



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

**UNIDAD IZTAPALAPA**

**“ESTRUCTURA POBLACIONAL Y BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE  
*Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha (Cactaceae)”**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de**

**MAESTRA EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA**

**MARIA LORAINÉ MATIAS PALAFOX**

**Directora: M. En C. Cecilia Leonor Jiménez Sierra**

**Asesores: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla**

**Dra. Ma. del Carmen Mandujano Sánchez**

**29 de enero de 2007**

---

**“La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACYT con la categoría de Alto Nivel”**

Este trabajo se desarrollo en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa con apoyo de los proyectos: “Biología y productividad de cactáceas de importancia económica de la región central de México” y “Ecología y aprovechamiento de los recursos vegetales en comunidades semiáridas del centro de México” de la M. en C. Cecilia L. Jiménez Sierra, así como en el Laboratorio de Dinámica de poblaciones y evolución de historias de vida, del Instituto de Ecología de la Universidad Autónoma de México, con apoyo del proyecto “Evaluación poblacional, estudio del hábitat, la comunidad y el grado de perturbación y riesgo de las especies de Cactaceae del Apéndice I de CITES (CONACYT-SEMARNAT, 0350-AL) de la Dra. Ma. del Carmen Mandujano Sánchez.

El Jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**MARIA LORAIN MATIAS PALAFOX**

29 de enero de 2007

***Jurado***

**Presidente:** M. en C. Cecilia Leonor Jiménez Sierra \_\_\_\_\_

**Secretario:** Dr. Pedro Luís Valverde Padilla \_\_\_\_\_

**Vocal:** Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez \_\_\_\_\_

**Vocal:** Dr. Jordan Golubov \_\_\_\_\_

**Vocal:** Dr. Joel David Flores Rivas \_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

A Dios...Gracias por dejarme ser una hija tuya....Gracias por darme unos padres y hermanos tan maravillosos como los que tengo...Gracias por nunca abandonarme y por siempre escuchar todas y cada una de mis plegarias....Gracias por darme Fe y por hacerme ver que las cosas si se pueden lograr...Infinitamente GRACIAS.

A María Palafox Monzalvo...A ti Mamita por darme la vida y enseñarme a vivirla...por todas las cosas que me has enseñado y por todo lo que me has dado....porque este es el fruto de todos tus sacrificios y de todas las noches que pasas en vela orando por mi...Gracias

A Carlos Matias Santiago...A ti Papi porque a pesar de no estar conmigo se que te preocupas por mi hermano y por mi...por haberme guiado en este camino y ser un ejemplo a seguir en nobleza y humildad...

A Carlos Omar Matias Palafox...A ti hermanito por todo el amor que hay entre nosotros... porque siempre has estado a mi lado y porque has sido ejemplo en mi vida...por todos esos momentos que mas que amargos han sido gloriosos para nosotros...que esté trabajo tal ves insignificante te sirva de aliento para visualizar que los sueños si existen...

A mis hermanos...Max, Tere, Pedro, Jorge y Miguel...por todo el cariño que hay entre nosotros a pesar de que el destino no nos permitió estar juntos...

A mi familia putativa...a los Torres-Orozco Jiménez en especial a mi maestra Ceci...por todo el cariño y enseñanzas que he recibido de ustedes...que Dios los bendiga...

A Christian Alva Basurto... A ti Chris...porque eres realmente especial en mi vida...por compartir estos dos últimos años de tu vida conmigo...por todos los momentos lindos y maravillosos que hemos vivido...por luchar siempre contra las adversidades que nos han invadido y por todo los sueños que añoramos...TE AMO!!

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mi proyecto de tesis de Maestría.

A la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, por la beca otorgada para la culminación de este trabajo.

A la M. en C. Cecilia L. Jiménez Sierra, por dirigir este trabajo y por todo el apoyo brindado antes y durante la realización del mismo, por su enseñanza en campo, por creer en mí y por ser mí guía en el camino de la ecología de cactáceas.

A la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez, por su disponibilidad para aceptar la asesoría de este trabajo, por las aportaciones hechas al mismo y por el financiamiento otorgado a través del proyecto 0350-AI CONACyT-SEMARNAT para las salidas a campo.

Al Dr. Pedro Luis Valverde Padilla, por la disponibilidad para asesorar esta tesis y por cada una de sus observaciones, comentarios y correcciones muy acertadas.

Al Dr. Joel David Flores Rivas, por la gran disponibilidad para la revisión de este trabajo y por cada uno de sus comentarios acertados.

Al Dr. Jordan Golubov, por su disponibilidad de ser participe en las correcciones hechas a esta tesis.

A la M. en C. Mariana Rojas-Aréchiga, por la paciencia y disponibilidad al enseñarme e introducirme al mágico mundo de la germinación de cactáceas.

Al Dr. Manuel Castillo Rivera, por el apoyo constante como coordinador de la Maestría en Biología de la UAM-I.

A la Maestría en Biología de la UAM-I, por cada uno de los financiamientos otorgados para la contribución de mi formación como Maestra en Biología.

A Christian Alva-Basurto, Maricela Mojica Avíles, Fermín Díaz Guillen, Jorge Ávila Adáme, Juan Juárez Flores y Everardo Jiménez Salinas, compañeros y amigos de generación, en especial a Chris y a Mary. Gracias por compartir en estos dos años de carrera sinuosa, todas y cada una de sus experiencias académicas.

A Samantha Mendoza, César Rocha, Ana Martínez, Diana Reyes, Evelyn Rosas, Reyes Pérez, Andrea Ortíz, Monserrat Jiménez y Geovana Alva, quienes en ocasiones distintas colaboraron conmigo en el trabajo de campo.

A todos mis compañeros del laboratorio de Dinámica de Poblaciones y Evolución de Historias de Vida, en especial a Gis, Isra, Erick, Lucy, Cony y Karla, quienes me apoyaron hasta el ultimo momento de este trabajo.

A Everardo Jiménez quien colaboró amablemente con la traducción del resumen al inglés.

Al personal de la “Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán”, por el apoyo y la disponibilidad brindada durante todos estos años de trabajo, en especial al Ing. Salvador Montes por el interés en esta investigación y a Guillermo Sánchez, Erasto Badillo, Carlos Ángeles y Roberto Espíndola por su disposición en la realización de los recorridos que hicieron posibles la localización de todas las poblaciones de *Turbinicarpus horripilus*.



## INDICE

<b>I.</b>	<b>RESUMEN</b>	13
<b>II.</b>	<b>ABSTRACT</b>	15
<b>III.</b>	<b>PRESENTACIÓN</b>	17
<b>IV.</b>	<b>INTRODUCCION</b>	20
	• <i>Características de las zonas áridas y semiáridas y su distribución en la República Mexicana.</i>	20
	• <i>Aspectos demográficos.</i>	23
	• <i>Aspectos reproductivos.</i>	24
	• <i>Características generales de las cactáceas.</i>	28
	• <i>Características del género Turbinicarpus (Backeberg)</i>	
	<i>Buxbaum (et) Backeberg.</i>	32
	• <i>Turbinicarpus horripilus (Lem.) Vác. John &amp; Riha.</i>	33
<b>V.</b>	<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	36
<b>VI.</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	41
<b>VII.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	46

<b>VIII. OBJETIVOS</b>	47
<b>IX. METODOLOGÍA</b>	48
<b>Capítulo I</b>	48
<b>Localización y caracterización biótica y abiótica de las poblaciones</b>	
• <i>Localización de poblaciones.</i>	48
• <i>Características de la comunidad.</i>	48
<b>Capítulo II</b>	50
<b>Características demográficas</b>	
• <i>Densidad poblacional.</i>	50
• <i>Distribución espacial de los organismos.</i>	50
• <i>Estructura poblacional.</i>	50
<b>Capítulo III</b>	51
<b>Crecimiento poblacional</b>	
<b>Capítulo IV</b>	53
<b>Biología reproductiva</b>	
• <i>Fenología.</i>	53
• <i>Sistema de cruza.</i>	53
• <i>Sistema de apareamiento.</i>	55

