Su tallo es cilíndrico, de color verde olivo, aunque está completamente cubierto de pequeñísimas escamas blancas, pudiendo alcanzar hasta 40 cm de altura por 20 cm de diámetro. El tallo está dividido en 5 a 7 costillas rectas, con pequeños tubérculos espaciados 1 cm entre sí en cada costilla. Las areolas son apicales, redondas, de 3 mm de diámetro, cubiertas de fina lana blanca. Las flores son de color amarillo pálido, de 1 cm de diámetro por 1 cm de largo. Los frutos son globosos, de color café claro, de 1 cm de diámetro, conteniendo decenas de semillas en forma de cazuela, de color café claro, de 3 mm de largo por 1 mm de espesor (Figura 3).

Especie endémica de la parte suroeste del estado de Coahuila, donde crece en lomeríos rocosos con escasa vegetación xerófila, en alturas comprendidas entre los 1000 a 1400 msnm. Está incluida en los apéndices de la NOM-059-SEMARNAT-2001 como endémica y amenazada.



Figura 3. *Astrophytum myriostigma*.

6.3.4. *Echinocereus reichenbachii* (Tersch.) Hge. Jr.

Nombre común: huevo de toro. Planta usualmente solitaria, aunque a veces puede formar macollos, de tallo cilíndrico de color verde fuerte, hasta de 30 cm de largo por 10 cm de diámetro. El tallo está dividido en 15 a 20 costillas bajas algo tuberculadas. Las areolas son elípticas, de 3 mm de largo por 2 mm de ancho, cubiertas de fina lana blanca. Posee de 15 a 30 espinas radiales cortas, algo pectinadas, de color café con tintes rojizos, aunque algunas son de color blanco amarillento, de 8 mm de longitud. Además, de 1 a 2 espinas centrales rectas, rígidas, de color café claro. Las flores son de color rosa fuerte, con el fondo de color amarillo claro, hasta de 10 cm de diámetro por 8 cm de largo. Los frutos son globosos, de color rojo pálido, hasta de 5 cm de diámetro. Las semillas son redondas, de color negro, de 2 mm de diámetro (Figura 4).

Especie abundante dentro de los límites de la zona conurbada Arteaga-Ramos Arizpe-Salttillo, donde crece en suelo pedregoso de vegetación xerófito, en alturas próximas a los 1400 msnm. Esta hermosa especie ha sido fuertemente impactada por el crecimiento de la región, lo cual ha impedido su rescate en forma adecuada, perdiéndose cientos de especímenes anualmente (Flores, 2006).



Figura 4. *Echinocereus reichenbachii*.

6.3.5. *Escobaria dasyacantha* (Engelmann) Br. & R.

Nombre común: biznaga blanca. Planta simple, aunque a veces puede formar macollos, de tallo cilíndrico, de color verde fuerte, pudiendo alcanzar hasta 15 cm de largo por 5 cm de diámetro. El tallo está dividido en tubérculos cilíndricos, de 3 mm de diámetro por 5 mm de largo, dispuestos regularmente en el tallo. Las areolas son circulares, de 2 mm de diámetro, cubiertas de fina lana blanca. Cada tubérculo lleva de 20 a 30 espinas radiales aciculares de color blanco amarillento, con las puntas de color negro, de 15 mm de largo. Además de 3 a 5 espinas centrales aciculares, de color blanco con las puntas negras, de 20 mm de longitud. Las flores son de color rosado, con tonalidades color café entre los pétalos, de 3 cm de diámetro por 3 cm de largo. Los frutos son globosos, de 2 cm de diámetro, llevando semillas de color castaño claro, de 3 mm de largo por 1 mm de espesor (Figura 5).

Especie relativamente común en la parte central del Estado de Coahuila, específicamente los municipios de Nueva Rosita y Sabinas, donde crece a la sombra de arbustos, en pendientes rocosas de vegetación xerófila, en alturas comprendidas entre 800-1400 msnm. La densidad de población en sus localidades tipo varía entre 1 a 3 individuos por metro cuadrado. No se encuentra enlistada en los apéndices de la NOM-059-SEMARNAT-2001, a pesar de que algunas de sus poblaciones son continuamente impactadas por sobrepastoreo.



Figura 5. *Escobaria dasyacantha*. (Foto: Todd Boland).

6.3.6. *Mammillaria plumosa* (Weber).

Nombre común, bola de nieve. Planta globular, cespitosa, pudiendo formar macollos con más de 50 individuos. Cada tallo puede alcanzar un diámetro hasta de 8 cm, el cual está dividido en decenas de mamilas de color verde fuerte, de algunos 5 mm de longitud por 2 mm de diámetro. Las axilas están densamente cubiertas de lana blanca, la cual cubre también las areolas. De cada mamila emergen de 40 a 50 espinas radiales de color blanco a crema, de presas hacia el tallo, de algunos 5 mm de longitud, de aspecto plumoso. Las flores son de color crema, de 4 mm de diámetro por 3 mm de longitud. Los frutos son cilíndricos, de color verde olivo, de 5 mm de longitud por 2 mm de diámetro, llevando decenas de semillas de color amarillo claro, de 1 mm de diámetro. Especie de gran belleza y considerada una de las plantas más representativas del género *Mammillaria*, lo cual se debe a su apariencia globosa cubierta de plumas blancas. Su rango de distribución comprende la frontera entre Coahuila y Nuevo León, entre las ciudades de Ramos Arizpe y Monterrey, donde crece exclusivamente entre paredes rocosas de lomeríos bajos, en alturas comprendidas entre 800 a 1300 msnm. Es abundante en sus localidades tipo, donde es posible encontrar hasta 3 individuos por metro cuadrado. No obstante, estar fuera del alcance de la mano del hombre, está sujeta a la depredación de insectos, lo cual se vuelve frecuente en épocas de sequía. Es una especie sujeta a protección especial por la NOM-059-SEMAR-NAT-2001, por lo que sus poblaciones deben estar en constante monitoreo.



Figura 6. *Mammillaria plumosa* (Foto por Jim Peck)

6.3.7. *Mammillaria prolifera* (Mill.) Hildm.

Nombre común: biznaga de chilitos. Planta cespitosa, que puede formar familias de más de 50 individuos, cada uno de los cuáles posee un tallo globoso, de color verde oscuro, de 5 cm de diámetro. El tallo está dividido en decenas de mamilas cilíndricas, de 1 cm de longitud por 3 mm de diámetro. Las axilas están cubiertas de fina lana blanca, la cual protege a las areolas. De la punta de cada mamila emergen de 30 a 40 espinas radiales de color blanco amarillento, de 1 cm de longitud. También de 7 a 12 espinas centrales de color blanco, pero con tono más amarillento que las radiales, de 4 a 9 mm de largo. Las flores son de color crema, con tonalidades de color café claro, de 5 mm de diámetro por 1 cm de largo. Los frutos son cilíndricos, de color rojo, de 1 cm de largo por 4 mm de diámetro, llevando algunas semillas de color negro, de 1 mm de diámetro (Figura 7).

Especie muy poco conocida en las inmediaciones de la zona conurbada a Saltillo, ya que crece en una región poco accesible, entre paredes de arroyos, cañadas y cañones al norte de dicha población. No obstante, su rango de distribución es muy amplio, ya que no solo se le localiza en algunas regiones de México, sino, en regiones de otros países de América como Cuba, Estados Unidos y Haití, en alturas comprendidas desde 0 hasta 1300 msnm (Flores, 2006).



Figura 7. *Mammillaria prolifera*.

6.3.8. *Sclerocactus scheeri* (Salm-Dyck).

Nombre común: biznaga ganchuda o nido de pájaro. Planta cilíndrico-globular, que puede alcanzar hasta 30 cm de altura por 15 cm de diámetro. Su tallo, de color verde oscuro, tiene costillas a su alrededor (de 10 a 13) divididas en tubérculos cónicos con areolas en las puntas. Tiene cerca de cinco espinas ganchudas largas, que pueden alcanzar hasta 5 cm. Posee de 15 a 18 espinas radiales pequeñas de color blanquecino, de aproximadamente 1 cm de largo. Las flores son de color café claro hasta de 3 cm de largo por 0.5 cm de diámetro. Sus frutos son cilíndricos, de color verde brillante, de 3 cm de altura por 0.5 cm de diámetro, y en sus flancos aparecen diminutas espinas. Sus semillas son de color café, no mayores a 2 mm de diámetro (Figura 8).

Era notablemente abundante en los alrededores de Saltillo, existiendo algunas localidades con más de 3 individuos por metro cuadrado. Otras zonas donde es posible encontrar ejemplares de esta especie en el estado de Coahuila se encuentran en los municipios de Arteaga, Ramos Arizpe, General Cepeda, Cuatro Ciénegas y Parras de la Fuente, en zonas abiertas de vegetación xerófila. En los estados de Nuevo León, Chihuahua, San Luis Potosí, Zacatecas y Durango también existen áreas donde abunda la especie, en alturas sobre el nivel del mar comprendidas entre

los 1300 a 1600 metros. Se esconde bastante bien entre matorrales y pastizales, por lo que no es fácil de localizar. No obstante, que no ha sido enlistada en los apéndices de la NOM-059-SEMARNAT-2001, esta bella planta debe ser rescatada de la zona conurbana Saltillo-Arteaga-Ramos Arizpe, donde todo tipo de obras de infraestructura la han desplazado aceleradamente en los últimos años (Flores, 2006).



Figura 8. *Sclerocactus scheeri*.

6.3.9. *Turbincarpus saueri* ssp. *septentrionalis* (Matuszewski)

Tallo de cilíndrico a alargado cuando es joven, con prominencias, disminuyendo paulatinamente, parte subterránea, globosa o discoide, hasta 8 cm de ancho - con alta densidad de los tejidos. Areolas circulares o ligeramente alargadas, 5.3 x 2 mm, epidermis verde oscura, glaucos, tubérculos muy densos, de 4 mm de ancho y 7 mm, de forma cónica, dispuestos en espiral en 8, 13 o 21 costillas. Raíz redonda en la etapa juvenil, más tarde ramificada. (Figura 9).

Las espinas dispuestas lateralmente y en el centro, la mayoría de los adultos tienen espinas centrales, irradian espinas laterales, de color blanco hialino, de 4-6 mm de largo, 20-31; una espina central proviene de la parte superior de la aréola rojiza, cuando es joven, presenta color marrón grisáceo a negro grisáceo, 10-20 mm de largo, aproximadamente 0,3 mm de espesor.

Flor de 27-33 mm de ancho, 30 mm de altura, casi en forma de embudo de tépalos, los tépalos internos acomodados en 2-3 círculos, anchamente lanceolados, agudos, blanco con una franja violácea.



Figura 9. *Turbinicarpus saueri* ssp. *septentrionalis* (Foto: Grzegorz F. Matuszewski).

6.4. Distribución de cactáceas en México

En México, la familia Cactaceae se distribuye especialmente en la región que comprenden los estados de Coahuila, San Luís Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, localizados en la porción sureste del Desierto Chihuahuense (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1995 y 1996).

Fuera de las regiones áridas y semiáridas de México, en donde se concentran la mayor parte de los representantes de esta familia, su diversidad disminuye drásticamente. Sin embargo, existen en América algunas otras regiones relativamente ricas en especies de cactáceas, como por ejemplo el suroeste de los Estados Unidos de América, el noreste de Brasil y la porción norte de Argentina junto con algunas regiones de Bolivia y Perú (Hernández y Godínez, 1994).

El desierto Chihuahuense es considerado como la tercera región en importancia biológica del planeta. El equilibrio ecológico en dicha zona quedó bien establecido entre todos los tipos de organismos y microorganismos que la habitan, ya que la zona de referencia posee una temperatura bastante agradable, en promedio 18° C, con extremos de -3 a 40°C. La cantidad de precipitación anual es la típica de una zona semidesértica, de alrededor de 350 mm. Se puede establecer que el área de referencia posee las condiciones adecuadas para el desarrollo de vegetación xerófila. Dado que se considera una región de transición localizada entre zonas boscosas y subtropicales, frecuentemente presenta el fenómeno biológico denominado endemismo (Flores, 2006).

Estudios sobre patrones de distribución de las cactáceas amenazadas en el desierto Chihuahuense, mencionan que el 73% de los géneros y el 78% de las especies de las cactáceas son endémicas de México y señalan el norte de San Luis Potosí y sur de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas como el área de mayor concentración de especies de cactáceas amenazadas del continente americano (Hernández y Godínez, 1994; Hernández y Bárcenas, 1995).

En el Estado de Nuevo León, las ANPs “Sierra Corral de los Bandidos” y “Sierra el Fraile y San Miguel” presentan vegetación de Matorral Xerófilo y Matorral Submontano, con importantes poblaciones de Cactáceas (Carmona, 2008).

6.5. Especies bajo categoría de riesgo

En el caso de las cactáceas, existe gran dificultad para asignar una de las varias categorías que se han utilizado para definir el estado de conservación de una especie, subespecie o variedad determinada (por ej., rara, vulnerable, amenazada, extinta, etc.) (Hernández y Godínez, 1994), ya que existen diferentes consideraciones de acuerdo a los listados de organismos como CITES, IUCN y en México la NOM-059-SEMARNAT-2001. La definición de las categorías debería descansar en análisis genéticos y ecológicos que raramente se llevan a cabo (Robles y Dirzo, 1996).

El apéndice I de la CITES ampara las cactáceas en peligro de extinción, y su comercio se autoriza solamente bajo circunstancias excepcionales. En el apéndice II

se incluyen todas las especies de la familia Cactaceae, excepto las incluidas en el apéndice I, su comercio debe ser controlado para evitar la utilización incompatible con su supervivencia.

Las categorías de riesgo de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN son extinta (EX), extinta en el medio silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazada (NT) y menos preocupantes (LC) (Alanís y Velazco, 2008).

La protección oficial de las cactáceas en México como recurso natural tiene cerca de 66 años (Bárceñas, 2006), periodo en el cual instancias federales, estatales, municipales, organizaciones no gubernamentales, académicos y amantes de las cactáceas, han colaborado para perfeccionar un marco teórico y práctico para conservar y aprovechar estos recursos.

Una gran proporción de las especies que están amenazadas corresponde a organismos de gran interés desde el punto de vista ornamental, de enorme valor comercial. Es indudable que el tráfico ilegal de especies de plantas de la flora mexicana es un factor considerable de riesgo de extinción (Robles y Dirzo, 1996).

La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.

Esta Norma Oficial Mexicana considera cuatro categorías de riesgo en las que se integran las diferentes especies en riesgo de extinción y son las siguientes: probablemente extinta en el medio silvestre (E), en peligro de extinción (P), amenazadas (A), sujetas a protección especial (Pr).

En la NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentran listados 276 taxones (especies y subespecies) pertenecientes a 43 géneros de la familia Cactácea. El

género con mayor cantidad de especies listadas en alguna categoría de riesgo es *Mammillaria* con 109 especies que representa el 39.5% de las especies de cactáceas en riesgo en México.

Probablemente extinta en el medio silvestre (E). Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano. Ejemplos: No hay especies de cactáceas listadas en esta categoría.

En peligro de extinción (P). Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

En esta categoría están listadas 32 especies de 13 géneros distintos siendo el género más numeroso el de *Mammillaria* con 10 especies. Ejemplos: *Aporocactus flagelliformis*, *Astrophytum asterias*, *Echinocactus grusonii*.

Amenazadas (A). 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.

En esta categoría están listadas 87 especies de 28 géneros distintos siendo el género más numeroso el de *Mammillaria* con 25 especies. Ejemplos: *Astrophytum myriostigma*, *Carnegiea gigantea* (especie no endémica), *Aztekium ritterii*.

Sujetas a protección especial (Pr). 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.

De manera general, se estima que de las especies de cactáceas en México, 89 especies se encuentran como amenazadas, 30 en peligro de extinción y 166 bajo protección especial (SEMARNAT, 2010). Para el estado de Nuevo León, Velazco (2009), reporta 41 especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001.

6.6. Propagación de cactáceas

Las plantas suculentas se multiplican por dos vías distintas, la reproducción sexual mediante semillas y la propagación vegetativa mediante yemas, esquejes, vástagos, injertos y hojas. La propagación o multiplicación de las suculentas mediante el empleo de métodos tradicionales representan una alternativa viable para los países carentes de tecnologías y recursos económicos para el aprovechamiento comercial de sus recursos naturales a escala comercial debido a su bajo costo, lo cual se ajusta a las necesidades de nuestro país que no cuenta con grandes laboratorios para la producción comercial de plantas con potencial ornamental (Reyes *et al.*, 2001).

6.6.1. Propagación sexual

La propagación convencional de las cactáceas representa una buena alternativa de cultivo para los países carentes de tecnologías y recursos económicos que permitan el aprovechamiento comercial de sus recursos naturales. Estos métodos de multiplicación de bajo costo se han utilizado tradicionalmente en Europa, Japón y Estados Unidos, donde se inició la comercialización de las cactáceas como plantas de ornato. Dichas técnicas han resultado eficaces a los campesinos de las áreas rurales de México, según lo indicado por Reyes (1997), en su libro “Cactáceas, suculentas mexicanas”.

La germinación es tomada en cuenta como una estrategia para la conservación de especies vegetales, considerando que la mayoría de las semillas inician su germinación con un rompimiento irregular de la cubierta de la semilla alrededor del micrópilo, esto en condiciones naturales (López *et al.*, 2001).

Los aspectos estructurales de las fases tempranas de germinación de la semilla de cactáceas son poco conocidas. No todas las especies de semillas germinan fácilmente, por lo que plantas como las cactáceas han tenido que desarrollar mecanismos de adaptación como es el caso de la latencia, la cual ya se ha conseguido eliminar en algunas especies y en otras se ignora tanto la latencia como los mecanismos de dormancia y letargo que convierten en durmientes a ciertas semillas de cactáceas (López *et al.*, 2001). Por su parte, Beristain *et al.*, (2001) Estudiaron la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lem. (bonete de obispo) en laboratorio, considerando el efecto de la luz, aplicación de reguladores de crecimiento y el sitio de procedencia de las semillas, obteniendo valores cercanos al 100% de germinación después del tercer día en semillas expuestas a 12 horas de iluminación diaria.

Parraguirre *et al.*, (1993), mencionan que la velocidad de germinación es un carácter heredable, propio de una especie e incluso de una variedad. Esta resulta afectada por la edad de las semillas y el ambiente, por ello, los estudios que se efectúen para determinarla se deben realizar en las condiciones típicas, tal y como se propagan las especies consideradas.