- <i>Índice de entrecruza de Cruden (OIC).</i>	
- <i>Relación polen/óvulo (P/O).</i>	
• <i>Visitantes florales.</i>	58
• <i>Morfometría floral (síndrome de polinización).</i>	58
• <i>Germinación de semillas.</i>	59
<b>Capítulo V</b>	62
<b>Evaluación del Riesgo de Extinción de la especie</b>	
<b>X. RESULTADOS</b>	63
<b>Capítulo I</b>	63
<b>Localización y caracterización biótica y abiótica de las poblaciones</b>	
• <i>Localización de poblaciones.</i>	63
• <i>Características de la comunidad.</i>	66
<b>Capítulo II</b>	67
<b>Características demográficas</b>	
• <i>Densidad poblacional y distribución espacial de los organismos.</i>	67
• <i>Estructura poblacional.</i>	67
<b>Capítulo III</b>	69
<b>Crecimiento poblacional</b>	

<b>Capítulo IV</b>	72
<b>Biología reproductiva</b>	
• <i>Fenología.</i>	72
• <i>Sistema de cruza.</i>	73
• <i>Sistema de apareamiento.</i>	74
- <i>Índice de entrecruza de Cruden (OIC).</i>	
- <i>Relación polen/óvulo (P/O).</i>	
• <i>Visitantes florales.</i>	77
• <i>Morfometría floral.</i>	80
• <i>Germinación de las semillas a través del tiempo.</i>	81
<b>Capítulo V</b>	87
<b>Evaluación del Riesgo de Extinción de la especie</b>	
<b>XI. DISCUSIÓN</b>	88
<b>XII. CONCLUSIONES</b>	97
<b>XIII. LITERATURA CITADA</b>	99
<b>XIV. ANEXO</b>	117

## I. RESUMEN

En este trabajo se presentan las características poblacionales y de la biología reproductiva de *Turbinicarpus horripilus* cacto endémico de la barranca de Metztitlán en el Estado de Hidalgo. Actualmente sólo se conocen seis poblaciones (Almolon, Jilotla, San Cristóbal, San Juan, San Pablo y Santuario de cactáceas).

En la población “Santuario de cactáceas” la densidad de los individuos estimada en un área de 425 m<sup>2</sup> fue de 0.71 ind/m<sup>2</sup>, con distribución espacial agregada ( $ID= 14.11$ ;  $P<0.05$ ). El 89% de los individuos que conforman ésta población son ramificados, algunos de ellos presentan más de 65 ramas. Las frecuencias de los intervalos de clase con respecto a la cobertura presentan un patrón multimodal y la ausencia de plántulas (individuos menores a 2cm<sup>2</sup>). Los individuos de 1 a 40 ramas se encuentran asociados a plantas de musgo y de los géneros *Selaginella* y *Mimosa*.

La tasa finita de crecimiento poblacional indica que la población “Santuario de cactáceas” se encuentra en crecimiento ( $\lambda= 1.23$ ); Sin embargo este valor está altamente influenciado por el valor usado en la categoría de plántulas, el cual fue estimado a partir de la germinación de semillas en condiciones de laboratorio. El proceso demográfico que más contribuye al valor de la tasa finita de crecimiento, es la supervivencia ( $L= 0.69$ ), seguido del crecimiento ( $G= 0.21$ ) y la fecundidad ( $F= 0.088$ ).

La producción de flores y frutos se presentó casi durante todo el año de muestreo (noviembre de 2004 a noviembre de 2005), a excepción de los meses de agosto y septiembre de 2005. La máxima producción de flores y frutos coincide con la época seca de la región. El 98% de los individuos de la población son reproductores. Las flores presentan antesis diurna y son melitófilas. El sistema de cruza es entrecruza a través de un sistema de apareamiento xenógamo obligado. Las semillas son fotoblásticas positivas y pierden viabilidad a través del tiempo, por lo que no son capaces de formar bancos de semillas en el suelo.

El método de evaluación del riesgo de extinción determinó que la especie debe ser considerada en la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001 en la categoría en Peligro de Extinción.

## II. ABSTRACT

In this work presents the population characteristics and the reproductive biology of *Turbincarpus horripilus*, an endemic cacti from the Mezquitlán ravine in Hidalgo state, Mexico. Nowadays it is just known six populations (Almolon, Jilotla, San Cristobal, San Juan, San Pablo and Santuario de cactáceas).

In the “Santuario de cactáceas”, the estimated individual density in 425 m<sup>2</sup> was 0.71 ind/m<sup>2</sup>, with an aggregated spatial distribution ( $DI=14.11$ ;  $P<0.05$ ). The 89% of the individuals that conforms this population are ramified, some of them present more than 65 branches. The frequency interval class (respect to the coverage), present a multimodal pattern and an absence of seedlings (individuals with coverage lower than 2 cm<sup>2</sup>). The individuals of 1 to 40 branches are associated with moss, and with *Selaginella* and *Mimosa* genus.

The finite rate of population growth indicates that the “Santuario de cactáceas” population is growing ( $\lambda=1.23$ ); however, this value is influenced by the seedlings category value, which was estimated by the seed germination obtained in laboratory conditions. The more important demographic processes that contribute to the finite rate of population growth are the surviving ( $L=0.69$ ), the growth ( $G=0.21$ ) and the fecundity ( $F=0.088$ ).

The flowers and fruits were found through all the sampled year (from November 2004 to November 2005), except during August and September 2005. The maximal production of flowers and fruits coincided with the dry season of the region. The 98% of the individuals from the populations are reproductive. The flowers have diurnal anthesis and melittophily syndrome and are mainly pollinated by bees. The mating system is outcrossing by means of a xenogamy breeding system. The seeds are positive photoblastic and they lose viability through time. Therefore they are not capable to form seed banks on the ground.

The evaluation method of the extinction risk determined that the species must be included in the Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001 in the Extinction Risk category.



### III. PRESENTACIÓN

En esta tesis se presentan cinco capítulos que abordan los aspectos del ambiente donde habita *Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vac. John & Riha, sus características poblacionales, su dinámica poblacional, sus características reproductivas y el riesgo de extinción de sus poblaciones.

En el primer capítulo se describe la localización y las características bióticas y abióticas de las poblaciones de *T. horripilus* y se hace una descripción completa de la comunidad de cactáceas de la localidad museo de plantas vivas “Santuario de cactáceas”.

El segundo capítulo aborda aspectos demográficos como el área ocupada por la especie, su densidad poblacional, la distribución espacial de los organismos y la estructura poblacional considerando la cobertura de los individuos en centímetros cuadrados ( $\text{cm}^2$ ) y el número de ramas por individuo, asimismo, se analiza su asociación con otras plantas.

En el tercer capítulo se presentan los datos de la estimación del crecimiento poblacional ( $\lambda$ ), durante el año 2005 a 2006 mediante el uso de una matriz de proyección de Lefkovitch, se analizan los intervalos de tamaño mas críticos en el ciclo de vida de la especie mediante el análisis de matrices de elasticidad y

sensibilidad y se comparan los resultados con las características demográficas de otras cactáceas estudiadas.

En el cuarto capítulo se aborda su reproducción sexual, a partir de la descripción de la fenología de noviembre de 2004 a noviembre de 2005, la descripción del comportamiento de las flores durante la antesis y su tiempo de vida, los resultados de experimentos de polinización controlada, el análisis de los sistemas de cruce y apareamiento, el síndrome floral a partir de los datos de morfometría floral y los datos de experimentos de germinación de las semillas en condiciones controladas.

El quinto capítulo presenta la Evaluación del Riesgo de Extinción de las poblaciones de *Turbincarpus horripilus*, utilizando para ello el Método de Evaluación de Riesgo (MER) incluido en el Anexo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Para la determinación de los puntos asignados a los criterios A, B y C de la evaluación se consideraron los resultados de los aspectos poblacionales y reproductivos descritos en los capítulos dos y cuatro. Para la asignación de puntos al criterio D, se aplicó la metodología propuesta por Peters & Martorell (2000) y Martorell & Peters (2005) para determinar el índice de disturbio, el cual considera el deterioro natural del hábitat de la especie, el impacto de la actividad humana y el impacto de la ganadería. La evaluación que aquí se presenta fue aceptada para su publicación en la revista “Cactáceas y Suculentas Mexicanas” Volumen 51 número 4

del 2006 (ésta revista es trimestral, de circulación internacional, y está registrada en los índices PERIODICA, LATINDEX Y CAB-ABSTRACTS).