6.6.2. Propagación asexual

La técnica de injerto de plantas es antigua y ampliamente usada (Hartmann *et al.*, 2002) que potencialmente puede combinar las ventajas de la rápida multiplicación in vitro con el aumento de la productividad (Gebhardt y Goldbach, 1988). Es comúnmente usada para propagar especies raras ornamentales, así como especies de cactus (Estrada-Luna *et al.*, 2002).

De las partes de la planta a unir, a una se le llama injerto, el cual se inserta en el tallo de la otra planta, denominada patrón o porta-injerto y se convierte en soporte, y le proporciona los elementos necesarios para su crecimiento, de tal manera que se logra una íntima conexión entre ambas partes por medio de la generación de tejidos de conducción, que permite el crecimiento como una sola planta (Anderson *et al.*, 1997; Baldini, 1992).

Se utiliza en plantas que tienen dificultad para vivir directamente en el suelo y para la obtención y reproducción de ejemplares raros o exóticos. Esta técnica permite la aceleración del desarrollo y crecimiento de plantas que han perdido el sistema radicular. Las especies más recomendadas para usar como pie o patrón de injerto en cactáceas son de los géneros *Pereskia* (alfilerillo o *Pereskia*), *Myrtillocactus* (garambullo) e *Hilocereus* (pitahaya), entre otros (Oaxaca, 2010).

En México, las cactáceas son apreciadas como plantas de ornato. Existen pocas empresas productoras de estas, con fines de ornamentales, en contraste con España, China, Japón y Estados Unidos, que propagan cactáceas de forma comercial. Hay cactus que son difíciles de cultivar debido a su lento crecimiento en su hábitat natural o en sustrato, por su escaso sistema radicular, por lo cual es difícil que crezcan a partir de sus propias raíces, por su gran sensibilidad a la humedad; así mismo existen otras de crecimiento muy lento y falta de pigmentos fotosintéticos, que no tienen la capacidad de sobrevivir por sí mismos como es el caso de los *Gymnocalcyium mihanovichii*, *Rebutias*, *Astrophytum* y las *Lobivias* (Arévalo, 2000; Reyes y Arias, 1995).

El injerto en la propagación comercial ha sido restringido debido a su escaso éxito atribuido a las dificultades en el uso de técnicas poco confiables, problemas por la contaminación por hongos o bacterias y estrés causado por la deshidratación de tejidos en la zona de unión del injerto (Maldonado y Zapien, 1977).

Varios autores han definido la secuencia de eventos durante la formación de un injerto compatible: formación de la unión, el desarrollo de la capa necrótica y proliferación del puente de callo en la interfase del injerto previo a la unión del cambium vascular a través del puente, diferenciación del nuevo cambium vascular, formando una conexión continua entre el patrón y el injerto (Moore, 1984; Hartmann *et al.*, 2002; Estrada-Luna *et al.*, 2002). La producción de xilema y floema nuevos permitirá dicha conexión (Aloni, 2010).

Si por el contrario se desea que se vea el pie o que además sobresalga se cortará a la medida que se desee, no importa la altura para el éxito del injerto. En este último caso, el injerto puede ser una planta que tienda a crecer decumbente, como

por ejemplo la *Hildewintera aureispina* o *Cleistocactus samaipatanus*, ambos cristados pero que siempre emiten hijuelos normales (Oaxaca, 2010).

El injerto es de utilidad en los siguientes casos:

1. En los cactus de colores (rojo, rosa, anaranjado o amarillo) que carecen de clorofila (pigmento verde) que son incapaces de sobrevivir por sí mismos. Se recurre a injertar los sobre un pie o porta-injerto que les suministre el alimento. Por ejemplos, *Lobivias* amarillas, *Gymnocalciums* de color rojo.
2. Las plantas crestadas (cactus arrugados), parecidos a cerebros. La explicación de sus extrañas formas no están del todo claras. Es raro que florezcan y den semillas, así que para propagarlos se esquejan o se injertan. Además, su crecimiento es más rápido injertado y no está en contacto con el substrato para evitar que se pudra.
3. Para salvar a una planta cuyo tallo o raíces se estén pudriendo. La solución es cortar el tallo e injertarlo en un pie sano.
4. Una especie de crecimiento lento injertada sobre un patrón vigoroso crecerá más rápido. De esta manera se obtienen esquejes pronto o se acelera la floración y con ello la obtención de semillas. Los productores los podrán vender antes.
5. Los patrones o porta-injertos confieren a algunos tipos de cactus mayor resistencia a la pudrición y al frío.
6. Se realizan también sobre un pie alto y se injerta una especie que tienda a crecer hacia abajo (decorativo).
7. Acelerar la floración.
8. Obtener mayor producción de frutos.
9. Obtener semilla de especies de difícil propagación. (Anderson, 1997; Felker, 2003).

Desde el punto de vista anatómico, la unión entre plantas se inicia dentro del anillo de los haces vasculares donde se encuentra el xilema, que se encarga del transporte de nutrientes y el agua a través de la planta desde las raíces. En el exterior se encuentra el floema, que almacena la energía y el agua, y se encarga de los productos de desecho. El xilema, el cambium y el floema juntos, forman el cuerpo o

sistema vascular, para conseguir un injerto con éxito, el xilema, el cambium y el floema de ambas plantas deben coincidir lo más posible (Hartmann *et al.*, 2002).

En teoría, todos los cactus se pueden injertar en otros, pero las especies que se emplean a menudo como porta injertos en las cactáceas son:

- *Hylocereus* (*Hylocereus undatus*): los más utilizados. La razón es porque crecen rápidamente y toleran suelos húmedos. Su inconveniente es que a los pocos años mueren y con él, el injerto (injerto temporal). No duran más allá de 5 años. Se puede ir re-injertando cada 2-3 años.
- *Echinopsis pachanoi*, *E. brigdesii*, *E. macrogonus*, *E. peruvianus*. Son portainjertos más duraderos, es decir, para tener un injerto largo tiempo sobre ellos.
- *Trichocereus pachanoi*, *T. spachianus*, *T. macrogonus*, *T. fulvianus* *T. pasacana*. Son cactus columnares muy indicados para aquellas especies que tienen que soportar climas fríos y un substrato seco en invierno.
- *Echinopsis multiplex* y otros *Echinopsis*: todos son de fácil cultivo y tienen a su favor que producen gran cantidad de hijuelos que, a su vez, también pueden utilizarse como portainjertos o injerto (Anderson, 1997; Toogood, 2002).

Los sistemas más utilizados en cactáceas son de caras planas, de cuña y lateral. En la mayor parte de los injertos se precisa que la planta injertada y el patrón sean de la misma familia. Los portainjertos más utilizados es la pitahaya (*Hylocereus undatus*), dado que esta planta tiene un crecimiento vigoroso en climas cálidos, pero necesita una temperatura de 15°C en invierno. También se pueden emplear como patrón las especies de los géneros *Pereskia*, *Myrtillocactus*, *Stenocereus* y *Pachycereus* (Toogood, 2002).

El injerto de caras planas es el más utilizado porque es el más sencillo y rápido, suele dar buenos resultados y se realiza desde finales de primavera a mediados del verano. Consiste en cortar a lo largo de un trozo del extremo de una planta vigorosa con un cuchillo, dejándose una base de 2.5 a 5 cm de altura en la maceta. La planta a injertar se corta de un solo tajo para colocarla sobre el patrón. Si el anillo del has vascular del patrón e injerto tienen el mismo diámetro, coinciden al

unir la planta. Este tipo de injerto produce raíces de varias areolas, es utilizado generalmente en tallos globosos como es el caso de *Mammillaria*, *Rebutia*, *Gymnocalycium*, *Echinocactus*, etc. (Harmann *et al.*, 2002).

La mejor época para efectuar injertos es primavera y principios de verano. En pleno verano y hasta principios de otoño también se pueden hacer, pero los resultados no serán muy buenos. El invierno es la estación más desfavorable para la realización de injertos, puesto que se necesita que las especies estén en crecimiento activo para que pueda amarrar el injerto. Si se cuenta con un invernadero o interior para controlar la luz y la temperatura, se amplían las posibilidades de éxito (Cordero, 1999; Arévalo, 2000).

6.7. Requerimientos para el cultivo de cactáceas

6.7.1 Temperatura

Por regla general los cactus toleran altas temperaturas, hasta 45 grados centígrados, o más, si la intensidad de la luz solar, la humedad del suelo y la ventilación son adecuadas (Rivas, 1996).

En relación con la temperatura, las cactáceas pueden soportar temperaturas muy bajas entre los -10°C y más de 40°C , aunque la mayoría lo hace en condiciones menos extremas. Por la gran proporción de agua que almacenan, sus órganos con frecuencia se dañan, rompiéndose sus tejidos si la temperatura cae por corto tiempo entre -10°C y -5°C y entre -5°C y -2°C si el tiempo de abatimiento es mayor (Bravo, 1978).

Hernández y Collazo (2007) realizaron un estudio sobre la respuesta germinativa de semillas de *Astrophytum myrionotum*, germinadas y mantenidas en condiciones de invernadero; bajo condiciones controladas de temperatura y de diferente calidad de luz (blanca, roja, roja-lejana y oscuridad). Las semillas se comportaron como indiferentes a la luz y termófilas. La respuesta germinativa incrementó con el aumento de la temperatura, la mejor fue a 25°C y la menor a 15°C .

6.7.2 Iluminación

Con respecto a la iluminación, se puede decir que las especies que poseen pelos, espinas muy fuertes o densas requieren pleno sol, por lo contrario, las especies con pocas espinas requieren de cierto sombreado, sin embargo hay que tomar en cuenta que en su ambiente natural muchas especies viven entre matorrales, hierbas, arbustos y rocas que tamizan los rayos solares (Rivas, 1996).

Reyes (1997) sugiere que las plántulas recién trasplantadas deben colocarse en un lugar donde la luz sea del 70%, a una temperatura mínima de 15°C y máxima de 45°C.

6.7.3 Ventilación

El aire es la fuente que los cactus y otras plantas requieren para prosperar y crecer. Es en la noche que los cactus, a través del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), toman dióxido de carbono por medio de los estomas presentes en su tallo, almacenándolo para su uso en la fotosíntesis durante el día (Anderson, 1997).

Los cactus requieren de buena ventilación para crear un ambiente de poca humedad relativa (Rivas, 1996).

6.7.4 Suelo

Con respecto al suelo, aunque los cactus están adaptados a vivir en suelos pobres, si se cultivan en suelos nutritivos, muestran un buen crecimiento y buena floración (Rivas, 1996).

Un suelo para cultivo de plantas suculentas (excepto los cactus epífitos) requiere las siguientes condiciones: porosidad y permeabilidad, para que el exceso de agua se pierda con rapidez y para que el aire llegue fácilmente a las raíces; ausencia de sustancias orgánicas en descomposición: ligera acidez (pH=6); elementos

nutritivos en riqueza decreciente por el siguiente orden: potasio, fósforo, nitrógeno (Rivas, 1996).

Sánchez *et al.*, (2010), mencionan que las rocas superficiales proveen condiciones de luz y temperatura adecuadas (30-38°C) durante el verano, asimismo atenúan el estrés hídrico en el desierto costero de Sinaloa, lo cual favorece de manera directa la germinación.

6.7.5 Riego

Entre los cactus existen grandes diferencias entre las necesidades de riego según la especie y dependiendo de su origen (Rivas, 1996).

Se recomienda regar una vez por semana en verano si se cultiva en tierra, en el exterior. En caso de que no se presenten lluvias durante la primavera y el otoño, regar cada 15 días. En invierno nada de riego o alguno muy esporádico en general. Debido al riesgo de pudriciones se debe suspender el riego cuando la temperatura sea menor de 10°C (Morales, 2012).

6.8. Aclimatación

La aclimatación es una etapa fundamental en un sistema de micropropagación porque dependen de ella la eficiencia del proceso y la calidad final de las plantas producidas *in vitro* (Agramonte *et al.*, 1998). Estas plantas en comparación con las cultivadas tradicionalmente presentan un comportamiento diferente en condiciones de invernáculo o de campo. Es decir, sufren cambios morfológicos y fisiológicos que ocasionan una pérdida importante de plantas en el momento del trasplante. Por esta razón, es necesaria la aplicación de técnicas de adaptación al pasar de las condiciones *in vitro* a *ex vitro*. La aclimatación permitirá que la planta alcance un crecimiento autotrófico en ambientes de menor humedad relativa, con más luz y sustratos sépticos (Preece y Sutter, 1991). Estas son las condiciones reinantes en invernadero y campo donde crecerán las plantas provenientes de cultivo *in vitro* (Díaz *et al.*, 2004).

La eficiencia del proceso de adaptación depende, entre otros factores, de la elección del sustrato y de la obtención de una relación adecuada entre los

componentes de la mezcla, que asegure una buena supervivencia en el trasplante. Dicho sustrato deberá permitir la formación de un pan de tierra con una buena estructura. Se trata de materiales sólidos y porosos, de origen natural o sintético, que solos o en mezclas, permiten un crecimiento adecuado de las plantas en condiciones controladas (Abad, 1989; Díaz *et al.*, 2004).

La etapa final de la producción es el “endurecimiento” (otro término empleado para nombrar el proceso de aclimatación), en la que se da rusticidad a la planta, sometiéndola a ligera tensión hídrica y en general a una mayor exposición a las condiciones ambientales directas. Si esta etapa no se lleva a cabo, la morfofisiología de la planta estará amoldada a las condiciones del vivero y no estará preparada para confrontar extremos naturales de factores limitativos en el sitio de plantación (Rodríguez, 2006).

Quiala *et al.*, (2007), mencionan que para la fase de aclimatación se requiere de un adecuado manejo de las condiciones de riego e iluminación. Cuando el riego es excesivo la alta humedad hace que los pequeños cactus sean afectados por microorganismos patógenos, lo cual puede evitarse usando una frecuencia de tres riegos por semana y colocando una pequeña capa de dos a tres centímetros de espesor de zeolita o grava sobre la materia orgánica y en ésta se realiza la siembra, de forma tal que el agua drene y no se mantenga alrededor de la base de la pequeña planta. Los sustratos más utilizados han sido la materia orgánica, la zeolita y el estiércol vacuno.

Reyes (2009) menciona que para llevar a cabo un establecimiento o reforestación en campo es de vital importancia que las plantas se encuentren sanas, sin enfermedades o plagas, además que éstas deben pasar por una fase de aclimatación después de haberlas mantenido en invernadero o sombreadero para que estén expuestas totalmente al sol, sugiere que por lo menos sean tres meses (un año es lo mejor) para garantizar su resistencia. Además aclara que independientemente que se haya tenido un buen cultivo, si no son aclimatadas al sol directo y la sequía, morirán la mayoría en condiciones naturales.

6.9. Reintroducción

La Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (1995), define reintroducción como un intento para establecer una especie en un área que fue en algún momento parte de su distribución histórica, pero de la cual ha sido extirpada o de la cual se extinguió. ("Restablecimiento" es un sinónimo, pero significa que la reintroducción fue exitosa). La principal meta de cualquier reintroducción debería ser establecer una población viable, con distribución natural en estado silvestre, de una especie o subespecie, que se ha extinguido -o ha sido extirpada- global o localmente en estado silvestre. Debería ser reintroducida dentro del área de distribución y hábitat natural primitivo de la especie y no debería requerir más que un mínimo manejo a largo plazo. Los objetivos de una reintroducción pueden incluir: aumentar las probabilidades de supervivencia de una especie a largo plazo; restablecer una especie clave (en el sentido ecológico o cultural) en un ecosistema; mantener y/o restaurar la biodiversidad natural; proveer beneficios económicos a largo plazo a la economía local y/o nacional; promover la toma de conciencia de la conservación; o alguna combinación de ellos.

Una planta de calidad es la que sobrevive y crece bien en el sitio de plantación, gracias a los atributos morfológicos y fisiológicos que posee, los cuales están interrelacionados. Las plantas están adaptadas a su ambiente, de donde se deriva que para cada sitio de plantación existe una calidad de planta ideal, un ideotipo. Si se toma como referencia a las plantas del desierto, muchas de ellas desarrollan un sistema radical extendido, para captar el agua de las escasas lluvias que rápidamente se percola (Rodríguez, 2006).

En zonas áridas, las limitaciones por humedad contribuyen a una distribución de plantas que hace eficiente la captación de agua para cada una de ellas, lo cual se logra al quedar un espacio de crecimiento aproximadamente equitativo entre las mismas. Otro aspecto importante en el área a reforestar es que, aunque parezca uniforme, muchas veces no lo es si se examina cuidadosamente. Contará con microrelieve, presencia de pequeñas rocas, tal vez tocones, pequeños promontorios y algunos arbustos. Estas características implican diferencias en radiación solar, en humedad del sustrato, en disponibilidad de nutrientes, entre otros factores, que

representan ventajas en términos de supervivencia y crecimiento para las especies que ahí se desarrollan (Rodríguez, 2006)

También debe considerarse la exposición solar, puesto que es bien conocido que en el hemisferio norte la insolación a lo largo del año es mayor sobre la exposición sur, particularmente la suroeste, confiriéndole condiciones más secas; en cambio, la exposición norte, en especial la noreste, recibe menor radiación solar a través del año y es más húmeda en consecuencia. Esto es cierto tanto para las laderas de montaña como para los lados de una roca. De ahí que la colocación de pequeñas rocas, de unos 20 cm o más de altura, contribuye a mantener un poco más de humedad hacia su lado noreste y temperaturas un poco menores bajo su sombra que en las áreas expuestas, representando un mejor microambiente para el árbol (o en este caso cactus) que ahí esté plantado (Ramírez y Rodríguez, 2004).

Cuando las plantas se emplean para reintroducción se registran pérdidas significativas, lo que impide el establecimiento de una población viable a mediano plazo. Las causas de los bajos índices de sobrevivencia se atribuyen a varios factores, entre los que destaca la escasa disponibilidad de agua y de nutrimentos (García y Malda, 2009), las altas temperaturas (Bethlenfalvay *et al.*, 1984; Carrillo *et al.*, 1999), la edad de las plántulas (Linares *et al.*, 1995) y los bajos índices de crecimiento en su ambiente natural (Bashan *et al.*, 2000).

Las cactáceas son típicas de los ecosistemas áridos y semiáridos, presentan asociaciones bióticas con otras plantas que se conocen como nodriza, durante las distintas etapas de su desarrollo (Muro *et al.*, 2011).