## IV. INTRODUCCIÓN

### ***Características de las zonas áridas y semiáridas y su distribución en la República Mexicana.***

La cantidad de radiación solar, temperatura, precipitación, evapotranspiración, así como la dirección y fuerza del viento, son sumamente importantes para definir la aridez que se presenta en algunas regiones de la tierra. Las zonas áridas y semiáridas han sido descritas como lugares secos y desolados, de estructura sencilla, en los que es escasa la presencia de seres vivos (Challenger 1998). No obstante los estudios realizados durante las últimas décadas los consideran como ecosistemas de gran complejidad ecológica resultado de su gran diversidad de taxa, su alto número de endemismos, su heterogeneidad ambiental (espacial y temporal) y su extensa variedad de interacciones bióticas (McMahon 1981; Piña 2000).

Las zonas áridas y semiáridas se encuentran ampliamente representadas en México ya que cubren cerca del 54.3% de su superficie. La mayor extensión de éstas se encuentra en el cinturón o faja mundial de aridez, la cual corresponde a los desiertos Chihuahuense y Sonorense los cuales rebasan la frontera Mexicana para ocupar el sur de Estado Unidos en los Estados de California, Arizona y Texas. De los 32 Estados que conforman a la República Mexicana, 25 presentan porciones de zonas áridas: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila y Sonora son áridos casi en su totalidad; mientras que en Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca,

Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Yucatán y Zacatecas, la aridez se presenta parcialmente (Figura 1) (Cervantes 2002).



Figura 1. Zonas áridas y semiáridas de la República Mexicana (Cervantes 2002).

La presencia de aridez en la República Mexicana se debe a diversos factores tales como su ubicación geográfica (entre los 14° y 32° de latitud norte), la estabilización de la atmósfera por la presencia de corrientes marinas frías (como ocurre en la península de Baja California), al efecto de pantalla meteorológica (consecuencia de la presencia de complejos montañosos) y al efecto de

continentalidad (por el ensanchamiento del territorio mexicano hacia el norte) (Rzedowski 1978; Challenger 1998; Cervantes 2002).

Entre los elementos estructurales más importantes de las comunidades de plantas de las zonas áridas y semiáridas de México se encuentran las cactáceas, quienes están representadas por cerca de 66 géneros y 850 especies de las cuales el 78% son endémicas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a; 1991b; Guzmán *et al.* 2003).

Actualmente los estudios que abordan la demografía y la reproducción de la Familia Cactaceae van en aumento (Valiente-Banuet 1991 a y b; Johnson 1992; Mandujano *et al.* 1996; Nerd & Mizarahi 1997; Schlindwein & Wittmann 1997; Valiente-Banuet *et al.* 1997a; Bianchi *et al.* 2000; Thompson *et al.* 2000; Mcintosh 2002; Esparza & Valverde 2003; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Zavala-Hurtado & Valverde 2003; Molina-Freaner *et al.* 2004; Mcintosh 2005; Valverde & Zavala-Hurtado 2006). Sin embargo es importante seguir profundizando en ambos temas en particular en la polinización, la dispersión de semillas y en los requerimientos para el establecimiento y sobrevivencia de nuevos individuos, ya que éstos en conjunto influyen en la dinámica poblacional de las especies y en su persistencia en los ambientes áridos y semiáridos de México.

### ***Aspectos demográficos.***

La variación del número de individuos en el tiempo y en el espacio afecta directamente a las tasas vitales de las poblaciones (natalidad, crecimiento, reproducción y mortalidad), quienes en conjunto constituyen el ciclo de vida de las especies. Dicha variación es consecuencia de los cambios ambientales en los ecosistemas (Harper & White 1971; Caswell *et al.* 1996; Begon *et al.* 1999; Kery & Gregg 2004; Martínez-García 2006).

La demografía es la ciencia que estudia la dinámica poblacional, deriva del griego demos que significa pueblo y grafos que es trazo (Martínez-García 2006). En la actualidad los estudios demográficos orientados a las poblaciones de plantas emplean parámetros poblacionales como la densidad, expresada a través del número de individuos de la población en un área; la distribución espacial, dada por la ubicación de los organismos en un plano lo cual refleja los patrones de propagación, dispersión y establecimiento propios de la población; y la estructura poblacional, basada en la categorización de los organismos (por su edad, estadio de ciclo de vida o tamaño) (Challenger 1998).

Aunado a los parámetros demográficos, existen también modelos matriciales los cuales son una herramienta útil para el estudio de la dinámica poblacional, ya que a través de éstos, es posible calcular la sobrevivencia de los organismos y su contribución relativa a las siguientes categorías de edad o tamaño para integrar la información en matrices de transición de Leslie (cuando se utiliza la edad de los

organismos para definir categorías) o Lefkovitch (cuando las categorías están definidas por otros parámetros como etapas del ciclo de vida o el tamaño de los organismos). El uso de modelos matriciales conlleva a la estimación de  $\lambda$  (tasa finita de crecimiento poblacional), la cual es utilizada para la realización de proyecciones en el tiempo del crecimiento o decrecimiento de las poblaciones (Leslie 1945; Lefkovitch 1965).

Una de las ventajas de éstos modelos es que su elaboración es relativamente fácil, ya que se realizan a partir de la descripción gráfica del ciclo de vida o de los valores promedios de las tasas vitales de cada categoría de edad, tamaño o estadio de las especies (Caswell *et al.* 1996). Sin embargo presentan limitaciones ya que son sensibles a la elección de las categorías de edad, tamaño o estadio, no consideran la estocasticidad demográfica y suponen que las poblaciones son cerradas, los recursos ilimitados, el ambiente constante e ignoran las presiones denso-dependientes (Piñero *et al.* 1984; Cochran & Ellner 1992).

### ***Aspectos reproductivos.***

La reproducción es el mecanismo por el cual las especies aseguran su permanencia a través de una sucesión de generaciones en el tiempo. En las plantas se conocen tres tipos: i) Sexual, en donde se lleva a cabo la unión de gametos para formar una célula diploide (cigoto). ii) Asexual, en donde por diversos mecanismos se



originan nuevos individuos genéticamente idénticos al parental, capaces de llevar a cabo todos los procesos ontogénicos del desarrollo embrionario y iii) Clonal, en donde por medio de la fragmentación de una planta por diversos factores, se producen nuevos individuos o ramets con el mismo genotipo de la planta madre teniendo la capacidad de formar un genet o clon (Clark 2004; Harda *et al.* 1997; Begon *et al.* 1999).

Entre las características que describen la reproducción de las plantas destacan la fenología, los sistemas de cruce y los sistemas de apareamiento que cada especie desarrolla. La fenología es el estudio de los acontecimientos biológicos periódicos con relación a las estaciones del año entre los que se incluye el crecimiento de las plantas y la formación de estructuras reproductoras (botones, flores y frutos) (Begon *et al.* 1999). Los sistemas de cruce determinan el modo de transmisión de genes a la siguiente generación y existen tres tipos: i) Entrecruza: en donde gametos de organismos distintos se unen para formar un cigoto. ii) Autocruza: En donde gametos del mismo individuo se unen para originar un cigoto. iii) Mixto: En donde los dos sistemas anteriores intervienen en la reproducción de los individuos de la población (Wyatt 1983). La descripción y determinación del sistema de cruce de las especies está relacionada con la determinación del sistema de apareamiento que las plantas realizan para lograr el éxito reproductivo.

Los sistemas de apareamiento en animales están compuestos por los mecanismos de comportamiento y organización social para la obtención de pareja.