Muro *et al.*, (2011) mencionan que sin la presencia de nodrizas, las especies protegidas podrían no resistir las condiciones ambientales en espacios desprovistos de vegetación, esto, considerando que en una zona árida, los niveles de radiación solar y evaporación son más elevados en los espacios abiertos, que bajo algún arbusto.

6.10. Uso de zeolita natural en la propagación vegetal.

Hay muchos sustratos para cactáceas y suculentas que se usan y se recomiendan por diferentes autores y personas que cultivan este tipo de plantas. Por lo general, se genera bastante discusión al respecto, sin embargo en algo que si se concuerda es que como principal característica del sustrato es que sea permeable y, que absorba el agua pero sin retener los excesos (Santos *et al.*, 2004). En este sentido, se puede mencionar que las zeolitas naturales proporcionan (entre otras características) la retención de humedad suficiente para el óptimo crecimiento del cultivo; lo anterior ha sido corroborado en trabajos previos que dan pie a la realización del presente estudio (Salas *et al.*, 2009a,b,c).

El uso de clinoptilolita (una variedad de zeolita) como el principal constituyente de un suelo artificial fue desarrollado en Bulgaria a finales de los años 70's. El cultivo de plantas en suelos sintéticos consistentes de zeolitas con o sin peat, vermiculita y semejantes, se ha denominado cultivo zeopónico (Mumpton, 1999).

La superficie de intercambio catiónico de las zeolitas está ocupada por Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , los cuáles con excepción del Na^+ , pueden ser aprovechados por las plantas cuando se emplean zeolitas como sustratos en cultivos hidropónicos (Stamatakis *et al.*, 2001). Sin embargo, la zeolita puede ser tratada con una solución, para intercambiar el Na^+ por K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} confeccionando se esa manera un sustrato a medida de una aplicación particular.

Clinoptilolita adecuada a un medio de cultivo para crisantemos propició un comportamiento de fertilizante de lenta liberación de potasio, produciendo el mismo crecimiento en las plantas como irrigando diariamente con solución Hoagland (Hershey *et al.*, 1980).

A su vez, Izquierdo *et al.*, (2002), evaluaron diferentes sustratos en la climatización de vitroplantas y microbulbillos de ajo; resultando la utilización de la zeolita mezclada con materia orgánica un sustrato óptimo que favoreció la supervivencia de las plantas, lo que al parecer está íntimamente ligado con las propiedades químicas y físicas de este mineral.

En un estudio sobre el uso de zeolita como materia prima para la preparación de sustratos usados en el crecimiento de plantas, se demostró que dicho mineral en combinación con materia orgánica (proporción 7:3) asegura condiciones favorables de crecimiento y nutrición para el desarrollo de tomate y pepino (Manolov *et al.*, 2005). Por lo anterior, postulan el desarrollo de zeolitas como una alternativa atractiva en la industria del desarrollo de sustratos.

Febles y Velásquez (2006), reportaron una serie de fertilizantes organominerales, que combina zeolitas cubanas y diferentes fuentes orgánicas. Los fertilizantes se diseñaron con base en las condiciones, naturaleza de los suelos y cosechas, a fin de disminuir y sustituir el tradicional fertilizante químico usado en la agricultura. La tecnología usada para desarrollar esta serie de fertilizantes no ocasiona algún tipo de residuo.

López *et al.*, (2010), estudiaron las propiedades fisicoquímicas de la zeolita, clinoptilolita, originaria de Tehuacán, Puebla, México, para ser usada como aditivo en el sustrato para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*; se concluyó que los nutrientes de distintas soluciones de fertilizantes quedaron depositados en la estructura de la clinoptilolita tratada.

Las zeolitas empleadas como fertilizantes mantienen un efecto prolongado gracias a la liberación lenta de los componentes usados de la estructura porosa y a la retención de agua dentro de los poros (Bansiwal *et al.*, 2006).

Entre las zeolitas naturales sobresale la clinoptilolita por su abundancia, bajo costo y disponibilidad (Ackley y Yang, 1991).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Áreas de trabajo

El presente trabajo se desarrolló en tres áreas: 1) Laboratorio de Manejo integral de recursos vegetales, en el Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León 2) Invernadero de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León 3) Trabajo de campo en localidades pertenecientes a los municipios de Linares, Nuevo León (dentro del campus de la Facultad de Ciencias Forestales); y Ramos Arizpe, Coahuila (dentro del campus del Cinvestav, Unidad Saltillo.); con poblaciones naturales de las cactáceas a evaluar, dichas localidades se seleccionaron al realizar recorridos previos para la identificación de las especies.

7.1.1. Zona ecológica campus Cinvestav, Ramos Arizpe, Coahuila.

La unidad experimental se encuentra en un terreno perteneciente al CINVESTAV unidad Saltillo, ubicada en el municipio de Ramos Arizpe, en el estado de Coahuila (Figura 10)



Figura 10. Imagen de satélite mostrando la localidad ubicada en Cinvestav unidad Saltillo en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.

7.1.2. Zona ecológica campus Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, Nuevo León.

La unidad experimental se encuentra en un terreno perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en el municipio de Linares, en el estado de Nuevo León, México. (Figura 11)



Figura 11. Imagen de satélite mostrando la localidad ubicada en Facultad de Ciencias Forestales, UANL, en el municipio de Linares, N. L.

7.2. Material biológico

Se utilizaron plántulas de las cactáceas: *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose, *Astrophytum myriostigma* Lem., *Echinocereus reichenbachii* (Terscheck ex Walp.) Haage, *Escobaria dasyacantha* (Engelm) Britton & Rose, *Sclerocactus scheeri* (Salm-Dyck) N.P. Taylor, *Mammillaria prolifera* (Mill.) Haw. Obtenidas en experimentos previos sobre la viabilidad y germinación de las mismas.

Adicionalmente se obtuvo semilla en el jardín botánico de CINVESTAV unidad Saltillo (a cargo de Dr. Alfredo Flores Valdés, No. de registro: MX/VIV-CO-132/COAH), puesto que alberga ejemplares representativos de las zonas ecológicas antes mencionadas.

Para esta actividad, mediante un muestreo aleatorio se colectaron frutos maduros colocándolos en bolsas de papel para su traslado al laboratorio, después

fueron disectados para extraer las semillas y posteriormente lavarlas con agua destilada; enseguida se colocaron en una charola con papel secante. Una vez secas las semillas se almacenaron en frascos de plástico con tapa y se conservaron en refrigeración a 4° C, hasta su uso en las pruebas experimentales.

Las semillas colectadas fueron de las especies: *Acharagma roseana* (Boed.) E. F. Anderson, *Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose, *Astrophytum myriostigma* (Lem.), *Echinocereus reichenbachii* (Terscheck ex Walp.) Haage, *Escobaria dasyacantha* (Engelm) Britton & Rose, *Sclerocactus scheerii* (Salm-Dyck) N. P. Taylor, 1987, *Mammillaria plumosa* (Weber), *Mammillaria prolifera* (Mill.) Haw. y *Turbincarpus saueri* ssp. *septentrionalis* (Matuszewski).

En la Tabla 1 se muestra el estatus de protección de cada una de las especies antes mencionadas de acuerdo a la NOM-059-ECOL-2001.

Tabla 1. Estatus de protección ecológica de las 9 especies en estudio, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana.

Nombre científico	Estatus de protección NOM-059- SEMARNAT-2010
<i>Astrophytum myriostigma</i> Lem.	A, ENDÉMICA
<i>Acharagma roseana</i> ssp. <i>roseana</i> (Boed.) E.F. Anderson	Pr, ENDÉMICA
<i>Astrophytum capricorne</i> (A.Dietr.) Britton & Rose	A, ENDÉMICA
<i>Echinocereus reichenbachii</i> (Terscheck ex Walp.) Haage	NO INCLUIDA AÚN
<i>Escobaria dasyacantha</i> (Engelm) Britton & Rose	NO INCLUIDA AÚN
<i>Mammillaria plumosa</i> F.A.C. Weber	A, ENDÉMICA
<i>Mammillaria prolifera</i> (Mill.) Haw	NO INCLUIDA AÚN
<i>Sclerocactus scheerii</i> (Salm-Dyck) N.P. Taylor	NO INCLUIDA AÚN
<i>Turbincarpus saueri</i> ssp. <i>septentrionalis</i> Matuszewski & J. Snicer	G.F. NO INCLUIDA AÚN

Nomenclatura de acuerdo a Guzmán *et al.*, 2007.

7.3. Criterios de selección de especies

La selección de las especies antes descritas se efectuó con base en los siguientes criterios: 1) Mínimo nodricismo y asociación a sustrato rocoso, 2) Especies amenazadas o en peligro de extinción, 3) Importancia económica, 4) Valor ornamental y ecológico 5) Alta tasa de crecimiento.

7.4. Fases de la investigación

La metodología se realizó en tres fases de acuerdo a su ubicación: laboratorio, invernadero y campo; en cada área de trabajo se desarrollarán diversas evaluaciones, como se muestra en la Figura 12.

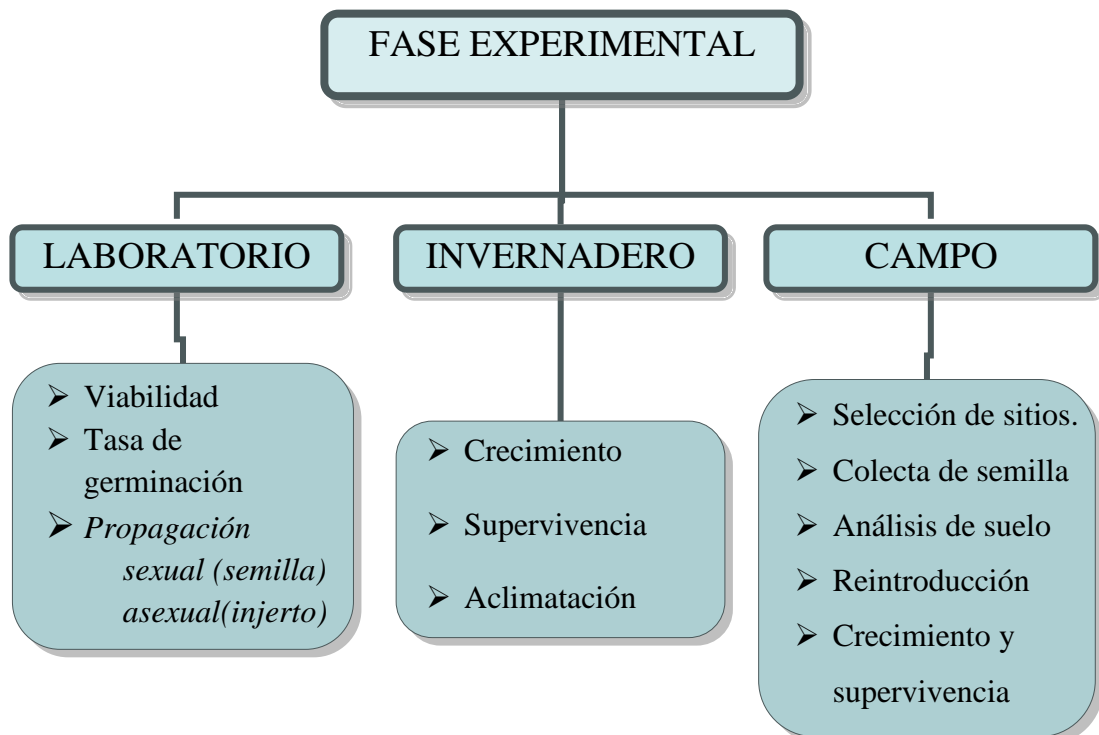


Figura 12. Diagrama de flujo de las fases metodológicas.

7.4.1. Prueba de viabilidad

Mediante la prueba de tetrazolio, las semillas fueron fracturadas para permitir el paso de la solución (0.1% cloruro 2,3,5, trifenil-2H tetrazolio), hacia la región del embrión. Para cada especie se realizaron 3 repeticiones de 15 semillas, en tubos de vidrio con 0.5 ml de solución al 1% de sal de tetrazolio (solución cristalina). Las semillas así tratadas se incubaron durante 5 días a 25 °C en completa oscuridad, registrando posteriormente el número de semillas teñidas de rojo como viables, puesto que la prueba se considera positiva al cambiar la solución de tetrazolio cristalina a un color rojo, debido a la activación de la respiración.

7.4.2. Evaluación de germinación

Fue realizada de acuerdo a lo establecido por la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA, 1985); Las semillas se sembraron (sin aplicar algún tratamiento pregerminativo) sobre papel filtro humedecido en cajas petri estériles y dentro de una cámara bioclimática con 14 horas luz/10 horas oscuridad, luz fluorescente y temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$. Distribuidas en 4 repeticiones de 25 semillas para cada especie. Las cajas fueron revisadas diariamente durante 25 días para cuantificar el número de semillas germinadas, considerando como germinada la semilla que presenta emergencia de radícula.

Las variables de respuesta evaluadas fueron: viabilidad (porcentaje de semillas viables), porcentaje final de germinación, velocidad de germinación (M) e índice de germinación (IG), estos últimos dos se calcularon de acuerdo con González y Orozco (1996) mediante las siguientes ecuaciones:

$$M = \sum (n_i)/t$$

$$IG = \sum (n_i t_i)/N$$

Donde IG = índice de germinación; n_i = número de semillas germinadas en el día i ; t_i = número de días después de la siembra; N = total de semillas sembradas; M = velocidad de germinación; t = tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla. De acuerdo con este índice, entre mayor es el valor calculado, mayor es la velocidad a la que ocurre la germinación de las semillas.

7.4.3. Propagación asexual mediante la técnica de injerto

Consiste en unir dos partes de diferentes plantas para que en su conjunto formen una nueva. Las partes involucradas se denominan: 1. Patrón o porta injerto 2. Injerto. Como plantas patrón se utilizaron las especies: *Pereskia aculeata* y *Myrtillocactus geometrizans*, obtenidas en viveros; y las plantas utilizadas como injertos fueron obtenidas en los experimentos de germinación.

Se realizó un diseño de bloques al azar de nueve especies por cuatro tratamientos. La unidad experimental consistió en macetas con una planta o pie de injerto de la especie *Myrtillocactus geometrizans* de 2 pulgadas, obtenidos de vivero. El número de réplicas por tratamiento fue variable, (3-8 réplicas).

Los pasos para la realización de la técnica de injerto se muestran en la Figura 12 y se detallan a continuación.

- a) Selección de plantas a injertar.
- b) Extracción de plantas de la maceta. Se realiza otro corte con el fin de separar una pequeña rodaja del cactus. Volvemos a unir la rodaja al cactus. Este proceso sirve para que no tengamos desecación en el corte mientras que preparamos el patrón
- c) Se seleccionan los patrones que se van a utilizar y se realiza un corte horizontal en la zona escogida.
- d) Biselado del tallo del patrón de 1,5-2 cm. Este detalle es muy importante para que el tallo no se comprima y despegue el injerto al secar su herida.
- e) Una vez acabado el biselado, se realiza un nuevo corte, esta vez el definitivo, sobre el tallo.
- f) Posteriormente, se toma el injerto, se separan las rodajitas de protección, que han impedido que el corte se seque, y lo situamos sobre el pie de injerto. Se frota suavemente el injerto sobre la superficie del tallo del patrón para evitar que queden burbujas de aire que molesten la adherencia posterior.
- g) La fijación de los cactus se puede realizar con gomas elásticas, pesos, o algún otro tipo de material que permita que las dos partes del injerto estén en

estrecho contacto. Y al cabo de unos 8 o 10 días, ya se pueda quitar la sujeción y nos encontramos con nuestro injerto realizado.

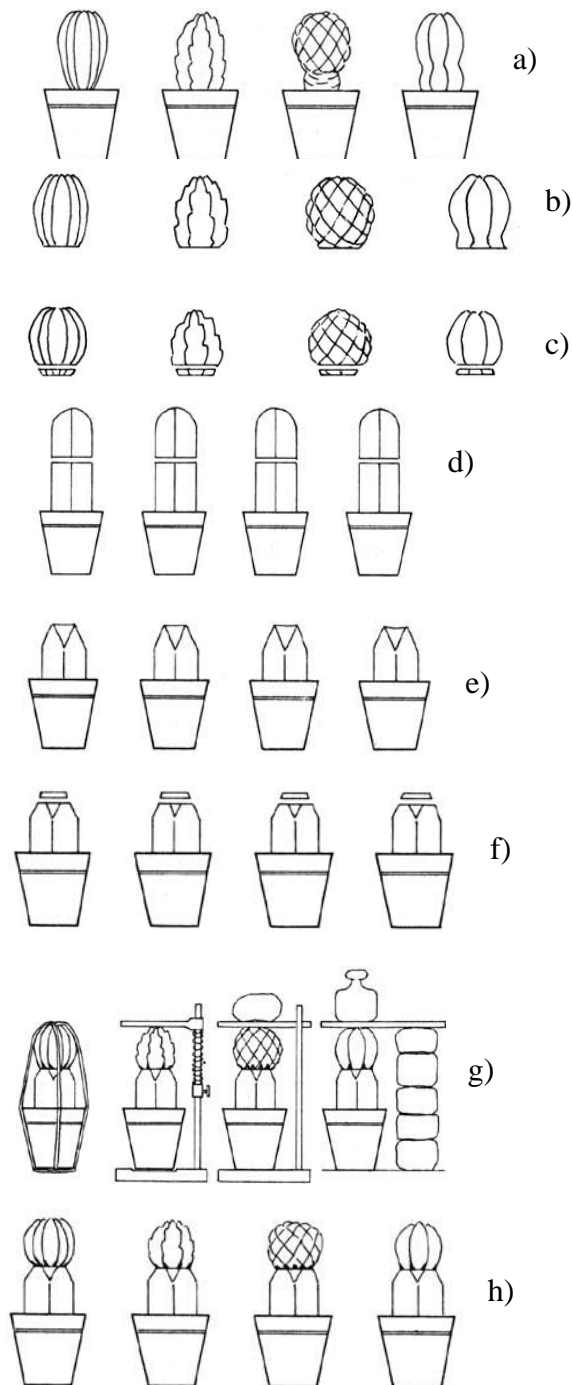


Figura 13. Pasos para la realización de la técnica de injerto (Risco, 2012. Injertos de cactus. Disponible en el sitio de red: http://www.doctor-risco.com/Cactusland/GuiaCultivoCactus/31_injertos_de_cactus.htm).

Una vez realizados los injertos, fueron colocados en cámara bioclimática durante las primeras 2 semanas y posteriormente se trasladaron al invernadero, evitando la exposición solar directa. Se registró semanalmente el diámetro y altura para cada planta, utilizando un vernier digital.

7.4.4. Aclimatación de cactáceas en invernadero

La frecuencia de riego para las plántulas fue acorde a su etapa de desarrollo, manteniendo una humedad cercana al 100% en la fase de germinación y establecimiento; riego semanal para plántulas mayores de 4 meses y al llegar a la talla adecuada para su reintroducción el riego fue reducido gradualmente, para facilitar la aclimatación a condiciones naturales (Figura 15). En los casos necesarios, se aplicó fungicida natural Sedric® al 15% y las plántulas que fueron afectadas por contaminación fúngica o bacteriana (principalmente en la etapa de laboratorio) fueron separadas del resto para evitar la contaminación.

Posteriormente se trasladaron las cactáceas al jardín que se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Biológicas, en unidad A, para exponer a las plantas a la radiación solar directa. Se disminuyó el riego, 2 veces por semana (durante 8 semanas). Antes de llevar a campo, las plantas fueron medidas.

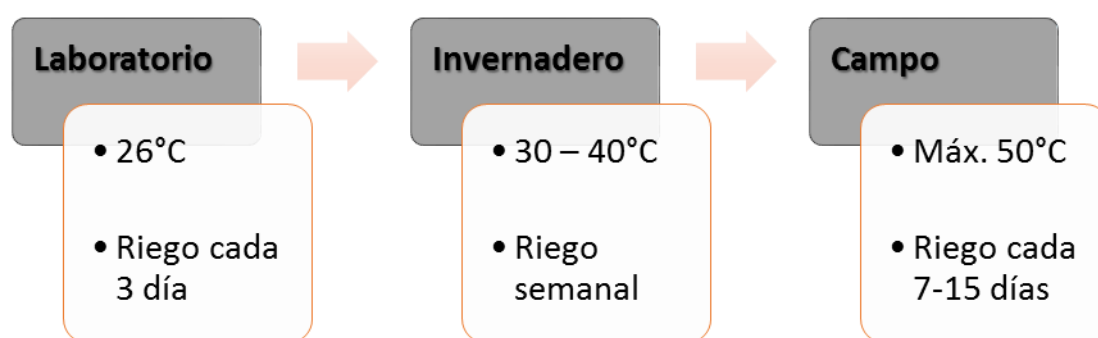


Figura 14. Condiciones de aclimatación para cada fase de la investigación.

7.4.5. Reintroducción

La reintroducción se efectuó mediante un diseño en bloques aleatorio, donde los bloques fueron las especies (6) y tratamientos (8), los tratamientos se describen en la Figura 16. Se registraron fotográficamente las plantas al inicio y durante cada una de las evaluaciones.

Un total de 188 cactáceas para la localidad de Ramos Arizpe, Coahuila y 208 para la localidad en Linares, Nuevo León; estuvieron bajo condiciones de invernadero por aproximadamente dos años. Se establecieron en dos sustratos (zeolita peat moss, perlita peat/moss, en proporción de 1:1).

Se llevaron las plantas al sitio de reintroducción, fueron ubicadas con maceta, en dos exposiciones solares: oriente y poniente, y a partir de aquí, se formaron grupos aleatorios en cuanto a la presencia/ausencia de nodriza, en el caso de la localidad Ramos Arizpe; ya que en Linares todas las plantas se colocaron bajo nodriza., que consistieron principalmente en: *Agave lechuguilla*, *Larrea tridentata* (gobernadora), *Jatropha dioica* (sangre de drago), *Porlieria angustifolia* y *Mimosa zygophylla*.

Una semana después, se registró mortalidad, no se realizó medición. Se retiraron las plantas de las macetas y se procedió a excavar un hoyo donde cada planta fue debidamente colocada y etiquetada con el número de especie, sustrato, si estaba bajo nodriza, exposición solar; el sustrato que estaba contenido en la maceta fue depositado junto a la planta, finalmente se colocó la planta y por último se regó (Apéndice A).

Registro y monitoreo del crecimiento y el comportamiento de las plantas en condiciones naturales. Las plantas reintroducidas se evaluaron quincenal y mensualmente, tomando registro de las siguientes variables: Altura, Diámetro 1, Diámetro 2, y coloración. Adicionalmente, se llevó un registro de mortalidad por especie y daños producidos por depredadores o enfermedades.



Figura 15. Distribución de tratamientos de acuerdo a los factores evaluados para la reintroducción de cactáceas: exposición solar, nodricismo y tipo de sustrato.

7.4.6. Análisis de suelo

Para realizar el análisis químico del suelo en cada área experimental, se tomaron tres muestras de un kilo libre de rocas del lado oriente, con una separación entre una y otra de tres metros, de igual manera en el lado poniente. Fueron embolsadas y etiquetadas para su posterior análisis en el Laboratorio de Análisis de Suelos del CINVESTAV unidad Saltillo.

De igual manera se analizaron los dos tipos de sustratos convencionales utilizados en el estudio, peat moss con perlita y peat moss con zeolita.

Los elementos identificados para cada muestra fueron K, Fe, Mg, Mn, Cu, Zn, Ca, Na y P; expresados en porcentaje.

7.5. Análisis estadístico

La información obtenida será sometida a un paquete estadístico SPSS (vers. 16.0), Para verificar diferencias entre especies, tratamiento y sustratos se aplicarán los siguientes análisis:

- a) Análisis de varianza múltiple, de acuerdo con Zar (2010);
- b) Prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey para detectar los grupos similares.
- c) Análisis de regresión múltiple para verificar si existe relación entre la tasa de crecimiento con los tipos de suelo, tratamientos evaluados y parámetros morfométricos.

8. Resultados

8.1. Evaluación de viabilidad y germinación

Los resultados mostraron que, de acuerdo al análisis de varianza, se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las variables porcentaje, velocidad e índice de germinación (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para porcentaje, velocidad e índice de germinación de nueve especies de cactáceas.

VARIABLES	F	Sig.
Porcentaje de germinación	15.213**	0.000
Velocidad de germinación	53.404**	0.000
Índice de germinación	6.246**	0.000

**Valores altamente significativos ($P < 0.01$).

El porcentaje de germinación mostro los valores más altos con las especies *A. myriostigma* y *M. plumosa* (100%), seguido de *E. dasyacantha* ($99\% \pm 2.24$). Lo anterior evidencia que para estas especies no es necesario aplicar algún tratamiento promotor de la germinación.

Las especies que germinaron con mayor velocidad fueron *A. myriostigma* (13.56 ± 2.07), *A. roseana* (7.26 ± 1.34) y *E. dasyacantha* (4.87 ± 0.37).

En cuanto al Índice de germinación se obtuvieron tres grupos estadísticamente diferentes, ($P \leq 0.05$) el primero integrado por *M. prolifera* y *M. plumosa*, seguido de *S. scherii*, *T. septentrionalis*, *E. dasyacantha*, *E. reichenbachii*, y *A. capricorne*; y el menor índice con *A. myriostigma* (2.09 ± 0.66), como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Medias de las variables porcentaje, velocidad e índice de germinación \pm desviación estándar, para nueve especies de cactáceas.

Especie	Porcentaje	Velocidad	Índice
<i>A. roseana</i>	94.00 \pm 8.22 a	7.26 \pm 1.34 b	3.04 \pm 0.61 bc
<i>A. capricorne</i>	65.00 \pm 13.23 bc	3.84 \pm 1.15 c	3.07 \pm 1.59 bc
<i>A. myriostigma</i>	100.00 \pm 0.00 a	13.56 \pm 2.07 a	2.09 \pm 0.66 c
<i>E. reichenbachii</i>	42.00 \pm 26.83 c	0.87 \pm 0.49 d	3.17 \pm 1.49 bc
<i>E. dasyacantha</i>	99.00 \pm 2.24 a	4.87 \pm 0.37 bc	4.59 \pm 0.34 abc
<i>M. plumosa</i>	100.00 \pm 0.00 a	2.88 \pm 0.56 cd	6.71 \pm 0.95 a
<i>M. prolifera</i>	54.00 \pm 10.84 c	0.96 \pm 0.28 d	7.02 \pm 1.69 a
<i>S. scheeri</i>	86.00 \pm 15.57 ab	2.78 \pm 1.93 cd	5.75 \pm 3.61 ab
<i>T. septentrionalis</i>	90.00 \pm 9.35 ab	3.61 \pm 0.99 c	5.60 \pm 0.82 ab
Total	81.11 \pm 23.74	4.51 \pm 3.88	4.56 \pm 2.24

Medias con letras diferentes en una columna, son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Con la información obtenida se realizaron las curvas de germinación para las nueve especies evaluadas (Figura 16), en donde es posible observar que las semillas de *A. myriostigma* y *M. plumosa* obtuvieron la mejor respuesta germinativa en cuanto a número de semillas germinadas (100), alcanzado al día 12 posterior a la siembra y; por el contrario, *E. reichenbachii* registró el valor más bajo (42 semillas) en el día 14 después de la siembra.

De manera general, se puede apreciar que el máximo porcentaje de germinación se obtuvo al día 11, permaneciendo después de esta fecha relativamente constante; a excepción de *M. prolifera* que obtuvo un ligero aumento (30%) en el día 19 posterior a la siembra.

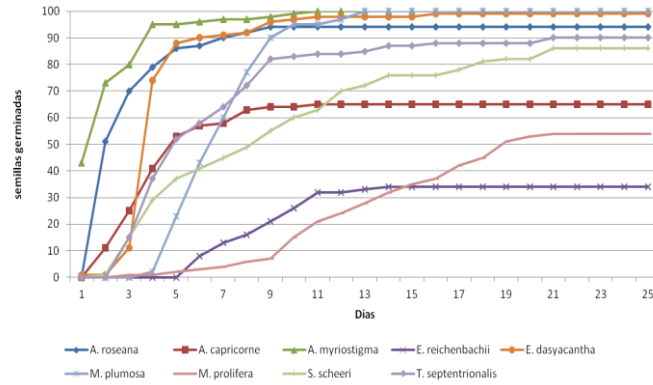


Figura 16. Curvas de germinación para nueve especies de cactáceas durante 25 días de evaluación.

En cuanto a la evaluación de viabilidad mediante la prueba de tetrazolio, los resultados mostraron la formación de tres patrones de tinción en las semillas (semillas viables, de viabilidad limitada y no viables, Figura 17), los cuáles fueron analizados para detectar diferencias entre grupos en función de especies, de esta manera se encontró que los tres grupos presentan diferencias altamente significativas ($P \leq 0.05$), como se muestra en la tabla 4.



Figura 17. Patrón de tinción observado al realizar el test de viabilidad mediante la prueba de tetrazolio, clasificando las semillas en: a) viables, b) viabilidad limitada y c) no viables.

Tabla 4. Análisis de varianza para viabilidad de 9 especies de cactáceas.

	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig.
Viable	16636.667	9	1848.519	14.311**	.000
Viabilidad limitada	8790.833	9	976.759	9.377**	.000
No viable	19403.333	9	2155.926	31.550**	.000

** Valores altamente significativos ($P \leq 0.01$).

En la tabla 5 es posible observar las especies con mayor porcentaje de semillas viables *Escobaria dasyacantha* y *Turbincarpus saueri* ssp. *septentrionalis* (83.33 y 80.00%, respectivamente), formando un grupo estadísticamente diferente al resto de las especies ($P \leq 0.05$). Entre las semillas con viabilidad limitada destacan *Mammillaria plumosa* y *Mammillaria prolifera* (58.33 y 45.00%, respectivamente). Y en el grupo de semillas no viables *Echinocereus reichenbachii* registró el mayor porcentaje con 90%.

Tabla 5. Porcentaje de viabilidad en semillas de nueve especies de cactáceas \pm desviación estándar, de acuerdo al patrón de tinción.

Especie	Viable	Viabilidad limitada	No viable
<i>Acharagma roseana</i>	71.67 \pm 17.56 ^{ab}	11.67 \pm 10.41 ^{cd}	16.67 \pm 07.64 ^{cde}
<i>Astrophytum capricorne</i>	51.67 \pm 05.77 ^{abcd}	21.67 \pm 11.55 ^{bcd}	26.67 \pm 15.27 ^{bcd}
<i>Astrophytum miryostigma</i>	46.67 \pm 07.64 ^{bcd}	06.67 \pm 11.55 ^{cd}	45.00 \pm 08.66 ^b
<i>Echinocereus reichenbachii</i>	06.67 \pm 07.64 ^e	03.33 \pm 05.77 ^d	90.00 \pm 05.00 ^a
<i>Escobaria dasyacantha</i>	83.33 \pm 02.89 ^a	15.00 \pm 5.00 ^{cd}	01.67 \pm 02.89 ^e
<i>Mammillaria plumosa</i>	38.33 \pm 17.56 ^{cd}	58.33 \pm 15.27 ^a	03.33 \pm 02.89 ^{de}
<i>Mammillaria prolifera</i>	38.33 \pm 02.89 ^{cd}	45.00 \pm 08.66 ^{ab}	16.67 \pm 07.64 ^{cde}
<i>Sclerocactus scheeri</i>	53.33 \pm 16.07 ^{abc}	11.67 \pm 07.64 ^{cd}	35.00 \pm 10.00 ^{bc}
<i>Turbincarpus saueri</i>	80.00 \pm 13.23 ^a	11.67 \pm 10.41 ^{cd}	08.33 \pm 02.89 ^{de}
Total	52.22 \pm 10.14	20.56 \pm 09.58	27.04 \pm 06.99

8.2. Propagación asexual por la técnica de injerto

8.2.1. Injerto sobre *Myrtilocactus geometrizers*.

El análisis de varianza entre las cinco especies para la variable dependiente altura, mostró diferencia altamente significativa ($F=6.794$, $P<0.000$). Sin embargo, al comparar el diámetro entre las cinco especies no se encontró diferencia significativa ($F=0.989$, $P>0.421$), como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de varianza para las variables altura y diámetro en función de especies.

	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	Sig.
Especie-Altura	1174.886	4	293.721	6.794**	0.000
Error	2550.693	59	43.232		
Total	3725.578	63			
Especie-diámetro	51.723	4	12.931	0.989*NS	0.421
Error	771.314	59	13.073		
Total	823.037	63			

**Valor altamente significativo ($P<0.01$).

NS = *Valor no significativo ($P>0.05$).

Mientras que para las variables altura y diámetro entre tratamientos ($F=3.885$, $P<0.026$ y $F=3.483$, $P<0.037$ respectivamente), la diferencia fue significativa, indicando que los tratamientos aplicados tuvieron una influencia en el crecimiento de las especies evaluadas (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza para las variables altura y diámetro en función de tratamientos.

	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F	Sig.
Tratamiento-altura	420.562	2	210.281	3.881*	0.026
Error	3305.016	61	54.181		
Total	3725.578	63			
Tratamiento-diámetro	84.361	2	42.18	3.483*	0.037
Error	738.677	61	12.109		
Total	823.037	63			

*Valor significativo ($P < 0.05$).

Al realizar la comparación múltiple de medias por especie, se observó que para la variable altura se obtuvieron tres grupos estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$), el primer grupo integrado por *E. reichenbachii* (25.11 ± 10.08), el segundo por *A. capricorne* (17.88 ± 4.17), y el tercero por *A. myriostigma* (16.01 ± 4.59), *E. dasyacantha* (16.18 ± 1.88) y *M. prolifera* (13.70 ± 6.00). En cuanto al diámetro, no se observaron diferencias ($p \geq 0.05$), formándose solo un grupo (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación múltiple de medias (\pm desviación estándar) para las variables altura y diámetro de cinco especies de cactáceas injertadas sobre *Myrtillocactus geometrizans*.

Especie	Altura	Diámetro
<i>Astrophytum capricorne</i>	17.88 ± 4.17 ab	14.40 ± 0.74 a
<i>Astrophytum myriostigma</i>	16.01 ± 4.59 b	14.64 ± 1.08 a
<i>Echinocereus reichenbachii</i>	25.11 ± 10.08 a	12.66 ± 1.02 a
<i>Mammillaria prolifera</i>	13.70 ± 6.00 b	14.93 ± 1.19 a
<i>Escobaria dasyacantha</i>	16.18 ± 1.88 b	14.67 ± 0.48 a

Medias con letras diferentes en una columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Al realizar la comparación múltiple de medias por tratamientos, se observó que para la variable diámetro se obtuvieron tres grupos estadísticamente diferentes, el primero fue el control (15.02 ± 2.38), el segundo el tratamiento de Magnesio (14.24 ± 0.94), y el tercero el tratamiento de Calcio (12.14 ± 1.19). En cuanto a la variable altura, no se observaron diferencias, formándose solo un grupo; de esta manera el efecto de los tratamientos se reflejó en el diámetro de las plantas y no en la altura (Tabla 9).

Tabla 9. Comparación múltiple de medias de las variables altura y diámetro para tres tratamientos aplicados a cactáceas injertadas sobre *Myrtillocactus geometrizans*.

Tratamiento	Altura	Diámetro
Control	21.02 ± 1.42 a	15.02 ± 2.38 a
Calcio	15.27 ± 1.88 a	12.14 ± 1.19 b
Magnesio	16.19 ± 1.51 a	14.24 ± 0.94 ab

Medias con letras diferentes en una columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

La prueba de bondad de ajuste por Chi-cuadrada fue aplicada para evaluar la variable supervivencia en función de las especies y tratamientos; de esta manera se demostró que la sobrevivencia es independiente de las especies y tratamientos (Tabla 10, Chi cuadrada=3.1592).

Tabla 10. Tabla de Contingencia correspondiente a las frecuencias de plantas injertadas en función de especies y tratamientos.

Especie	T1	T2	T3	Total/Especie
<i>A. capricorne</i>	8(7.03)	2(3.28)	5(4.68)	15
<i>A. myriostigma</i>	4(4.68)	2(2.18)	4(3.125)	10
<i>E. reichenbachii</i>	8(7.96)	4(3.71)	5(5.31)	17
<i>M. prolifera</i>	5(6.56)	4(3.06)	5(4.375)	14
<i>E. dasyacantha</i>	5(3.75)	2(1.75)	1(2.5)	8
Total/tratamiento	30	14	20	64

*Chi cuadrada = 3.1592; Valor Tabulado = 15.5; Grados de Libertad=8.

Los valores entre paréntesis indican los valores teóricos.

T1 = Control, T2 = Tratamiento con Calcio, T3= Tratamiento con Magnesio.