En las plantas, los constituyen todos los aspectos de expresión sexual como son las características florales, la distribución y el funcionamiento espacial y temporal de las estructuras reproductivas, el índice de entrecruza (OIC) y la relación polen/ovulo (P/O) (Cruden 1977). Cruden (1983), define cinco sistemas de apareamiento en las plantas: a) Cleistógamo. En donde los individuos realizan autocruza en ausencia de anthesis floral. b) Xenógamo obligado, en donde las especies protándricas, llevan a cabo entrecruza por ser incompatibles entre ellas mismas, por lo que las flores necesitan ser fecundadas con granos de polen de flores de individuos de un genotipo distinto para la formación de semillas. c) Xenógamo facultativo, en donde las especies homogamas o protogineas regulan la autocompatibilidad ya que algunas especies tienden a autopolinizarse hasta que sus flores cierran. Sin embargo muchas de las especies que utilizan este sistema y que no se autopolinizan requieren de diversos vectores para lograr su éxito reproductivo. d) Autógamo facultativo, en donde las especies tienden prioritariamente a la autopolinización y e) Autógamo obligado, en donde la polinización de una flor se lleva a cabo sólo con su propio polen. Existen dos tipos de autogamia: a) La directa, en la que no intervienen elementos extraños para que el polen llegue al estigma y b) La indirecta, en donde las flores necesitan de vectores que propicien que el polen de ellas mismas llegue a sus estigmas. La oportunidad de entrecruzamiento en este mecanismo es nula.

La descripción y el conocimiento de estos sistemas de apareamiento resulta ser complejo debido a la existencia de diversos mecanismos de polinización como la polinización cruzada, que es característica de las plantas alógamas quienes

requieren del polen de flores de otras plantas para producir semillas, en este sistema se encuentran asociados mecanismos de autoincompatibilidad (Wyatt 1983). La geitonogamia, que es un tipo de autocruza en donde se cruzan gametos de flores genéticamente similares (con polen de flores de la misma planta o de otras en caso de plantas clonales). La apomixis en donde se producen semillas de genotipo idéntico al de la planta madre sin meiosis y la automixis en la que ocurre una pseudofecundación del cigoto con otra célula haploide de la misma planta, estos dos últimos comunes en el 10% de las plantas (Richards 1986; Eguiarte *et al.* 2003), y aunque limitan la variación genética dentro de las poblaciones, ofrecen ventajas ecológicas y evolutivas como son la dispersión y la reparación del material genético aún cuando los polinizadores sean escasos.

Existe una serie de mecanismos para evitar la autopolinización, entre ellos la autoincompatibilidad expresada de dos formas gametofítica y esporofítica, la primera está determinada por el genotipo de los gametos y la segunda por el de los padres. Dentro de la autoincompatibilidad esporofítica se encuentra la heterostilia representada por diversos morfos: si existen solo dos morfos florales se le denomina distilia (morfo *Pin* o *thrum*) y si se presentan tres morfos se le llama tristilia (Eguiarte *et al.* 2003).

En las flores perfectas o hermafroditas, existen otros mecanismos en los que las funciones femeninas y masculinas pueden estar separadas en el tiempo (dicogamia) o en el espacio (hercogamia). Si se separan en el tiempo podemos tener

especies protándricas y protogínicas, siendo las protándricas las que desarrollan primero su función masculina y las protogínicas las que desarrollan primero su función femenina. Algunas plantas producen individuos que sólo contienen flores de un sexo (especies dioicas), mientras que otras producen individuos con flores de ambos sexos (especies monoicas) (Eguiarte *et al.* 2003).

Algunos procesos reproductivos como la fenología, el sistema de cruza, el sistema de apareamiento, la dispersión y germinación de semillas y el establecimiento y supervivencia de plántulas en las poblaciones (éxito reproductivo), son factores importantes que pueden limitar la distribución y abundancia de los organismos y determinar en casos extremos la rareza de las especies. En la actualidad las especies raras se han considerado importantes en el campo de la biología de la conservación por ser altamente vulnerables a la extinción debido a su distribución geográfica restringida, su especificidad de hábitats y sus tamaños poblacionales relativamente pequeños. Sin embargo aun se desconoce con exactitud, para la mayoría de las especies consideradas como raras, la correlación que existe entre estos tres atributos y las características de su reproducción (Rabinowitz 1981; Zavala-Hurtado & Valverde 2003; Esparza-Olguín & Valverde 2003).

### ***Características generales de las cactáceas.***

Las cactáceas son plantas suculentas y perennes, constituyen el grupo al cual pertenecen los nopales, los órganos y las biznagas, cuyos frutos reciben el nombre

de tunas, pitahayas y chilitos (Sánchez-Mejorada 1978). Son plantas xerófitas, generalmente provistas de espinas, adaptadas a vivir en condiciones de extrema aridez. Pertenecen al grupo de las angiospermas, a la clase de las dicotiledóneas y al orden Caryophyllales. Son originarias del continente Americano distribuidas desde Canadá hasta la Patagonia siendo México el principal centro de diversificación y endemismo (Bravo-Hollis & Scheinvar 1999).

Las cactáceas cuentan con adaptaciones morfofisiológicas útiles para sobrevivir en dichos ambientes, entre estas adaptaciones se encuentran la presencia de espinas, la succulencia, las raíces con alta capacidad de absorción y su vía metabólica fotosintética ácido crasulácea (CAM) (Gibson & Nobel 1986; Rojas-Aréchiga 1995). La característica principal de este grupo de plantas es la presencia de areolas, las cuales son estructuras especializadas que se encuentran distribuidas en el tallo y en ocasiones en los frutos. Corresponden a los nudos de otras plantas y de ellas pueden emerger hojas (en *Opuntia*, *Pereskia* y *Pereskiopsis*), espinas, cerdas, pelos y estructuras reproductoras (flores y frutos); su abundancia, número y tamaño varían dependiendo de la especie (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a).

Las flores de las cactáceas son perfectas o hermafroditas, es decir en una misma flor se encuentran presentes los órganos femeninos (gineceo) y masculinos (androceo). En cuanto a la polinización, los estudios realizados sugieren que necesitan de vectores biológicos para el traslado de polen, debido a que éste difícilmente es transportado por el viento (Mandujano *et al.* 1996; Valiente-Banuet *et*

*al.* 1997a; Molina-Freaner *et al.* 2004). La polinización de las cactáceas sucede cuando los animales que actúan como polinizadores visitan las flores en busca de alimento (polen y néctar). Las flores de las cactáceas pueden ser diurnas o nocturnas. Las primeras suelen ser solitarias de forma acampanada y con colores llamativos (amarillo, naranja, rojo, o rosa), generalmente son polinizadas por insectos (abejas o avispas) o aves (colibríes), mientras que las flores nocturnas son solitarias, tubulares, de color blanco y aromáticas, por lo que suelen ser polinizadas por murciélagos y mariposas nocturnas (esfíngidos) (Mandujano *et al.* 1996; Valiente-Banuet *et al.* 1997a y b, Saleem *et al.* 2006; Molina-Freaner *et al.* 2004).

Los frutos de las cactáceas varían de secos a jugosos y, dependiendo de la especie, reciben los nombres de: tuna, pitaya, garambullo, xoconostle o chilito; puede estar cubierto por areolas y espinas, como en las tunas, o carecer de éstas, como en el garambullo. Estos frutos sirven de alimento a diversos animales como murciélagos, aves de percha y ratones que al ingerirlos actúan como agentes de dispersión de las semillas, promoviendo la colonización de nuevos ambientes alejados de la planta madre (Bravo-Hollis & Scheinvar 1999; Jiménez-Sierra & Reyes 2003).

Un aspecto importante en la biología reproductiva de estas plantas es la germinación de semillas. Las semillas de las cactáceas suelen enfrentar condiciones ambientales adversas antes y durante la germinación, por lo que éste proceso se logra cuando se cuenta con condiciones favorables (Rojas-Aréchiga 1995; Rojas-

Aréchiga & Vásquez-Yanes 2000). Una vez que las semillas germinan, pasan a la etapa de plántula en donde suelen necesitar de cierta protección para crecer y desarrollarse exitosamente (Valiente-Banuet 1991a, 1991b; Mandujano *et al.* 1996; Esparza-Olguín & Valverde 2003; Godínez-Álvarez *et al.* 2003; Flores *et al.* 2004).

El establecimiento de plántulas en las zonas áridas y semiáridas representa un reto, ya que las plantas se muestran vulnerables a las condiciones adversas del ambiente que caracterizan los ecosistemas áridos. Esto puede determinar en muchos casos que las poblaciones de cactáceas presenten problemas de persistencia debido a la ausencia de organismos pequeños. Las plántulas de muchas cactáceas suelen establecerse bajo la protección del dosel de los arbustos ya que es aquí en donde se forman microhábitats estables que permiten su crecimiento aunque también existen especies que no requieren necesariamente de dicha protección (Valiente- Banuet *et al.* 1991 a y b; Mandujano *et al.* 1998; Mandujano *et al.* 2002; Jiménez-Sierra & Jiménez-González 2003; Flores & Jurado 2003; Flores *et al.* 2004; Jiménez-Sierra & Matias-Palafox 2007).