8.2.2. Microinjerto con *Pereskia aculeata*.

Para el segundo ensayo, se dejaron inmóviles los injertos por diez días para facilitar la unión entre los patrones de *Pereskia aculeata* y los injertos de las ocho especies utilizadas, antes de realizar la primera medición; sin embargo, la mayoría de las plantas injertadas murieron en el transcurso de las primeras dos semanas, registrándose únicamente las medidas de una planta de cada una de las especies, a excepción de *A. myriostigma*, *E. dasyacantha* y *A. roseana* (Figura 18; Tabla 11). Para la tercera semana, la totalidad de las plantas injertadas habían muerto.



Figura 18. Injerto de *Mammillaria prolifera* sobre *Pereskia aculeata*.

Tabla 11. Mediciones de cactáceas injertadas sobre *Pereskia aculeata*.

Especie	1ª Medición (Diámetro/Altura)	2ª Medición (Diámetro/Altura)
<i>A. myriostigma</i>	*	*
<i>A. roseana</i>	*	*
<i>E. dasyacantha</i>	*	*
<i>E. reichenbachii</i>	2.65/2.34	2.84/4.07
<i>M. plumosa</i>	2.06/2.32	*
<i>M. prolifera</i>	1.98/7.00	*
<i>S. scheeri</i>	2.26/4.33	*
<i>T. septentrionalis</i>	1.92/3.27	*

*Injertos no exitosos

8.4. Crecimiento de plantas en campo

A continuación se muestran los resultados correspondientes a la evaluación del crecimiento de las plantas reintroducidas en las dos zonas ecológicas de estudio (Localidad Ramos Arizpe, Coahuila y Localidad Linares, N.L.).

8.4.1. Localidad Ramos Arizpe, Coahuila.

Mediante el análisis de varianza se detectó diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) en los parámetros diámetro y altura en función de sustrato; valores significativos ($P < 0.05$) para ambos parámetros en función de nodriza, mientras que para la exposición éstos resultaron no significativos ($P > 0.05$), en cuanto a la variable especie se obtuvo un valor altamente significativo ($P < 0.01$) para la altura y resultando no significativo para diámetro (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza para especie, exposición, nodriza y sustrato.

Variables	Diámetro		Altura	
	F	Sig.	F	Sig.
Especie	2.438	0.052 ^{NS}	5.77	0.000**
Exposición	3.692	0.057 ^{NS}	0.984	0.323 ^{NS}
Nodriza	5.128	0.026*	5.084	0.026*
Sustrato	77.719	0.000**	18.001	0.000**

**Valores altamente significativos ($P < 0.01$); *valor significativo ($P < 0.05$); ^{NS} No significativo ($P > 0.05$).

En la Figura 19 se puede observar el efecto de los tratamientos aplicados por especie, donde destaca el tratamiento que consistió en exposición oriente, con nodriza y sustrato zeolita (T2) en las especies *S. scheeri* y *M. prolifera*. Seguido del tratamiento con exposición poniente, sin nodriza y sustrato zeolita (T8); por lo tanto, el uso de zeolita es el factor común en estos tratamientos donde se obtuvo el mejor resultado. Por el contrario, el menor resultado de altura ocurrió al aplicar los tratamientos con exposición poniente, con nodriza y sustrato perlita (T5); y poniente, sin nodriza y sustrato perlita (T7).

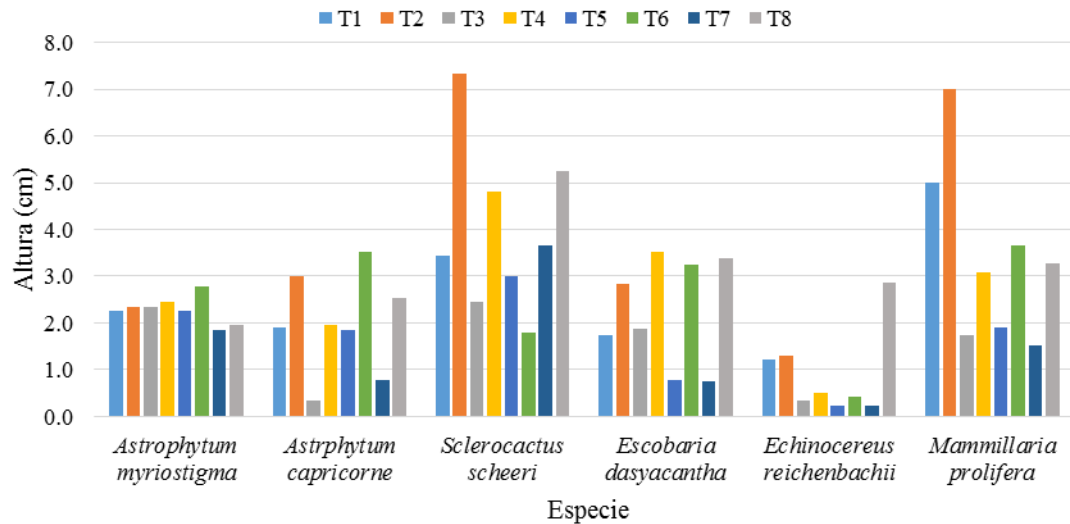


Figura 19. Altura promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición oriente, con nodriza, sustrato perlita/peat moss; T2: oriente-c/nodriza-zeolita; T3: oriente-s/nodriza-perlita; T4: oriente-s/nodriza-zeolita; T5: poniente-c/nodriza-perlita; T6:poniente-c/nodriza-zeolita; T7: poniente-s/nodriza-perlita; T8: poniente-s/nodriza-zeolita.

Para la evaluación de crecimiento en diámetro la especie mas favorecida fue *M. prolifera*, al aplicar los tratamientos exposición poniente, con nodriza y sustrato zeolita (T6); exposición poniente, sin nodriza y sustrato zeolita (T8) y exposición oriente, con nodriza y sustrato zeolita (T2).

El valor mas bajo se registró con el tratamiento de exposición oriente, sin nodriza y sustrato perlita (T3) en *A. capricorne*; así como en el tratamiento de exposición poniente, sin nodriza y sustrato perlita (T7), en las especies *A. capricorne* y *E. reichenbachii* (Figura 20).

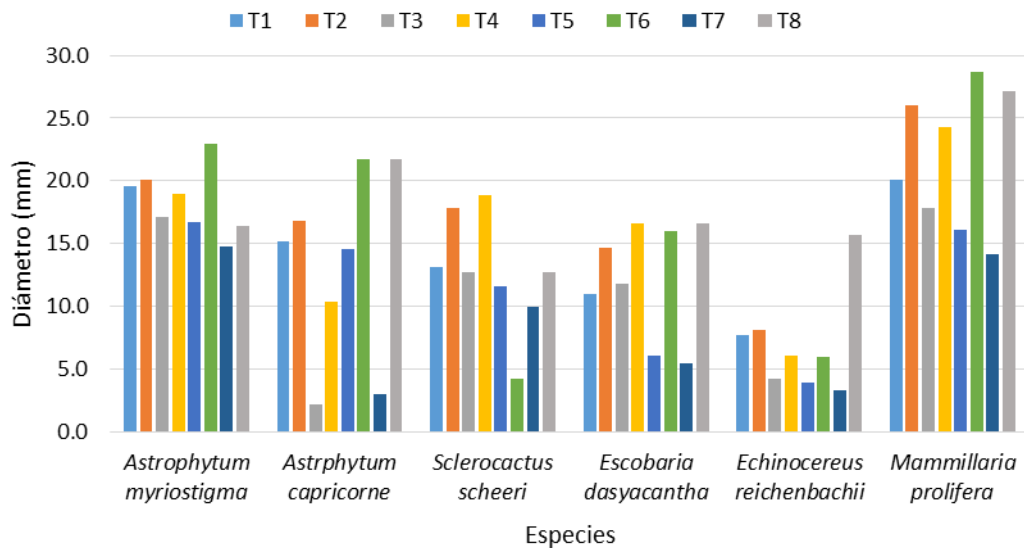


Figura 20. Diámetro promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición oriente, con nodriza, sustrato perlita/peat moss; T2: oriente-c/nodriza-zeolita; T3: oriente-s/nodriza-perlita; T4: oriente-s/nodriza-zeolita; T5: poniente-c/nodriza-perlita; T6:poniente-c/nodriza-zeolita; T7: poniente-s/nodriza-perlita; T8: poniente-s/nodriza-zeolita.

La floración de la especie *M. prolifera* a los 3 meses posteriores a la reintroducción en campo, comprueba el éxito en el establecimiento de las plantas en la localidad de Ramos Arizpe, Coahuila (Figura 21).



Figura 21. Floración de *Mammillaria prolifera* reintroducida en localidad Ramos Arizpe, Coahuila.

8.4.2. Localidad Linares, N. L.

Al analizar el crecimiento expresado en diámetro y altura de las plantas reintroducidas en la localidad de Linares se encontraron diferencias altamente significativa ($P < 0.001$) entre especies, así como en la exposición y la altura. En la interacción del diámetro con las variables exposición y sustrato las diferencias fueron significativas ($P > 0.05$); y la altura no mostró ser influenciada por el sustrato ($P > 0.05$), como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis de varianza para diámetro y altura de cactáceas en función de las variables especie, exposición y sustrato.

Variables	Diámetro		Altura	
	F	P	F	P
Especie	17.666**	0.000	24.956**	0.000
Exposición	5.278*	0.023	15.932**	0.000
Sustrato	3.842*	0.023	2.970 ^{NS}	0.054

**Valores altamente significativos ($P < 0.001$); *valor significativo ($P < 0.05$); ^{NS} No significativo ($P > 0.05$).

La altura promedio obtenida por especie varía según el tratamiento. Fue mayor en la exposición oriente y sustrato zeolita (T5) con la especie *A. myriostigma*, seguida de *S. scheeri* en exposición oriente, sustratos natural (T6) y perlita (T4), misma especie en exposición poniente, sustrato perlita (T1), como en T4 de *A. myriostigma*. La menor altura promedio se presentó con la especie *A. capricorne* en la exposición poniente al aplicarle el sustrato perlita (Figura 22).

En el tratamiento 3 (exposición poniente-sustrato natural) el número de plantas de las especies *A. myriostigma*, *S. scheeri* y *T. saueri* no fue suficiente para realizar la evaluación correspondiente, debido a que las plantas murieron en los primeros días de evaluación.

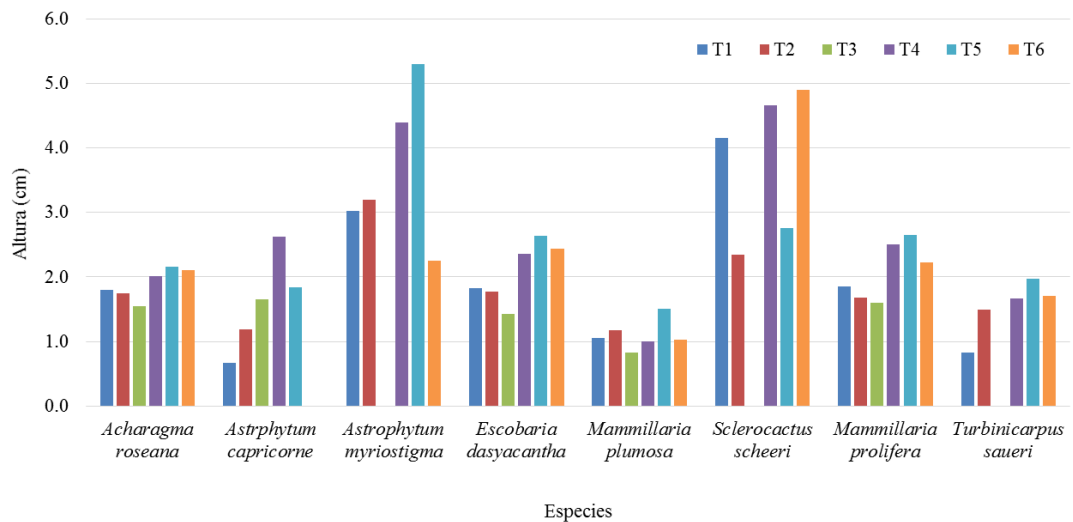


Figura 22. Altura promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición poniente-sustrato perlita, T2: poniente-zeolita, T3: poniente-natural, T4: oriente-perlita, T5: oriente-zeolita, T6: oriente-natural.

El diámetro promedio por especie mostró variaciones de acuerdo al tratamiento aplicado. De manera similar a los resultados de altura, el mayor diámetro se registró en la exposición oriente y sustrato zeolita (T5), así como en exposición oriente y sustrato perlita con la especie *A. myriostigma*; seguida de *S. scheeri* en exposición oriente y sustrato perlita (T4), misma especie en exposición poniente, sustrato perlita (T1).

La menor altura promedio se presentó con la especie *A. capricorne* en la exposición poniente al aplicarle el sustrato perlita (Figura 23).

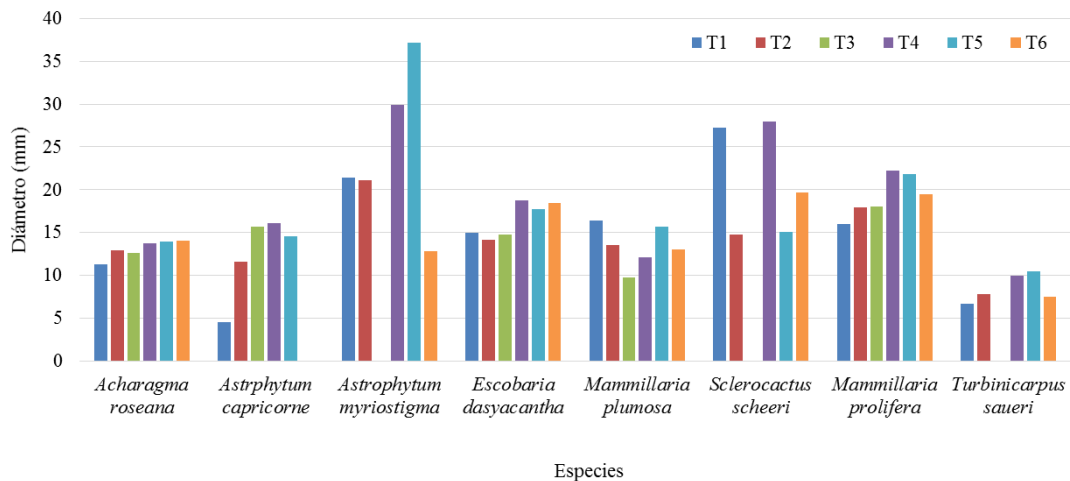


Figura 23. Diámetro promedio de cactáceas por tratamiento. T1: exposición poniente-sustrato perlita, T2: poniente-zeolita, T3: poniente-natural, T4: oriente-perlita, T5: oriente-zeolita, T6: oriente-natural.

8.5. Supervivencia en campo

A continuación se muestran los resultados del número de individuos sobrevivientes en la evaluación de reintroducción, para cada zona ecológica de estudio (Localidad Ramos Arizpe, Coahuila y Localidad Linares, N.L.).

8.5.1. Localidad Ramos Arizpe

La prueba de bondad de ajuste por chi cuadrada demostró que la supervivencia de las seis especies evaluadas es dependiente al tipo de exposición solar ($X^2 = 11.08$, g.l. = 5, $P < 0.05$).

En cuanto a las variables restantes no se encontró una relación significativa (sustrato: $X^2 = 9.2$, g.l. = 5, $P > 0.05$, nodricismo: ($X^2 = 4.624$, g.l. = 5, $P < 0.05$) como indican los resultados de la tabla 14.

Tabla 14. Tabla de contingencia para supervivencia de seis especies de cactáceas en función de las variables exposición solar, sustrato y nodricismo.

		1	2	3	4	5	6	Σ
Exposición solar	Oriente	0.57	0.04	2.65	0.13	0.58	0.66	4.63
	Poniente	0.81	0.06	3.65	0.17	0.84	0.92	6.45
	Σ	1.38	0.10	6.3	0.30	1.42	1.58	$\chi^2=11.08$
Sustrato	Perlita-peat	0.02	2.99	1.37	0.18	0.35	1.01	5.92
	Zeolita-peat	0.01	1.67	0.75	0.10	0.20	0.55	3.28
	Σ	0.03	4.66	2.12	0.28	0.55	1.56	$\chi^2=9.2$
Nodricismo	Con nodriza	1.04	0.08	0.32	0.01	0.54	0.10	2.086
	Sin nodriza	1.24	0.10	0.39	0.01	0.67	0.13	2.538
	Σ	2.28	0.18	0.71	0.01	1.21	0.23	$\chi^2=4.624$

X^2 tabulado: 11.07 (0.05, 5 g.l.)

1) *A. myriostigma*; 2) *A. capricorne*; 3) *S. scheeri*; 4) *E. dasyacantha*; 5) *E. reichenbachii*; 6) *M. prolifera*.

Se obtuvo el porcentaje de supervivencia de las seis especies de cactáceas (Figura 24), registrando *Mammillaria prolifera* el mayor valor, 93.73%, enseguida *Escobaria dasyacantha* con un 70.83%, *Echinocereus reichenbachii* mostró el valor más bajo, con tan solo un 4.1%.

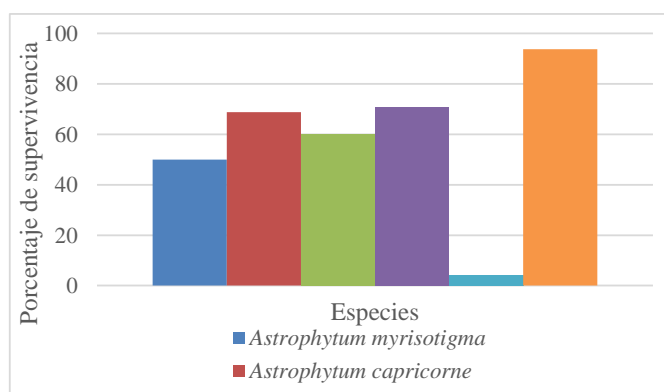


Figura 24. Supervivencia para seis especies de cactáceas, reintroducidas a campo. Se incluyeron todos los tratamientos (nodricismo, exposición solar y tipo de suelo).

Con la información obtenida se realizaron curvas de supervivencia para las seis especies evaluadas (Figura 25), donde es posible observar que la especie *Mammillaria prolifera* muestra el mayor número de plantas vivas al día 85 (30 de 32), de manera general después del día 25 la supervivencia se estabilizó; a excepción de *Astrophytum myriostigma* y *Echinocereus reichenbachii*, donde la mortalidad fue en incremento.

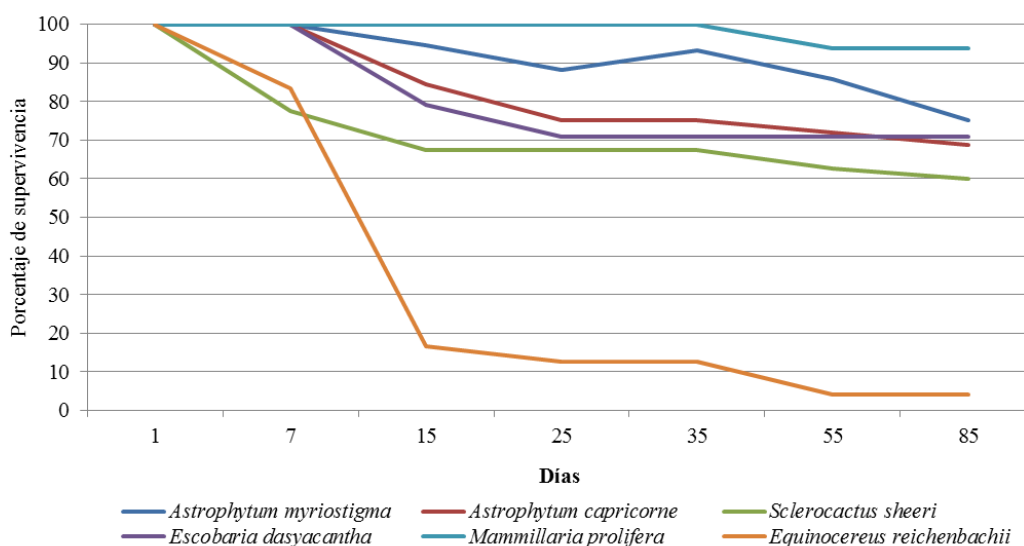


Figura 25. Curvas de supervivencia de seis especies de cactáceas durante 85 días de evaluación. Se incluyeron todos los tratamientos (nodricismo, exposición solar y tipo de suelo).

8.5.2. Localidad Linares

La prueba de bondad de ajuste por chi cuadrada demostró que la supervivencia de las especies evaluadas es independiente al tipo de exposición solar ($X^2=9.38$, g.l. = 7, $P<0.05$).

En cuanto a la variable tipo de sustrato no se encontró una relación significativa (sustrato: $X^2=4.32$, g.l. = 14, $P>0.05$) como indican los resultados de la tabla 15.

Tabla 15. Tabla de contingencia para supervivencia de cactáceas en función de las variables exposición solar y sustrato.

Especies		1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Exposición solar	Oriente	0.00	0.90	0.00	0.06	2.40	0.26	0.00	0.08	3.7
	Poniente	0.06	2.76	0.00	0.00	9.60	0.00	0.06	6.12	18.6
	Σ	0.06	3.66	0.00	0.06	12.0	0.26	0.06	6.20	$\chi^2=9.38$
Sustrato	Perlita-peat	0.10	2.77	0.00	0.00	0.90	0.10	0.10	2.00	5.97
	Zeolita-peat	0.00	1.77	0.00	0.00	1.60	0.10	0.00	1.12	4.59
	Natural	0.00	0.00	0.00	0.10	8.10	0.00	0.00	0.25	8.45
	Σ	0.10	4.54	0.00	0.10	10.6	0.20	0.10	3.37	$\chi^2=4.32$

X^2 tabulado: 14.07_(0.05, 7 g.l.); 6.6_(0.05,14)

1)*Acharagma roseana*; 2)*Astrophytum capricorne*; 3)*Astrophytum myriostigma*; 4)*Escobaria dasyacantha*; 5)*Mammillaria plumosa*; 6)*Echinocereus reichenbachii*; 7)*Mammillaria prolifera*; 8)*Turbinicarpus saueri*.

Se obtuvo el porcentaje de supervivencia de las ocho especies de cactáceas (Figura 26), registrando *Astrophytum myriostigma* el mayor valor, 100%, enseguida *Escobaria dasyacantha* y *Mammillaria prolifera* con un 96.66%, *Mammillaria plumosa* mostró el valor más bajo, con tan solo un 36.66%.

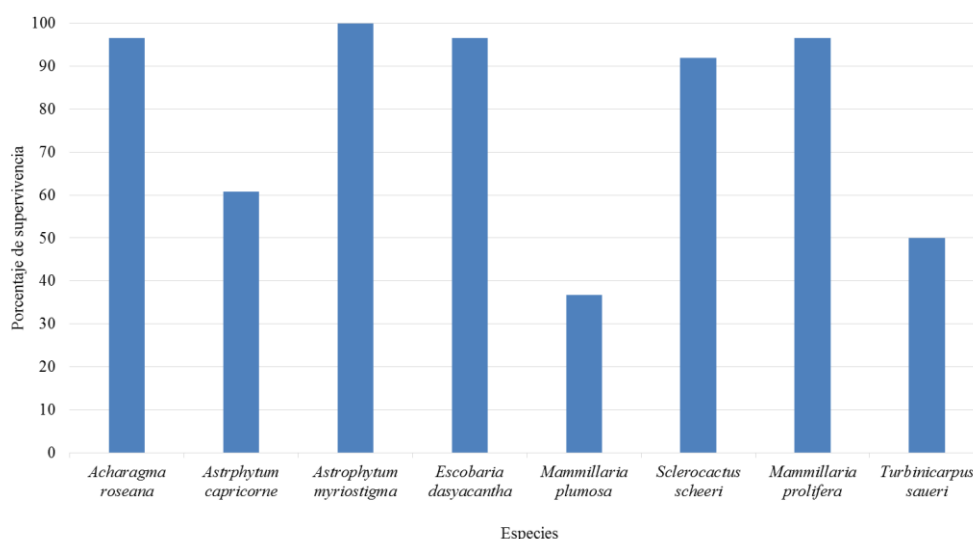


Figura 26. Supervivencia para cactáceas reintroducidas a campo. Se incluyeron todos los tratamientos (exposición solar y tipo de suelo).

Con la información obtenida se realizaron curvas de supervivencia para las ocho especies evaluadas (Figura 24), donde es posible observar que la especie *Astrophytum myriostigma* obtuvo una supervivencia del 100% durante la evaluación, seguida por *M. prolifera*, *E. dasyacantha* y *A. roseana*; de manera general, después de la semana 10 la supervivencia se estabilizó.

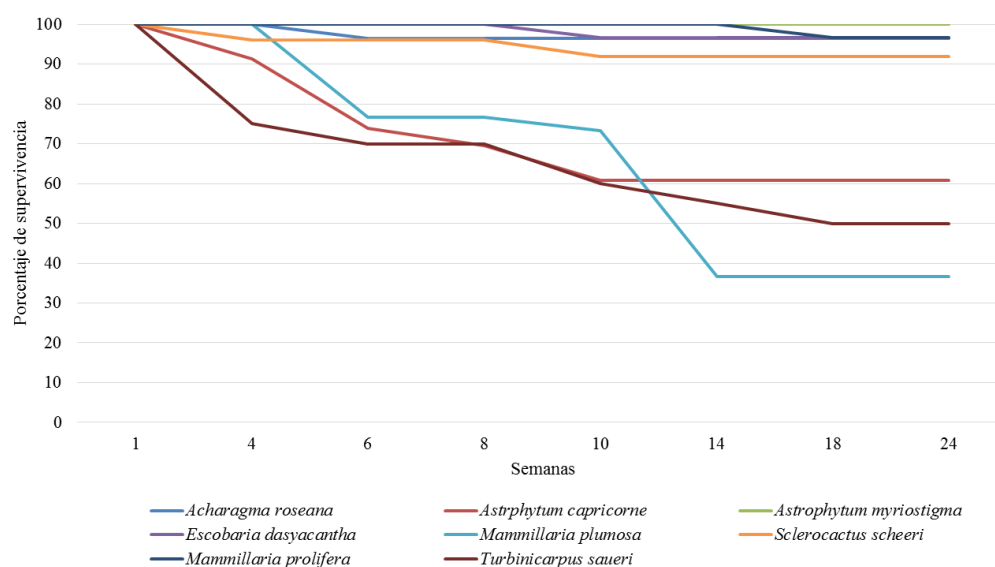


Figura 27. Curvas de supervivencia de cactáceas durante 24 semanas de evaluación. Se incluyeron todos los tratamientos (exposición solar y tipo de suelo).

8.6. Análisis de suelo

De acuerdo al análisis químico realizado en el laboratorio del Cinvestav, se lograron identificar para cada uno de los sustratos los siguientes elementos: Potasio (K), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Calcio (Ca), Sodio (Na) y Fósforo (P), mostrándose sus porcentajes en la tabla 16 y 17.

Tabla 16. Análisis de suelos utilizados en la localidad Ramos Arizpe, Coahuila.

	% K	% Fe	% Mg	% Mn	% Cu	% Zn	% Ca	% Na	% P
Oriente	0.75	0.730	1.05	0.008	0.0010	0.005	24.15	0.548	0.027
Poniente	0.77	0.903	0.960	0.012	0.0008	0.004	22.03	0.839	0.035
Zeolita	2.73	0.924	0.44	0.014	0.001	0.008	1.814	0.994	0.013
Perlita	2.10	0.796	0.730	0.014	0.002	0.004	1.473	1.203	0.029

El suelo del sitio de estudio presenta porcentajes similares en las dos exposiciones muestreadas (oriente y poniente), siendo el calcio el que se encuentra en mayor porcentaje con un 24.15 % en el oriente y 22.03 % en el poniente, mientras que para la mezcla que contiene peat moss y zeolita el potasio se presenta en mayor porcentaje, 2.73%; de igual manera sucede con la mezcla de peat moss y perlita, aunque encontrándose un 2.10% de éste elemento.

Para el análisis de suelo realizado en Linares, Nuevo León se muestran los resultados en la tabla 17. De manera general se puede observar que las cantidades de N y P son similares para las dos exposiciones en donde se colectaron las muestras; Sin embargo, la concentración de K es superior en la exposición oriente, y en el caso de la materia orgánica se obtuvo un valor superior en la exposición poniente.

Tabla 17. Análisis de suelos utilizados en la localidad Linares, Nuevo León.

	% N	P(ppm)	K (Kg/Ha)	Materia orgánica
Oriente	0.31	4.7	661	6.3
Poniente	0.38	4.3	319	7.6

9. Discusiones

9.2. Evaluación de viabilidad y germinación

El porcentaje y velocidad de germinación mostraron los valores más altos con las especies *A. myriostigma*, *S. scheeri* y *E. dasyacantha*. Al respecto, Sánchez *et al.*, (2006), observaron porcentajes de germinación similares en *A. myriostigma* (74.66%) cuando las semillas se colocaron a germinar sin algún tratamiento promotor de la germinación, mientras que en el presente estudio se obtuvieron porcentajes de germinación de 100%, similar a lo reportado por Navarro y Deménegui (2007) para la especie *M. pectinifera* con el 95% de germinación en el testigo; por su parte, Sánchez *et al.*, (2006), reportaron para *A. myriostigma* una velocidad de germinación de 3.8 semillas por día, valor inferior al observado en el presente estudio (13.56 ± 2.07).

Generalmente la velocidad de germinación aumenta en forma directa con la temperatura, respondiendo a fluctuaciones estacionales y cotidianas (Taylor *et al.*, 1999). El valor óptimo en la condición alternante para la germinación en la mayoría de las semillas varía de 20 a 35 °C, y difiere entre poblaciones de una misma especie y entre árboles de un mismo rodal (Patiño *et al.*, 1983). En cuanto a las pruebas realizadas, no hubo cambios representativos a causa de la temperatura, dado que se manejó una temperatura de 26 ± 2 °C en la cámara, considerada por los autores como óptima.

En el caso de las especies *E. reichenbachii* y *M. prolifera*, se obtuvieron los porcentajes de germinación más bajos. Según Trejo y Garza (1993), para algunas especies de cactáceas la viabilidad es limitada en semillas frescas o recién colectadas y aumenta a los dos o tres años, reportando que las semillas de *M. heyderi* de cero años de edad tiene un porcentaje de germinación menor, a diferencia de las de dos y tres años, por lo que es posible que las semillas de *E. reichenbachii* y *M. prolifera* tuvieran embriones inmaduros al momento de la prueba ya que la colecta se realizó 8 meses antes.

9.3. Propagación asexual por técnica de injerto

El injerto es una práctica común en especies de cactus. Se utiliza para contrarrestar el lento desarrollo mostrado por estas plantas (Cullman *et al.*, 1986.) O para propagar raras especies ornamentales o mutaciones deseables (Shimomura y Fujihara, 1976; Hartmann *et al.*, 2002).

Algunos intentos se han hecho para promover la formación de la unión del injerto mediante la aplicación de auxinas. Müller-Stoll (1938,1940) utilizó diversos métodos para aplicar auxina para el injerto de cepas de vid, y mostraron que al remojar los cortes de los extremos tanto del pie como del injerto en un 0,05% de solución de ácido indolacético, fue el más tratamiento eficaz. Un callo fuerte se formó en la unión del injerto.

Estos resultados muestran que la formación de unión del injerto fue promovida por la estimulación de la formación de callo por la auxina. Pero, Kawahara (1954) no obtuvo resultados tan satisfactorios al aplicar la auxina a algunos árboles ornamentales o injertos de plantas herbáceas.

Shimomura y Fujihara (1976) hicieron observaciones histológicas en la formación de la unión del injerto en cactus. Las observaciones mostraron que el proceso de la formación de unión del injerto consiste en dos pasos: 1. La formación de callos por ambas células justo dentro de la superficie de corte tanto del pie como del injerto, seguido por la adhesión celular del callo entre el pie y el injerto, 2. La formación de una conexión del haz vascular en el callo resultó en la conexión vascular entre el pie y el injerto. La conexión vascular se dio entre el 10% y 40% de los injertos cuando los extremos cortados de haces vasculares de pies y vástagos se mantuvieron transversales a 3 mm y 1 mm aparte uno del otro, respectivamente.

Al respecto, Sanchez *et al.*, (2006) observaron porcentajes de germinación similares en *A. myriostigma* (74.66%) cuando las semillas se colocaron a germinar sin algún tratamiento promotor de la germinación, similarmente, Navarro y Deménegui (2007) reportaron para la especie *M. pectinifera* el 95% de germinación

en el testigo; por su parte, Sanchez *et al.*, (2006) reportaron para *A. myriostigma* una velocidad de germinación de 3.8 semillas por día, valor inferior al obtenido en el presente estudio (13.56 ± 2.07).

La falta de éxito en la unión de *Pereskia aculeata* con los injertos de las diferentes especies utilizadas, puede deberse, por un lado, a la morfología de los tallos leñosos que presenta la planta, descrita por Anderson (1997); Mauseth y Landrum (1997), que por su dureza, impidieron la comunicación del patrón con el haz vascular de los injertos. De igual modo, otro factor que pudo haber contribuido, es la temperatura, puesto que *Pereskia aculeata* es ampliamente distribuida en ambientes tropicales, con temperaturas arriba de los 30°C. *Pereskia* conserva numerosas características relictuales: las plantas son árboles con tallos no suculentos que tienen madera dura, fibrosa y que llevan hojas grandes y delgadas (Barthlott y Hunt, 1993; Leuenberger 1976,1986).

9.4. Crecimiento en campo

Las cactáceas establecidas con zeolita alcanzaron mayor diámetro y altura, lo anterior demuestra que el sustrato con zeolita suministra una mayor disponibilidad de nutrientes y facilita la absorción de agua propiciando el crecimiento de las plantas, tal como mencionan Manolov *et al.*, (2005) y López *et al.*, (2010).

Castro *et al.*, (2006) reportaron que el reclutamiento observado en el campo está mediado por la acción benéfica de las plantas nodrizas en los primeros años de desarrollo de los cactus *Melocactus peruvianus* y *Haageocereus pseudomelanostele subsp. aureispinus*; al respecto, Muro *et al.*, (2011) mencionan que la humedad ambiental bajo los arbustos nodriza se almacena en las células de los tallos de cactáceas, permitiendo así la resistencia de largos periodos de sequía. Este comportamiento se confirmó con los resultados obtenidos en el presente estudio para las dos localidades, puesto que los tratamientos con mejor respuesta en crecimiento y supervivencia fueron con nodriza.

Alanís y Velazco (2009) mencionan diferentes formas biológicas que pueden presentar las cactáceas, en algunos casos es globosa (*Astrophytum capricorne*, *Astrophytum myriostigma*, *Mammillaria prolifera*), presentando mayor crecimiento en diámetro; o cilíndrica (*Sclerocactus scheeri*, *Escobaria dasyacantha*, *Echinocereus reichenbachii*) cuyo crecimiento en la altura es mayor, de esta manera, los resultados obtenidos en la evaluación de crecimiento pueden ser relacionados a la forma biológica de cada especie evaluada.

9.5. Supervivencia en campo

Algunas cactáceas requieren la presencia de una nodriza en las primeras etapas de desarrollo, reforzando así la hipótesis, sobre una mayor supervivencia de las cactáceas establecidas bajo una nodriza. Castro *et al.*, (2006) encontraron que las probabilidades de supervivencia se ven fuertemente favorecidas por las condiciones de sombra, al margen del tipo de suelo; Sin embargo, los autores utilizaron plántulas de 4 meses de edad, en esa etapa de desarrollo las raíces aún no permiten la adecuada absorción de nutrientes. Por este motivo en el presente estudio se optó por utilizar plantas de 2 años de edad, puesto que en esta etapa de desarrollo las raíces ya permiten la toma de nutrientes.

Para que una especie pueda persistir dentro de una comunidad es necesario que reclute nuevos individuos, de tal manera que por lo menos cada individuo adulto deje un reemplazo de sí mismo (Ríos, 2009). Para algunas especies de cactáceas el establecimiento solo se da en condiciones de sombra, como lo mencionan Flores *et al.*, (2008) para *Mammillaria Huitzilopochtli*, los autores sugieren que dicha especie sea incluida en programas de conservación debido a la baja tasa de supervivencia 13.75% después de 8 meses.

En los desiertos, las plántulas de cactáceas (aún las especies que presentan altas tasas de germinación) raramente logran establecerse exitosamente debido a las condiciones ambientales impredecibles de altas temperaturas y bajo contenido de humedad en el suelo (Nobel 1984; Franco y Nobel 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra 1991; Mandujano *et al.*, 1998, 2001).