Las cactáceas han sido importantes en el desarrollo de los pueblos indígenas de México. Los mexicas las llamaron *nopalli* o *nochtli* y las utilizaban como alimento, y para otros fines domésticos, medicinales, religiosos y políticos. El escudo nacional mexicano por ejemplo, el cual ostenta un nopal, deriva del escudo de Tenochtitlan (Bravo-Hollis & Scheinvar 1999; Jiménez-Sierra & Reyes 2003).

En la actualidad las cactáceas tienen una amplia gama de usos: a) en la alimentación, ya que se aprovechan los tallos, las flores y los frutos; b) como forraje, ya que los tallos de varias especies sirven de alimento al ganado vacuno, caprino y asnar; c) en la construcción de cercas vivas; d) como plantas de ornato debido a la rareza de sus tallos y a la belleza de sus flores; e) como recursos medicinales, para contrarrestar algunas enfermedades como la diabetes, la presión, el colesterol, entre otras y f) como fuente de materias primas como taninos, alcaloides, etc. (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a; 1991b).

#### ***Características del genero Turbinicarpus (Backeberg) Buxbaum (et) Backeberg.***

El género *Turbincarpus* es endémico de México, se distribuye en la región nororiental de la República, encontrándose principalmente en los estados de Hidalgo, Querétaro, San Luís Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila; representado por 23 especies las cuales están todas incluidas en el Apéndice I de la Convención Sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES) (Guzmán *et al.* 2003). Esto se debe a que su área de distribución es limitada, sus ambientes han sido alterados y los individuos de sus poblaciones han sido objeto de colecta y tráfico ilegal. No obstante, se conoce muy poco sobre la biología y no existen datos demográficos precisos sobre sus poblaciones.



Las plantas que constituyen este género son pequeñas, más o menos globosas y simples, están provistas de tubérculos y en algunas ocasiones costillas divididas en tubérculos. Las areolas son monomorfas. Las espinas son suaves no pungentes y escasas. Sus flores surgen en las areolas del ápice del tallo y pueden ser de color rosa o blanco, el pericarpelo se encuentra desnudo y en ocasiones presenta una escama diminuta hacia su porción superior. Los estambres son numerosos. El fruto es una baya dehiscente que posee semillas de testa negra que miden de uno a 1.5 mm de longitud y no presentan arilo (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991b).

***Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha.**

*Turbinicarpus horripilus* es una especie endémica de la Barranca de Metztitlán en el Estado de Hidalgo. Hasta hace dos años sólo se habían registrado dos localidades, de las cuales la mejor representada se encuentra dentro del área del “Museo de Plantas Vivas: Santuario de Cactáceas” ubicado a orillas del poblado de Metztitlán. *Turbinicarpus horripilus* es una planta subglobosa, generalmente ramificada. Su tallo mide de 6 a 12 cm de diámetro y de 4 a 10 cm de altura, está formado por numerosos tubérculos piramidales de 1 cm dispuestos en espiral. Sus espinas radiales (9 a 12) son aciculares, rectas o ligeramente curvas, de color blanco con la punta parda, las de la parte inferior son más cortas que las de la parte superior. Posee solo una espina central recta rígida de color café. Sus flores son

acampanadas de color rosa púrpuro de 2 cm de longitud y surgen en los surcos adaxiales de las aréolas jóvenes que se encuentran en el ápice del tallo. Sus frutos son secos y ovoides con venación longitudinal, de color verde con tintes rojizos los cuales conservan los restos del perianto. Miden hasta 1 cm de longitud y de 4 a 7 mm de diámetro y contienen de 5 a 75 semillas, las cuales son ovoides de testa negra o rojiza de 1.2 a 1.5 mm de longitud (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a; Matias-Palafox & Jiménez-Sierra 2004). Ha sido clasificada en distintos géneros por diversos autores: *Mamillaria horripila* Lem., 1838; *Echinocactus horripilus* (Lem.) Lem., 1839; *Neolloydia horripila* (Lem.) Britton & Rose, 1923; *Gymnocactus horripilus* (Lem.) Backeb., 1961; *Thelocactus horripilus* (Lem.) Kladiwa & Fittkau in Krainz, 1970; *Pediocactus horripilus* (Lem.) Halda, 1998; *Bravocactus horripilus* (Lem.) Doweld, 1998 (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a).

Se reconocen dos subespecies: *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha subs. *wrobelianus* Nizschke & Anaya-Montes y *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha subs. *kretae* Chvastek & Halda (Figura 2) (Guzmán *et al.* 2003).

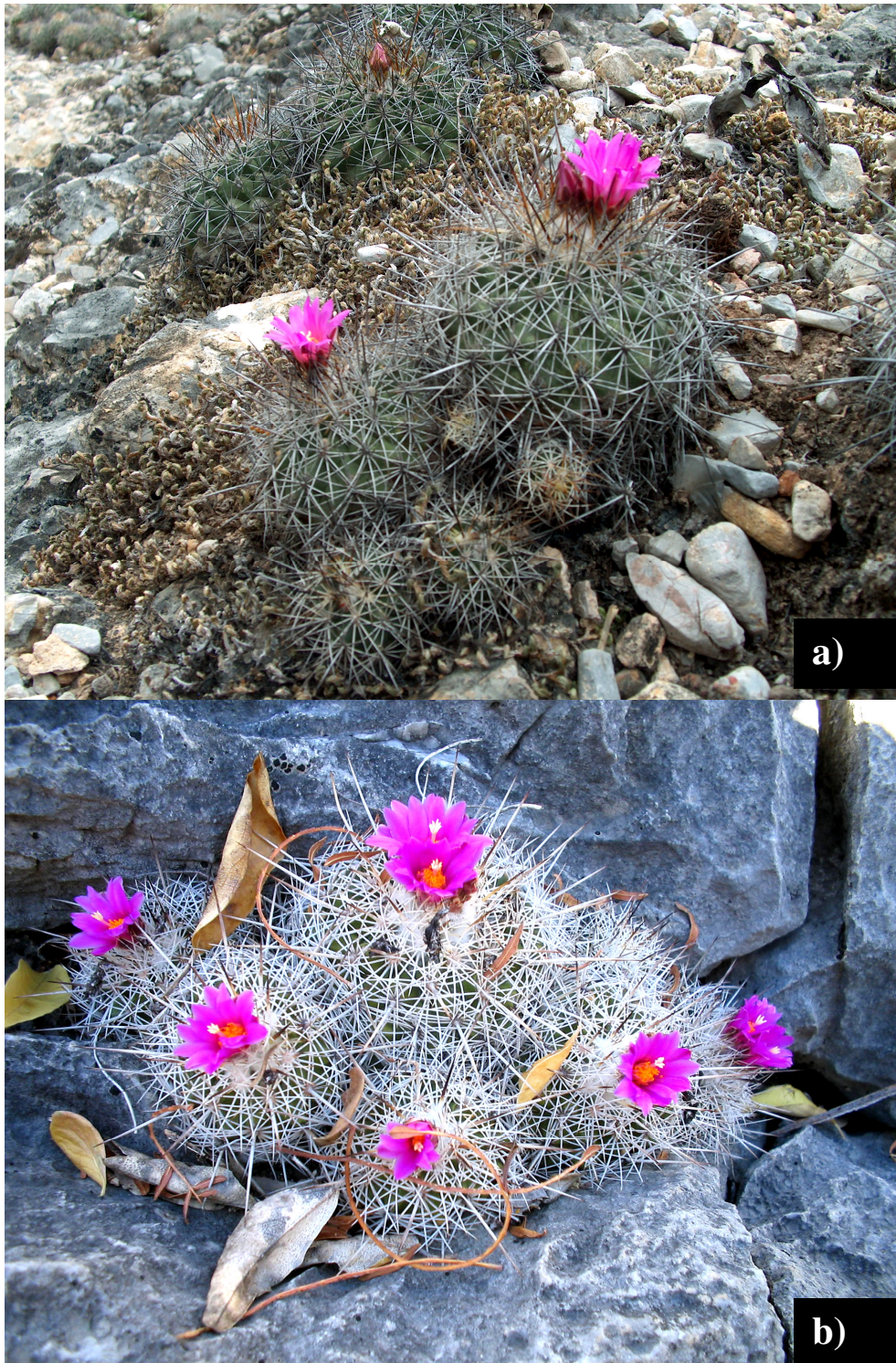


Figura 2. Ejemplares de *Turbinicarpus horripilus*. a) *Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vac. John & Riha;  
b) *Turbinicarpus horripilus*. (Lem.) Vác. John & Riha subs. *wrobelianus* Nizschke & Anaya-Montes  
(Fotos a y b Loraine Matias Palafox).