Otro aspecto a considerar es la temporada en la que se realiza la reintroducción, Cervera *et al.*, (2006) encontraron que durante la temporada seca todas las plantas de *Mammillaria gaumeri* murieron, su establecimiento se ve limitado a años con temporadas de precipitación mayores. Las fechas de reintroducción seleccionadas en la presente investigación coinciden con una temporada de lluvias abundantes, lo que seguramente facilitó el establecimiento de las plántulas.

La depredación es otro factor que tiene gran influencia en los resultados obtenidos, y ha sido reportado en diversos estudios, por ejemplo Ríos (2009) menciona que sólo el 11% de las semillas disponibles para dispersión de *N. macrocephala* llegaron al suelo, debido a la depredación por frugívoros.

10. Conclusiones

El porcentaje y velocidad de germinación mostraron los valores más altos con las especies *A. myriostigma* y *M. plumosa*. En cuanto al índice de germinación destacaron las especies *M. prolifera*, *M. plumosa*, *S. scherii*, *T. septentrionalis* y *E. dasyacantha*, en estos experimentos fue posible notar que las semillas presentan de manera general buenos porcentajes e viabilidad y no es necesario aplicar tratamientos pregerminativos.

Al realizar la propagación por injerto con *Myrtillocactus*, las especies que mejor respondieron fueron *E. reichenbachii*, *A. capricorne* y *A. myriostigma* en cuanto a altura; y para la variable diámetro no se encontraron diferencias. El tratamiento control fue el que arrojó mejores resultados en cuanto al diámetro, mientras que los tratamientos aplicados de calcio y magnesio no tuvieron efecto sobre la altura. La supervivencia de plantas injertadas fue independiente de las especies y tratamientos, aun cuando numéricamente los individuos de *E. reichenbachii* tuvieron el mayor porcentaje y el tratamiento control fue el más eficiente en las cinco especies utilizadas.

La técnica de injerto usando *Pereskia aculeata* como pie de injerto no fue efectiva, pudiéndose deber en gran medida a la morfología de la planta, así como a una temperatura no adecuada para el desarrollo de la misma.

Se logró la reintroducción de *A. capricorne*, *A. myriostigma*, en hábitat natural de Ramos Arizpe, Coahuila. La mejor respuesta en crecimiento y supervivencia se observó en *A. myriostigma* cuando las plantas fueron colocadas bajo nodriza, con exposición solar oriente y con sustrato adicionado con zeolita, siendo esta la mejor combinación de factores a considerar para el óptimo establecimiento de las cactáceas.

De manera similar, al realizar la reintroducción en la localidad de Linares, N.L. fue favorable para la mayoría de las especies al adicionar sustrato zeolita, y en la exposición solar oriente, estos factores fueron determinantes en el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las cactáceas evaluadas.

En general, la reintroducción de las cactáceas antes mencionadas fue exitosa en las dos zonas ecológicas de Nuevo León y Coahuila, estos resultados proveen importante información en el establecimiento de programas de restauración y conservación de cactáceas en el noreste de México, que ayuden a aminorar el deterioro de las poblaciones silvestres de la amplia diversidad de especies que integran la familia Cactaceae.

11. Recomendaciones

Habría que realizar pruebas con otros porta injertos para comparar y revisar si alguna otra especie pudiera arrojar mejores resultados, siendo especies como *Cereus*, *Trichocereus*, *Myrtillocactus*, *Opuntia*, *Eriocereus*, *Hylocereus*, *Rhodocactus* recomendadas por algunos autores, a su vez hablando de especies para injerto como *Melocactus*, *Rebutia*, *Astrophytum*, *Echinocactus*, *Gymnocalycium*, *Mammillaria*, *Echinocereus* mencionadas por su importancia ornamental y ecológica.

Dado que en nuestro caso el tiempo de evaluación para los injertos fue de 3 meses, quizás sea recomendable extenderlo, para tratar de encontrar cambios más notorios causados por el tipo de sustrato, y así ver si en verdad existe alguna diferencia.

En cuanto a los diferentes sustratos, se podría analizar una gran gama de opciones y mezclas, entre las que pudieran destacarse combinaciones con peat-moss, tierra negra o turba, arena de río o arena gruesa, y zeolita en proporciones diversas.

Las evaluaciones en campo pueden ser susceptibles al ataque por depredadores, por lo que se sugiere tomar en cuenta el colocar alguna barrera durante los primeros meses posteriores a la reintroducción, para de esta manera evitar la pérdida de plantas en etapas tempranas de desarrollo.

De igual manera se recomienda dar seguimiento a las plantas establecidas, para llevar registro de datos fenológicos, crecimiento y aspectos ecológicos, puesto que las zonas de estudio, especialmente la localidad de Ramos Arizpe, Coahuila, presenta un gran número de interacciones ecológicas y características ambientales que favorecen el desarrollo de especies endémicas.

12. LITERATURA CITADA

Abad, M. 1989. Los sustratos en horticultura ornamental. Revista Agrícola Vergel 3: 146 – 152.

Ackley, M. y R. Yang. 1991. Adsorption characteristics of high-exchange clinoptilolites. Ind. Eng. Chem. Res. 30: 2523-2530.

Agramonte, P. D., Jiménez T. F., Dita R. M. A. 1998. Aclimatización. En: Pérez Ponce J.N. (Ed.). Propagación y mejora genética de las plantas. Sta. Clara, Villa Clara. Cuba, pp. 193-206.

Alanís, G. F. 2001. Saqueo y tráfico de cactáceas, un detrimento patrimonial de recursos nacionales. En: Alanís FGJ, Ledezma MA (eds). Memoria 3er Taller Regional de Cactáceas del Noreste de México. pp 35.

Alanís, G. y D. González. 2003. Flora nativa ornamental para el área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. R. Ayuntamiento de Monterrey 2000-2003, México. Pp. 115.

Alanís, G. y C. Velazco. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. Ciencia UANL 9: 5-11.

Alanís, G. y C. Velazco. 2009. Cactáceas de Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. Págs. 37,38

Alemán, G., L. González, R. Darías. 1993. Cultivo *in vitro* de *Melocactus matanzanus* León. Libro de resúmenes. 3er Coloquio Internacional de Biotecnología de Las Plantas. Instituto de Biotecnología de Las Plantas. Santa Clara, Villa Clara. Cuba. 20-22 de Junio. P.59.

Aloni, R. 2010. The induction of vascular tissue by auxin. In: *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action* PJ Davies (ed), Revised 3rd ed, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. pp 485-506.

Anderson, J. E., S. D. Smith, R. K. Monson. 1997. *Physiological ecology of north american desert plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.

Anderson, M. 1997. Graftings succulents. *Cactus and Succulent Journal (U.S)*. 69(1):17-25.

Arévalo, G. M. 2000. Análisis entre la relación patrón-injerto entre cactáceas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Abad M. 1989. Los sustratos en horticultura ornamental. *Revista agrícola Vergel*. 3:146-152.

Bansiwal, A., S. Rayalu, N. Labhasetwar, A. Juwarkar, y S. Devotta. 2006. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *J. Agric. Food Chem*. 54: 4773-4779.

Bashan, Y., D. Anne, A. Carrillo y R. Linderman. 2000. Assesment of VA mycorrhizal inoculums potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. *Applied Soil Ecology* 14: 165-175.

Baldini, E. 1992. *Arboricultura general*. Traducción al español de J. de la Iglesia G. Madrid, España. pp 48-72.

Bárceñas, R. T. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. En: CONABIO (Ed.) *Biodiversitas*. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México. 68: 11-15.

Barthlott, W. y D. R. Hunt. 1993. Cactaceae. En: K. Kubitzki (ed.). *The families and genera of vascular plants*. Springer-Verlag, Alemania. Pp. 161-197.

Becerra, R. 2000. Las cactáceas, plantas amenazadas por su belleza. CONABIO. Biodiversitas 32: 1-5.

Beristain, M. S., Arredondo G.A. y Camacho M. F. 2001. Germinación del bonete de obispo (*Astrophytum myriostigma* Lemaire). En: III Congreso Mexicano y II Latinoamericano y del Caribe sobre Cactáceas y Otras Plantas Suculentas, UAT, Cd. Victoria, Tamps. Septiembre 23-27.

Bethlenfalvay, G., S. Dakessian, R. Pacovsky. 1984. Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implications. Canadian Journal of Botany, 62: 519-524.

Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 743 pp.

Bravo, H. y H. Sánchez. 1991. Las cactáceas de México. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Pp. 142,143.

Campbell, N. y J. Reece. 2007. Biología 7ma Edición Editorial Médica Panamericana, Madrid, España. 2007. 196, 197

Carmona, L. M. P. 2008. Estudio botánico cactológico de las áreas naturales protegidas “Sierra el Fraile y San Miguel” y “Sierra Corral de los Bandidos” en Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis Doctoral. 215 pp.

Carmona, L. M. P., Foroughbakhch R., Flores V. A., Alvarado M. A. y Guzmán L. M. A. 2008. Flora cactológica y especies asociadas en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos, Nuevo León, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 79: 307- 323.

Carrillo, A., J. León de la Luz, Y. Bashan, G., Bethlenfalvay. 1999. Nurse plants, micorrizae and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. Restoration Ecology 7: 321-335.

Castro C.V., Eyzaguirre P.R. y Ceroni S.A. 2006. Supervivencia de plántulas de *Melocactus peruvianus* Vaupel y *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *aureispinus* (Rauh y Backeberg) Ostolaza, en condiciones experimentales. Cerro Umarcata, Valle del Río Chillón, Lima. *Ecología Aplicada* 5(1 y 2): 61-66.

Cervera, J. C., Andrade J. L., Sima J. L., y E. A. Grahamy. 2006. Microhabitats, germination, and establishment for *Mammillaria gaumeri* (Cactaceae), a rare species from Yucatan. *Int. J. Plant Sci.* 167(2):311–319.

Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). 2011. Apéndices I, II y III. Disponible en el sitio de red: <http://www.cites.org/esp/app/S-Apr27.pdf>

Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Cuarto Informe Nacional. 76 pp.

Cordero, H. F. 1999. Injertos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) sobre otras cactáceas y su relación con el contenido de azúcares. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. 111 pp.

Cullman, W., E. Göetz y G. Gröener. 1986. *The Encyclopedia of Cacti*. Timber, Portland, OR. 339 pp.

Dávila, C. 2005. *In vitro* propagation of Eighth species or subspecies of *Turbiniacarpus* (Cactaceae). *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant.* 1-6.

Díaz, L. P., Medina L. F., Latife J., Digonzelli P. A. y S. B. Sosa. 2004. Aclimatación de plantas micropropagadas de caña de azúcar utilizando el humus de lombriz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Argentina.* 33 (2): 115-128.

Estrada-Luna A. A., C. López-Peralta y E. Cárdenas-Soriano. 2002. *In vitro* micrografting and the histology of graft union formation of selected species of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.). *Sci. Hortic.* 14: 317-327.

Falk, D. 1990. Intergrated Estrategies for Conserving Plant Genertic Diversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden.* 77 (1): 38-47.

Febles, J. y M. Velásquez. 2006. Agricultural results obtained in the use of the Cuban zeolites in some Latin American countries. R. S. Bowman and S. E. Delap. (eds.). *Zeolite '06 7th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites. Book of Abstracts.* Socorro, NM, USA. P. 108.

Felker, P. 2003. Cactus grafting methods. Marlin Huffman Plantation Botanical INC Nelda Florida J. PACD, pp 106-114.

Flores, V. A. 2006. Guía de cactáceas del estado de Coahuila. Instituto Coahuilense de ecología. 197 pp.

Franco, A.C. y P.S. Nobel. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology* 77:870-886.

García, O. y G. Malda. 2009. Conservación *in situ* y *ex situ* de *Mammillaria mathildae*, cactácea endémica en peligro de extinción de la ciudad de Querétaro. *En Ciencia.* 2: 3-16.

Gebhardt, K. y H. Goldbach. 1988. Establishment, graft union characteristics and growth of *Prunus* micrografts. *Physiol. Plant.* 72: 153-159.

Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. *The cactus primer.* Harvard University, Boston, 180 p.

González, B. M. A. 2004. Cactáceas del estado de Nuevo León: riqueza, patrones de distribución y conservación. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. México.

González, Z. L. y A. Orozco. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: Manfreda Brachystachya. Bol. Soc. Bot. México 58: 15-30.

Guzmán, U., Arias S. y P. Dávila. 2007. Catálogo de autoridades taxonómicas de las cactáceas (Cactaceae: Magnoliopsida) de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO, proyectos Q045 y AS021. México.

Hartmann, H. T., D. E. Kester, F. T. Daviesm y R. L. Geneve. 2002. Plant propagation. principles and practices, 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, p. 757. ISBN 0-13-206103-1.

Hernández, A. y M. Collazo. 2007. Respuesta germinativa a la luz y temperatura de plantas de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cactaceae) mantenidas en invernadero. En: Cactáceas y suculentas mexicanas. 52:4 Pp. 109-121.

Hernández, H. y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana. 26:33-52.

Hernández, H. y R. Bárcenas. 1995. Endangered Cacti in the Chihuahuan Desert: I Distribution Patterns. Conservancy Biology. 9 (5): 1176-1188.

Hernández, H. y R. Bárcenas. 1996. Endangered Cacti in the Chihuahuan Desert: II. Byography and Conservation. Conservancy Biology. 10 (4): 1200-1209.

Hershey, D. R., Paul J. L. y R. M. Carson. 1980. Evaluation of K-enriched clinoptilolite as potassium source for potting media. HortScience 15, 87-89.

ISTA (International Rules for Seed Testing) 1985. Seed Science and Technology 13(2): 300-520.

IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 1995. *Guía para reintroducciones*. IUCN\SSC Re-introduction Specialist Group. IUCN, Gland (Switzerland).

IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007. Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <http://www.iucnredlist.org/>

Izquierdo, H., Quiñones Y., Disotuar R. y D. Pedroso. 2002. Evaluación de diferentes sustratos en la aclimatización de vitroplantas y microbulbillos de ajo (*Allium sativum* L.) Cultivos Tropicales, Vol. 23, No. 3, p. 63-69.

Kawahara, H. 1954. Studies on the tissue differentiation in the callus of herbal plant grafts (in Japanese English summary). Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki University.2: 1-8.

Leuenberger, B. E. 1976. Die Pollen morphologie der Cactaceae. Dissertationes Botanicae 31:1-321.

Leuenberger, B. E. 1986. Pereskia (Cactaceae). Mem New York Bot Gard 41:1-141.

Linares, E., P. Dávila, F. Chiang, R. Bye, T. Elias. 1995. “Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques”, UNAM. 175 pp.

López, G., L. Rocha, I. Cantú, A. Martínez. 2001. Evaluación de tratamientos pregerminativos para la biznaga verde *Echinocereus platyacanthus* Link et Otto. En: Alanís F.G.J., Ledesma M.A. (eds). Memoria 3er Taller Regional de Cactáceas del Noreste de México, Agosto 23-25.

López, F. J., N. R. Guio, G. Fischer y D. Miranda. 2008. Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 61(1), 4347-4357.

López, M., M. Hernández, C. Barahona, M. Martínez, R. Portillo y F. Rojas. 2010. Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra latinoamericana*, 28: 247-254.

Luna, C. M. y J. R. Aguirre. 2001. Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia*, 26: 18-24.

Mandujano, M.C., C. Montaña, I. Méndez, y J. Golubov. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology* 86:911-921.

Mandujano, M.C., C. Montaña, M. Franco, J. Golubov, y A. Flores-Martínez. 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82:344-359.

Maldonado, L. J. y M. B. Zapien. 1977. El Nopal en México. Ed. Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas "La Sauceda", Coahuila, México.

Manolov, I., Antonov D., Stoilov G., Tsareva I. y M. Baev1. 2005. Jordanian zeolitic tuff as a raw material for the preparation of substrates used for plant growth. *Journal of Central European Agriculture* Vol. 6 No. 4: 485-494.

Mauseth, J. y J. V. Landrum. 1997. Relictual Vegetative Anatomical Characters in Cactaceae: the Genus *Pereskia*. *Journal of Plant Research by The Botanical Society of Japan*. Department of Botany, University of Texas, Austin, TX 78713, USA. *J. Plant Res.* 110:55-64.

Martínez, J. 1998. Características biológicas de cactáceas del noreste de México en relación al grado de riesgo de extinción. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L., México.

Montalvo, G., E. Quiala, J. Matos, R. Mederos, R., M. de Feria y M. Chávez. 2004. Propagación *in vitro* de *Pilosocereus* sp. *Biotecnología vegetal* 4: 43-48.

Moore R. 1984. A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. *Am. J. Bot.* 71(5): 751-758.

Morales, J. 2012. Riego y abonado de cactus y suculentas [publicación en línea]. Disponible en internet: http://articulos.infojardin.com/suculentas/riego_y_abonado.htm (Fecha de acceso: 30 de octubre, 2012).

Müller-Stoll, W. R. 1938. Versuchefiber die Verwendbarkeit der j9-Indolylessigsäure alsverwachsung drderundes Mittel in der Rebenveredlung. *Angew. Bot.* 20:218-238.

Müller-Stoll, W. R. 1940. Weitere Versuchefiber die Verseudbarkeit von Wuchstoffen in der Rebenveredlung. *Gartenbauwiss.* 14:151-168.

Mumpton, F. A. 1999. La roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Colloquium Paper. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 96, pp. 3463–3470.

Muro, G., Sánchez J., Jurado E., J. Flores. 2011. Importancia de las plantas nodrizas en la sobrevivencia de cactáceas. En: *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*. Vol. 8: 11-14.

Navarro, M. C. y A. P. Deméneghi. 2007. Germinación de semillas y efecto de las hormonas en el crecimiento de *Mammillaria pectinifera*. *Zonas Áridas*, 11:1.

Norma Oficial Mexicana: NOM-059-ECOL-2001 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* 23 de Abril del 2003. México, D. F.

Nobel, P.S. 1984. Extreme temperatures and thermal tolerances for seedling of desert succulents. *Oecologia* 62:310-317.

Oaxaca, J. 2010. *Manual para la Reproducción de Cactáceas*. p 18.

Parraguirre, C., Chavelas J., y Camacho M. 1993. Germinación de semillas de especies de vegetación primaria y secundaria. *Ciencia Forestal* 18: (73) pp. 3-19.

Patiño, V. F., Y. P. de la Garza, A. Villagomez, A. Talavera y M. Camacho, 1983. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo no. 63. México, D. F. 180 p.