## V. ÁREA DE ESTUDIO

La barranca de Metztitlán se localiza al este de la región central del estado de Hidalgo, forma parte del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental y pertenece a la zona principal de los cañones excavados por las afluentes del río Pánuco. Las cañadas formadas por dichos afluentes son albergue de una gran riqueza natural, hecho que le ha valido para ser considerada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como zona prioritaria para la conservación, siendo así declarada el 27 de Noviembre del 2000 como Área Natural Protegida, llevando el Nombre de “Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán” (Figura 3).

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán cuenta con una extensión de 96,042.94 ha localizadas entre los paralelos 98° 23' 00" y 98° 57' 08" longitud oeste y 20° 14' 15" y 20° 45' 26" latitud norte. Presenta una topografía altamente accidentada con gradientes altitudinales que van desde los 1000 a los 2000 msnm. El área está formada por los municipios de Acatlán, Atotonilco el Grande, Eloxochitlán, Huasca de Ocampo, Metepec, San Juan Metztitlán, San Agustín Metzquititlán y Zacualtipán de Ángeles (CONABIO 2003).



Figura 3. Localización de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán en el Estado de Hidalgo, México (CONABIO 2003).

Se presentan dos tipos de clima en el área de la Reserva, seco semicálido con régimen de lluvias en verano (BS0hw) en el Norte y Centro, y semiseco templado con régimen de lluvias en verano (BS1kw) en el Sur. La sombra de lluvia ejercida por la Sierra Madre Oriental y la altitud son factores determinantes para la presencia de

estos climas. La temperatura media anual es de 18° C a 22° C y la precipitación media anual no rebasa los 500 mm (CONABIO 2003).

El principal rasgo hidrológico de la Reserva lo conforma un río con una extensión aproximada a 100 Km, el cual va tomando el nombre de la región por donde corre el cauce, identificándose así en el Sur como río Grande Tulancingo, río Venados en la unión con el río San Sebastián y como río Metztitlán en el municipio del mismo nombre. Este río corre de Sureste a Noroeste, en donde actualmente desemboca en un lago conocido como “Laguna de Metztitlán” (CONABIO 2003).

Los tipos de vegetación que alberga la reserva son: Bosque tropical caducifolio, Bosque de coníferas, Matorral xerófilo, Matorral submontano, Pastizal y Vegetación ribereña El Matorral xerófilo es el tipo más extenso y mejor representado, por lo que el lugar es considerado refugio pleistocénico de la biota desértica mexicana ya que presenta afinidades que muestran la intensa relación que existió en el pasado con los desiertos Chihuahuense y Sonorense, por lo que se cree que actualmente funciona como corredor biológico de las zonas áridas en el altiplano central del país (CONABIO 2003).

La flora presente en la Reserva pertenece en su mayoría a la provincia florística de la Altiplanicie, la cual se encuentra constituida por elementos de afinidad geográfica meridional y boreal, además de presentar un gran número de elementos

autóctonos y endémicos. Las cactáceas forman parte importante de dicha flora, motivo por el cual la barranca de Metztlán es considerada como una de las zonas cactológicas más llamativas de nuestro país (Sánchez-Mejorada 1978). En este lugar la familia Cactaceae se encuentra representada por alrededor de 70 especies de las cuales el 11.42% son especies endémicas y el 15% de las especies son consideradas en estatus crítico según la Norma Ecológica NOM-059-SEMARNAT-2001 (CONABIO 2003).

Dentro de las estrategias para la conservación de cactáceas en la zona está la creación y mantenimiento del Jardín Botánico “Museo de Plantas Vivas” (Figura 4), ubicado a las orillas del municipio de San Juan Metztlán, en el cual se pueden apreciar especies de diversas familias viviendo en su ambiente natural. Las especies de cactáceas que habitan dicho lugar son *Astrophytum ornatum* (DC.) F. A. C. Webber ex Britton & Rose, *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff, *Coryphanta erecta* (Lem.) Lem., *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto, *Ferocactus glaucescens* Britton & Rose, *Mammillaria geminispina* Haw, *M. longimamma* DC., *Myrtillocactus geometrizans* (Martus) Console y *Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha.

Además, cabe mencionar el trabajo realizado por los habitantes de la región quienes han formado grupos para establecer invernaderos en la zona, en los que la prioridad es propagar cactáceas para disminuir el saqueo y el tráfico de especies en peligro de extinción (Figura 5).



Figura 4. Museo de Plantas Vivas "Santuario de Cactáceas. (Foto: Loraine Matias Palafox).



Figura 5. *Cephalocereus senilis* propagado en el invernadero Xochitl Huiznahuatl ubicado en el Barrio del Pato en Metztitlán, Hgo. (Foto: Loraine Matias Palafox).



## VI. ANTECEDENTES

### ***Demografía de cactáceas***

Los estudios de demografía han demostrado que la estructura de edades y la dinámica poblacional en cactáceas está determinada por varios factores como el tiempo, la producción de semillas, el costo de germinación, el banco de semillas en el suelo, la reproducción vegetativa y la herbivoría (Godínez-Álvarez *et al.* 2003).

En lo que se refiere a la estructura de edades y/o tamaños, se ha encontrado para algunas cactáceas (*Carnegiea gigantea*, *Echinocactus horzonthalonius*, *Ferocactus cylindraceus*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *Opuntia rastrera* y *O. echios*) que los histogramas que representan la estructura de sus poblaciones demuestran una distribución desigual en las clases de tamaño de los individuos, lo que sugiere que el reclutamiento ocurre en pulsos asociados a condiciones favorables para la germinación y el establecimiento (Reid *et al.* 1983; Bowers 1996; Pierson & Turner 1998; Hicks & Mauchamp 2000; Mandujano *et al.* 2001; Esparza-Olguín *et al.* 2002).

La evaluación de la dinámica poblacional, a través de matrices de proyección, ha sido poco abordada en los estudios poblacionales de cactáceas. Sin embargo, existen estudios para algunas poblaciones de *Carnegiea gigantea*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *N. macrocephala*, *Escontria chiotilla*, *Mamillaria magnimamma*, *M. crucigera*, *Coryphanta robbinsorium*, *Opuntia rastrera* y *Echinocactus platyacantus* en donde

se muestran los valores de lambda ( $\lambda$ ) (tasa finita de crecimiento poblacional), y sus análisis de sensibilidad y elasticidad (Silvertown *et al.* 1993; Schmalzel *et al.* 1995; Godínez-Álvarez *et al.* 1999; Mandujano *et al.* 2001; Ortega-Baes 2001; Contreras & Valverde 2002; Esparza-Olguín *et al.* 2002; Valverde & Zavala-Hurtado 2006; Jiménez-Sierra *et al.* 2007).

### **Reproducción de cactáceas**

Al igual que los estudios poblacionales, los estudios de ecología reproductiva sobre cactáceas son escasos con relación al número de especies que integran a esta familia. La mayoría de los trabajos se han enfocado a formas columnares y raquetiformes y un pequeño número para globosas y toneliformes.

Los aspectos estudiados para las cactáceas con formas columnares son: fenología, en donde la mayoría de las especies estudiadas presentan una época de floración y fructificación anual; con síndrome de polinización, en general quiropterófilo, sus flores presentan coloraciones claras (por lo general son de color blanco), con olores desagradables y de antesis nocturna. En el centro del país sus patrones de floración y fructificación se relacionan con la presencia de diversas especies de murciélagos, por lo que se ha determinado que estos organismos son de gran importancia para el éxito reproductivo (Valiente-Banuet *et al.* 1997 a, 1997b; Sahley 1996; Esparza-Olguín y Valverde 2003; Molina-Freaner *et al.* 2004; Soto-Ortega y Jiménez-Sierra 2004; Saleem *et al.* 2006).

Para las opuntias, Reyes-Agüero *et al.* (2006) realizaron una revisión completa que engloba a la mayoría de los trabajos que abordan las características generales de su biología reproductiva. En esta revisión se describe que las flores de este género por lo general son de color amarillo, aunque pueden ser naranjas, rosas, moradas, rojas o blancas. Son flores hermafroditas, con estambres numerosos (450 en *O. viridirubra*, 598 en *O. brunneogemmia* y 620 en *O. bradtiana* (Schlindwein y Wittmann 1997; Plasencia-López 2003)), de color amarillo a verde, dispuestos en forma espiralada alrededor del estilo, en muchos casos los estambres cercanos al estilo son cortos mientras los que están cercanos a los tépalos son largos. El estilo es simple, hueco, de color verde o amarillo, aunque algunas veces rosa, rojo o naranja. El estigma aparece arriba de las anteras en el centro de la flor, con lóbulos amplios de color verde, naranja o amarillo. Los primordios florales requieren de 21 a 47 días para su maduración. En el hemisferio norte, la antesis ocurre de mayo a julio, mientras que en el sur es entre febrero y agosto. Cada individuo abre solo unas cuantas flores por día durante el periodo de floración. Presentan síndrome de floración melitófilo (polinizadas por abejas). En cuanto al sistema de apareamiento, en general realizan autogamia y xenogamia al mismo tiempo (*O. ficus-indica* (Nerd & Mizarahi 1997); *O. rastrera* (Mandujano *et al.* 1996); *O. viridirubra* (Schlindwein & Wittmann 1997) *O. retrorsa* (Bianchi *et al.* 2000)), aunque también se reportan casos en los que solo se presenta xenogamia como en *O. lindheimeri* (Grant *et al.* 1979) y *O. polyacantha* (Osborn *et al.* 1988).

Para las especies globosas y toneliformes se ha descrito que los periodos de floración son variables, en algunas ocurre un evento anual y en otras se presentan varios eventos durante el año. Las flores de estas especies presentan antesis diurna y las flores pueden vivir uno o varios días. Son visitadas por insectos aunque no todos cumplan la función de polinizadores efectivos. Sin embargo se ha descrito que la visita por abejas es de suma importancia para el éxito reproductivo de estas plantas. En general se ha descrito que la dispersión de frutos y semillas es llevada a cabo por hormigas, coyotes, venados y roedores (Johnson 1992; Cortes- Figueira *et al.* 1994; Mandujano *et al.* 1997; Rodrigo de Castro & Galetti 2004;Mcintosh 2002).

Para el género *Turbinicarpus* se desconoce la mayor parte de los aspectos de su biología reproductiva. Sin embargo existen descripciones del hábitat en donde se encuentran (Milan 2004) y de los requerimientos necesarios para la germinación de semillas (Flores *et al.* 2005; 2006).

Los estudios que abordan la biología de *T. horripilus* son escasos, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991a) consideran a la especie como *Thelocactus horripilus* y presentan una descripción morfológica detallada; Milan (2004) considera a la especie dentro del género *Turbinicarpus* presentando una descripción en latín en la que señala algunos aspectos relacionados con su distribución geográfica y altitudinal; Matias-Palafox y Jiménez-Sierra (2004) mencionan a las especies con quienes se le puede encontrar y describen características que no habían sido reportadas, como el

número de ramas por individuo, su asociación a otras plantas, el tiempo de vida de las flores y el número de semillas por fruto.

## VII. JUSTIFICACIÓN

Actualmente los estudios que describen la ecología poblacional y reproductiva de las especies raras, amenazadas o en peligro de extinción, permiten conocer aspectos específicos que ayudan a determinar propuestas útiles para su manejo, por lo que son importantes para la toma de decisiones enfocadas a su conservación en sus ambientes naturales (Esparza-Olguín *et al.* 2002; Clark 2004; Mandujano *et al.* 2004; Valverde & Zavala-Hurtado 2006).

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán cuenta con una gran diversidad de especies de cactáceas (alrededor de 70) de las cuales la mayor parte son raras o endémicas de la región, por lo cual gran parte de ellas se encuentran citadas en catálogos de riesgo (apéndice I de CITES, Lista Roja del IUCN y Norma Ecológica Mexicana NOM-059-ECOL-2001). No obstante un gran número de ellas, como es el caso de *Turbinicarpus horripilus*, no cuenta con la protección de la legislación mexicana, a pesar de ser una especie rara y endémica de la barranca de Metztitlán, hecho que se atribuye a la falta de conocimiento del número de poblaciones existentes en la zona y a la biología de la especie. Aunado a esto, los trabajos que aportan información para contribuir a la toma de decisiones de manejo y conservación en esta zona son realmente escasos, no sólo para las especies de cactáceas sino también para otras especies de plantas y animales que enriquecen este lugar.

## VIII. OBJETIVOS

### General:

- 👤 Conocer la estructura y dinámica poblacional así como la biología reproductiva de *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vac) John & Riha para evaluar el riesgo de extinción de sus poblaciones naturales.

### Particulares:

- 👤 Localizar las poblaciones existentes en la zona.
- 👤 Conocer la densidad poblacional y su distribución en el espacio.
- 👤 Conocer la dinámica poblacional ( $\lambda$ ,  $w$ ,  $v$ ) y la importancia de los procesos demográficos (crecimiento, permanencia y fecundidad).
- 👤 Describir la fenología.
- 👤 Determinar el sistema de cruza.
- 👤 Determinar el sistema de apareamiento por medio de la determinación del índice de entrecruza (OIC) y la relación polen/óvulo (P/O).
- 👤 Conocer a los principales visitantes florales y describir su comportamiento durante la antesis floral.
- 👤 Describir la morfometría de las flores y su síndrome floral.
- 👤 Conocer la germinación de las semillas a través del tiempo.
- 👤 Evaluar el Riesgo de extinción de la especie.

## IX. MÉTODOS

### Capítulo I

#### Localización y caracterización biótica y abiótica de las poblaciones

##### ***Localización de poblaciones***

Para ubicar las poblaciones de *T. horripilus* se consultó información bibliográfica y se realizó una revisión en los principales herbarios de la Ciudad de México (Herbario del Instituto de Biología (MEXU), UNAM; Herbario de Botánica (ENCB), IPN y el Herbario de Ciencias Forestales (CHAPA), UACH), para obtener la información contenida en los ejemplares coleccionados.

Se visitaron las localidades reportadas en la literatura, en ejemplares de herbario y las conocidas por algunos especialistas del grupo. Se realizaron recorridos en zonas aledañas a éstas y en cada localidad se determinaron coordenadas geográficas, altitud, pendiente y orientación. Con base en dicha información se eligió la población ubicada en el museo de plantas vivas “Santuario de cactáceas”, en ésta se realizaron dos muestreos, el primero con la finalidad de conocer la estructura y dinámica poblacional, y el segundo para describir la biología reproductiva de la especie.

##### ***Características de la comunidad***

En el “Santuario de cactáceas”, se trazaron 15 parcelas contiguas de 25m<sup>2</sup>, se contó el número de individuos presentes de todas las especies de



cactáceas y se registró la localización geográfica, la pendiente, la orientación y la pedregosidad.

## Capítulo II

### Características demográficas.

#### Densidad poblacional

En el “Santuario de cactáceas” se contó el número de organismos presentes de *T. horripilus* y se elaboró un mapa con su ubicación. Con base en el número total de individuos y al área muestreada se calculó la densidad.

#### Distribución espacial de los organismos

El patrón de distribución de las plantas se determinó con base al Índice de dispersión (*ID*), el cual fue calculado como  $ID = S^2/\mu$  en donde  $\mu$  es la media de la frecuencia de aparición de individuos en cada parcela y  $S^2$  es su varianza (Ludwing & Reynolds 1988). Considerándose una distribución al azar si  $ID=1$ , uniforme si  $ID<1$  y agregada si  $ID>1$ . Se realizó una prueba de *chi* cuadrada para determinar si el patrón de distribución obtenido era significativo.