Pérez, E. y C. Dávila. 2002 *In vitro* propagation of *Pelecypora aselliformis* Ehrenberg and *Strobiliformis* Werdermann (Cactaceae). *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 38: 73-78.

Preece, J. E. y E. G. Sutter. 1991. Acclimatization of micropropagated plants to greenhouse and field. In: Debergh PC, Zimmerman RH. (Eds.). *Micropropagation: technology and Application*. Kluwer Academic. Dordrecht, pp. 71-93.

Quijala, E., G. Montalvo, J. Matos y R. Mederos. 2007. La biotecnología vegetal: Su aplicación para el manejo integrado de cactáceas cubanas amenazadas. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*, 4: 11-15.

Quispe, N., G. Villegas, J. Uzquiano, B. Mamani, N. Villegas, V. Padilla, J. Quezada y E. García. 2010. Evaluación del estado poblacional y comportamiento germinativo *in situ* e *in vitro* de tres especies del género *Echinopsis* (Cactaceae) de la Provincia Murillo, La Paz-Bolivia. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas* 7: 8-10.

Ramírez, C. A. y T. D. A. Rodríguez. 2004. Efecto de calidad de planta, exposición y microsítio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 10 (1): 5-11.

Reyes, S., J. y S. Arias M. 1995. Cactáceas en México. Conservación y producción. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 3:85-92.

Reyes, S. J. 1997. Cactáceas, suculentas mexicanas. CVS publicaciones, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. pp 27-31, 69-104.

Reyes, S. J., A. Gutiérrez de la R. y B. J. Sevilla. 2001. Producción de Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Cuadernos de comunicación sindical. Núm. 63, 23 pp.

Reyes, S. J. 2009. Manual Práctico. Conservación y Restauración de Cactáceas y Otras Plantas Suculentas Mexicanas. Comisión Nacional Forestal. Pp. 48-52, 58.

Risco, 2012. Injertos de cactus. Disponible en el sitio de red: http://www.doctor-risco.com/Cactusland/GuiaCultivoCactus/31_injertos_de_cactus.html. [revisado el 7 de Diciembre de 2012].

Rivas, M. R. 1996. Cactáceas y Suculentas del Jardín Botánico Lankester (en línea). San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. Pp. 14-15.

Robles, G. P. y R. Dirzo. 1996. Diversidad de Flora Mexicana, México: Agrupación Sierra Madre, S.C.; CEMEX, S.A. de C.V. pp.191.

Rodríguez, D. 2006. Notas sobre el diseño de plantaciones de restauración. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 12: 111-123.

Rodríguez, I.A., A. Casas, R. Lira y J. Campos. 2006. Uso, manejo y procesos de domesticación de *Pachycereus hollianus* (F.A.C. Weber) Buxb. (Cactaceae), en el valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. INCI, 31: 677-685.

Rodríguez, J., E. Castellanos, F. Pedroso, C. González y A. Gramatges. 1993. Cultivo de tejidos en la reproducción de una especie endémica (*Melocactus actinacanthus*). Libro de resúmenes. 3er Coloquio Internacional de Biotecnología de las Plantas. Instituto de Biotecnología de Las Plantas. Santa Clara, Villa Clara. Cuba. 20-22 de Junio. p. 63.

Rodríguez, L. E. 1995. Cultivo *in vitro* de *Melocactus holguinensis* Areces. Libro de Resúmenes. Avances en Biotecnología Moderna, Habana, 3: 11-34.

Salas, C. L., Cárdenas A. M. L., Díaz J. M. L. V., Alvarado V. M., Carmona L. M. P. y Foroughbackch P. R. 2009a. La zeolita natural como sustrato en la germinación *in vitro* de seis cactáceas. En: Memorias del XII Congreso Nacional y V Internacional de Horticultura Ornamental. Octubre 18-24.

Salas, C. L., Carmona L. M. P., Díaz J. M. L. V., Foroughbackch P. R., Alvarado V. M. y Cárdenas A. M. L. 2009b. Propagación de cactáceas presentes en Áreas Naturales Protegidas en García, Nuevo León. En: Memorias del VII Congreso Nacional sobre áreas naturales protegidas de México. Julio 14-16.

Salas, C. L., Díaz J. M. L. V., Cárdenas A. M. L. y Foroughbackch P. R. 2009c. Viabilidad y germinación de semillas de cactáceas presentes en áreas naturales protegidas de Nuevo León y Coahuila, México. En: Memorias del VI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. Agosto 19-21. ISBN: 978-607-95228-0-3.

Salas, C. L. R. 2010. Propagación de cactáceas procedentes de áreas naturales protegidas de Nuevo León y Coahuila, utilizando zeolitas naturales como sustrato. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis de maestría. Inédita.

Sánchez, B., A. Reyes, E. García, y T. Terrazas. 2010. Germinación de tres cactáceas que habitan la región costera del noreste de México. Revista de ciencia y tecnología de América, 35: 299-305.

Sánchez, R., E. Pérez. 2007. Propagación *in vitro* de *Browningia candelaris* (Cactaceae) usando metatopolina. Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas 4: 17-20.

Sánchez S. J., J. Flores y G. E. Martínez. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especies amenazada de extinción. *Interciencia* 31 (5): 371-375.

Santos, A. H., Velazco C. M, y G. F. Alanís. 2004. Propagación de cactáceas y suculentas. En: Foroughbakhch R, Torres C. T. y V. M. Alvarado. 2004. Tópicos selectos de Botánica, 1ª Jornada de Actividades Botánicas Dra. María Ana Garza Barrientos. Universidad Autónoma de Nuevo León. México pp. 119-160.

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. México. 4p.

Seeman, P., C. Rodríguez, y G. Jara. 2007. Cultivo *in vitro* de cactáceas con fines de conservación *ex situ*. *Agro sur* 35: 24-26.

Shimomura, T. y K. Fujihara. 1976. Histological observations of graft union formation in cactus. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 44 (4):402-408.

Stamatakis M.G., Koukouzas N., Vassilatos Ch., Kamenou E., y Samantouros K. 2001. The zeolites from Evros Region, Northern Greece: A potential use as cultivation substrate in hydroponics. *Acta Horticulturae* 548: 93-103.

Taylor, J. P., D. B. Wester y L. M. Smith. 1999. Soil disturbance, flood management, and riparian woody plant establishment in the Rio Grande floodplain. *Wetlands* 19: 372-382.

Toogood, A. 2002. Propagating Plant a Darling Kinderley Book. Royal Horticulture Society. Barcelona, España.

Trejo, L. y M. Garza. 1993. Efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de semillas de *Mammillaria heyderi* Muchl. en 4 sustratos, *BIOTAM* 5:3: pp.19-24.

Turner, F. T. 1975. Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University, Beaumont, TX (personal communication).

Urbina, S. E., Baca C. G., Núñez E. R., Colinas L. M., Tijerina C. L. y Tirado T. J. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con k^+ , ca^{2+} o mg^{2+} y diferente granulometría. *Agrociencia*. 40: 419-429.

Valiente-Banuet, A. y E. Ezcurra. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* 79:961-971.

Velazco, M. C. G. 2009. Flora del estado de Nuevo León, México: Diversidad y análisis espacio- temporal. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Tesis Doctoral. 299 pp.

Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 4th Ed. Prentice Hall, Englewood, New Jersey, 662 pp.

13. APÉNDICES

APÉNDICE A.- Reintroducción de cactáceas en localidad Ramos Arizpe, Coahuila.



Registro de datos, 18 de enero 2013.



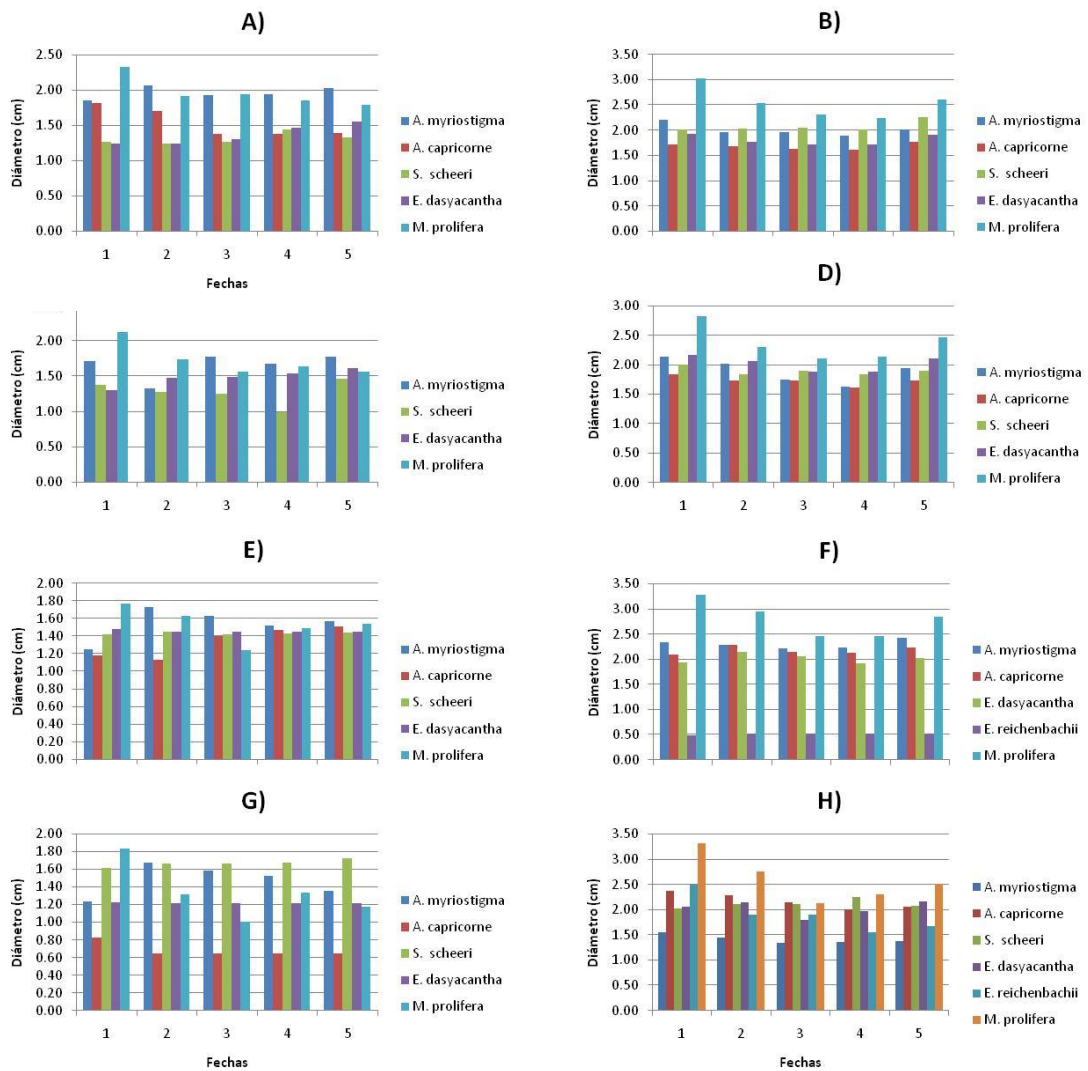
Excretas de liebre en área de estudio.
(Evidencia de daños por depredación)



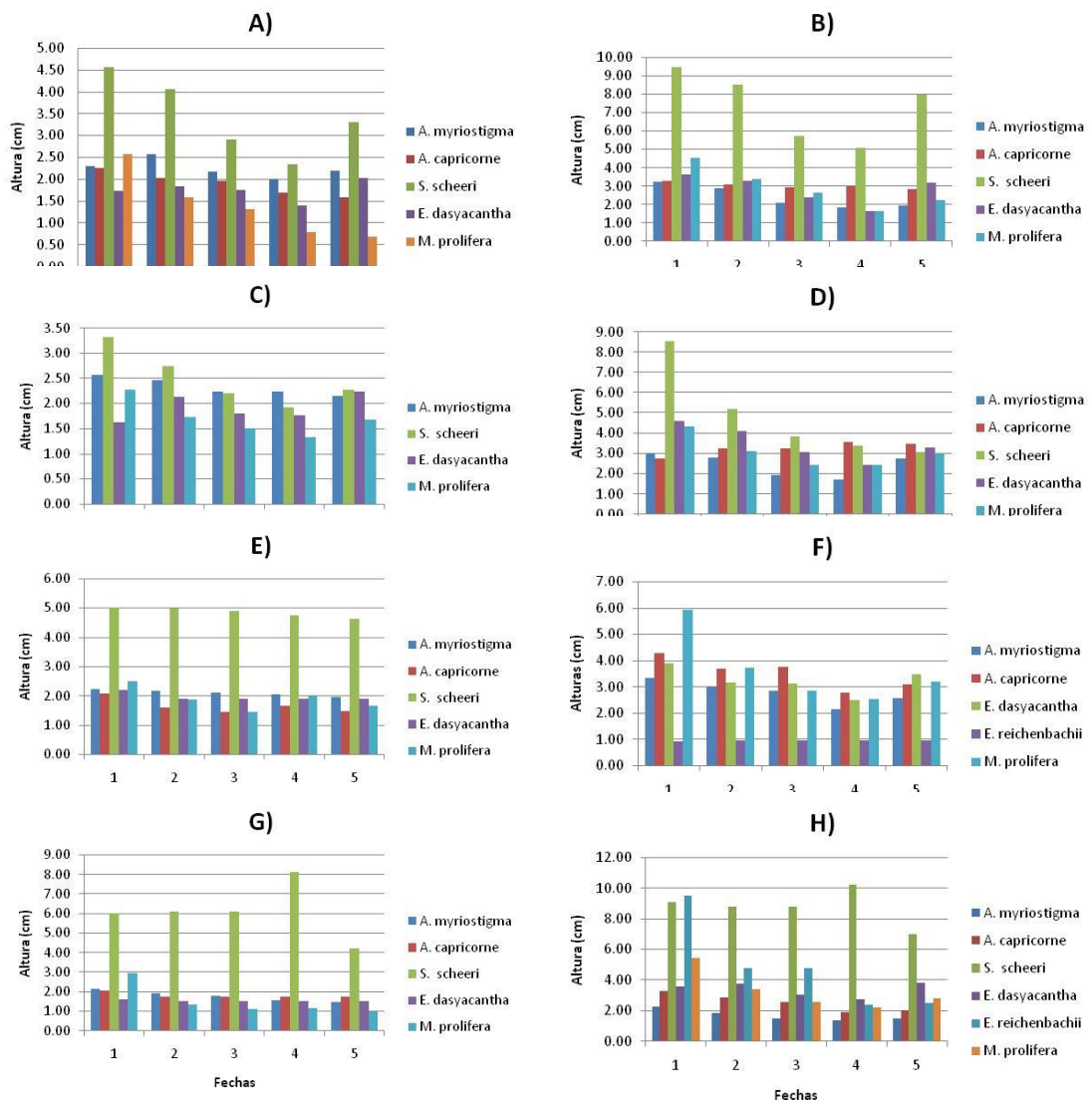
Escobaria dasyacantha



Sclerocactus scheeri



Diámetro promedio (cm) de 6 especies de cactáceas reintroducidas a su hábitat bajo diferentes tratamientos. A) Oriente, con nodriza, perlita/peat moss B) Oriente, con nodriza, zeolita/peat moss C) Oriente, sin nodriza, perlita/peat moss D) Oriente, sin nodriza, zeolita/peat moss E) Poniente, con nodriza, perlita/peat moss F) Poniente, con nodriza, zeolita/peat moss G) Poniente, sin nodriza, perlita/peat moss H) Poniente, sin nodriza, zeolita/peat moss.



Altura promedio (cm) de 6 especies de cactaceas reintroducidas a su habitat bajo diferentes tratamientos. A) Oriente, con nodriza, perlita/peat moss B) Oriente, con nodriza, zeolita/peat moss C) Oriente, sin nodriza, perlita/peat moss D) Oriente, sin nodriza, zeolita/peat moss E) Poniente, con nodriza, perlita/peat moss F) Poniente, con nodriza, zeolita/peat moss G) Poniente, sin nodriza, perlita/peat moss H) Poniente, sin nodriza, zeolita/peat moss.

APÉNDICE B.- Reintroducción de cactáceas en localidad Linares, N. L.

Revisión de plantas en localidad Linares en Octubre de 2013.



Astrophytum myriostigma



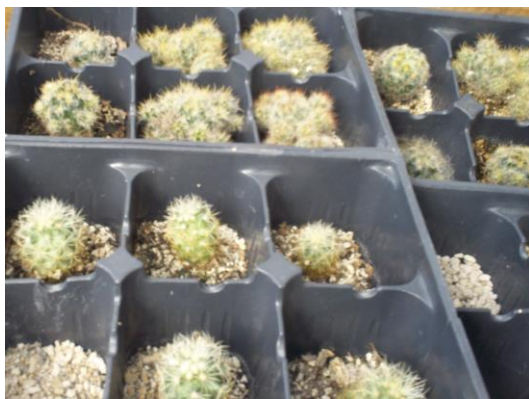
Turbinicarpus saueri



Mammillaria plumosa



Sclerocactus scherii



Mammillaria prolifera (arriba) y
Escobaria dasyacantha (abajo)



Astrophytum capricorne

RESUMEN CURRICULAR

Lidia Rosaura Salas Cruz

Candidato para el Grado de

Doctora en Ciencias con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos
Vegetales

Tesis: APLICACIÓN DE ZEOLITAS EN LA PROPAGACIÓN, ACLIMATACIÓN
Y REINTRODUCCIÓN DE CACTÁCEAS EN DOS ZONAS
ECOLÓGICAS DEL NORESTE DE MÉXICO

Campo de Estudio: Recursos Vegetales

Datos Personales: Nacida en Monterrey, Nuevo León, el 6 de Julio de 1983, hija de
Francisco Rubén Salas Hernández y Rosaura Cruz García.

Educación: Egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido
Biólogo en 2006 y Maestría en Ciencias con acentuación en Manejo y
Administración de Recursos Vegetales en 2010.

Experiencia Profesional:

Asistente de investigación en el Departamento de Fisiología vegetal de la Facultad de
Ciencias Biológicas, UANL, desde 2003 a 2006.

Guía de museo en el Museo de la Fauna y Ciencias Naturales A.B.P., de 2006 a
2008.

Asistente de investigación en el proyecto doctoral “Flora cactológica y especies
asociadas en el área natural Protegida “Sierra corral de los bandidos” y
“Sierra el Fraile y San Miguel” en Nuevo León, México en 2006.