#### Estructura poblacional

Para la estructura de tamaños se considero la cobertura en  $\text{cm}^2$  y el número de ramas por individuo. Se realizó el registro de las plantas acompañantes de la especie que pudiesen ser consideradas nodrizas de la misma.

### Capítulo III

#### Crecimiento poblacional

Con base en los datos de dos censos consecutivos (enero de 2005 y 2006), se calculó el cambio en tamaño de los individuos.

Para la evaluación del crecimiento poblacional se realizó una matriz de transición de Lefkovitch (Lefkovitch 1965), con cinco intervalos de tamaño considerando el diámetro total de cada individuo (Tabla 1). El diámetro total de los individuos se obtuvo sumando el diámetro de cada una de sus ramas (Figura 6). La fecundidad se calculó tomando en cuenta el número de semillas producidas en promedio por los individuos de cada categoría al año. Con ayuda del programa Matlab version 6.5 (The Math Works, Natick. Massachussets, USA), se calculó la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ), la estructura estable de edades ( $w$ ) y el valor reproductivo por intervalo de tamaño ( $v$ ). A través de matrices de sensibilidad y elasticidad, se evaluó la importancia de los procesos demográficos por intervalo (permanencia, crecimiento, regresión y fecundidad) sobre el valor de lambda ( $\lambda$ ) para el periodo de enero de 2005 a enero de 2006.

Tabla 1. Intervalos de tamaño de los individuos de *Turbincarpus horripilus*.

Categoría	Tamaño (cm)
Semillas	-
Juvenil	2.4
Adulto 1	30
Adulto 2	75
Adulto 3	>75



Figura 6. Medición del diámetro de las ramas de *Turbincarpus horripilus*.

## Capítulo IV


### Biología reproductiva


#### ***Fenología***

Para el seguimiento de la fenología se marcaron 260 plantas. Para cada individuo se registró mensualmente de noviembre de 2004 a noviembre de 2005, el número de primordios florales, flores y frutos. Con estos datos se obtuvo el porcentaje de individuos reproductivos de la población y el porcentaje de frutos producidos por individuo. Se realizó un análisis de correlación simple no paramétrico con el programa NCSS 2000, entre el tamaño de los individuos (número de ramas) y el número de estructuras reproductoras (primordios florales y frutos).


#### ***Sistema de cruza***


Para determinar el sistema de cruza de *T. horripilus* se realizaron experimentos con flores, para cada experimento se tuvieron 10 repeticiones (Figura 7). Los tratamientos realizados fueron:


 Control: Flores marcadas que no fueron sometidas a ningún tratamiento.


 Polinización cruzada artificial (Entrecruza artificial). Flores aisladas y polinizadas manualmente con polen de flores de otras plantas. El polen de las flores de otras plantas se obtuvo colocando estambres con polen en un

tubo de ensayo. La polinización se llevó a cabo con un pincel.

 Autopolinización artificial (Autocruza artificial). Flores aisladas y polinizadas con un pincel con el polen de sus mismas anteras.

 Autopolinización natural (Autocruza natural). Flores aisladas a las que no se les realizó ninguna otra manipulación.

 Geitonogamia: Flores de una misma planta aisladas y polinizadas manualmente entre ellas.

 Apomixis. Flores a las que se les aisló el estigma mecánicamente con un pequeño tubo de plástico, para evitar la llegada de cualquier grano de polen.

Cuatro semanas después de los experimentos, se realizó la colecta de los frutos obtenidos de los diferentes tratamientos, con el fin de evaluar el éxito reproductivo (proporción de frutos producidos y número de semillas).

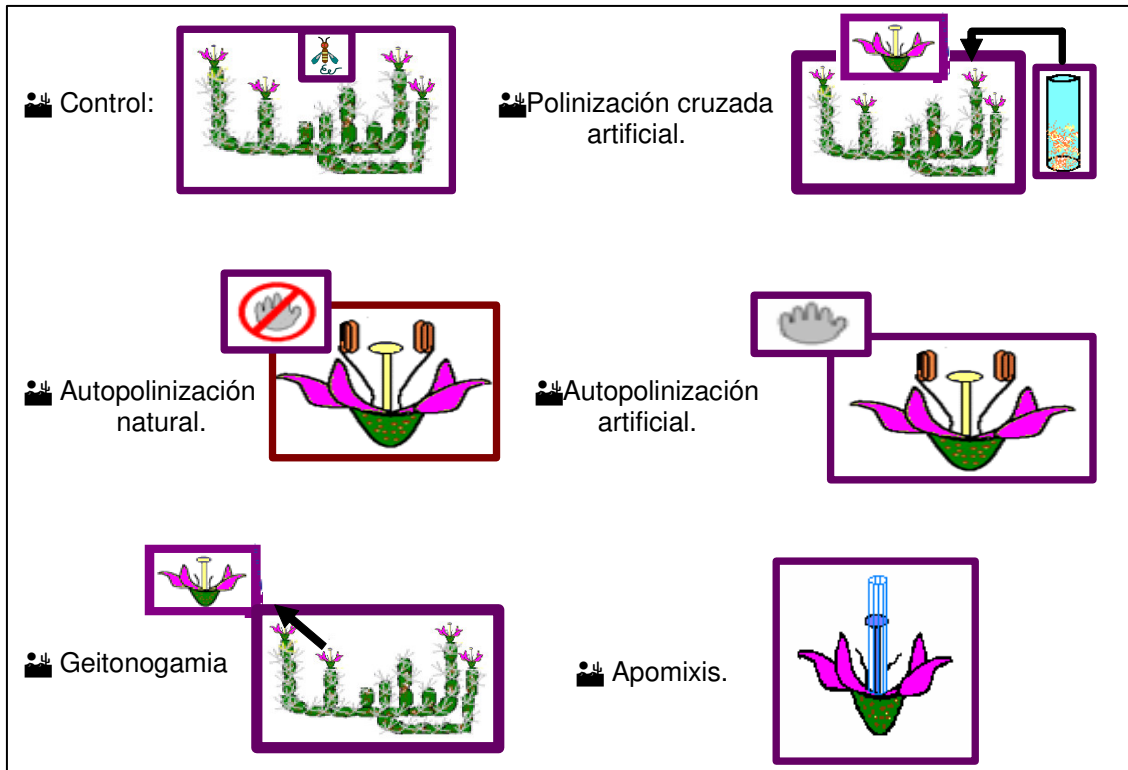


Figura 7. Tratamientos realizados a las flores de *Turbinicarpus horripilus* para conocer el sistema de polinización de la especie. (Plasencia-López 2003).

### **Sistema de apareamiento**

Para determinar el sistema de apareamiento empleado por la especie, se utilizó el índice de entrecruza de Cruden (1977), así como la cuantificación de granos de polen de una flor y su número de óvulos (relación polen/óvulo (P/O) (Tabla 2). El Índice de entrecruza de Cruden (OIC) evalúa el tamaño de la flor: 0= flores de 1 mm de diámetro; 1= flores de 1 a 2 mm de diámetro; 2= flores de 2 a 6 mm de diámetro y 3= flores de más de 6mm de diámetro. También se estimó la existencia de hercogamia (separación espacial de sexos), donde se asigna el valor de 0 si no se presenta y 1 si se presenta, así como la existencia de dicogamia (separación

temporal de sexos), evaluada por la presencia de homogamia = 0 o la presencia de protandria o protoginia = 1.

Tabla 2. Sistemas de apareamiento de acuerdo al índice de entrecruza de Cruden (1977) y a la relación polen óvulo (P/O).

<b>Sistema de apareamiento</b>	<b>OIC</b>	<b>Relación P/O (promedios)</b>
Cleistógamo	0	4.7:1
Autógamo	1	27.7:1
Autógamo facultativo	2	168.5:1
Xenógamo facultativo	3	796.6:1
Xenógamo obligado	4	5859.2:1

El tamaño de las flores y la evaluación de la presencia de hercogamia se obtuvieron de las mediciones presentadas en la morfometría floral, considerando para la hercogamia, la distancia media entre las anteras y los lóbulos del estigma (cero = ausencia de hercogamia; diferente de cero = presencia de hercogamia) (Nassar & Ramírez 2004).

La evaluación de la existencia de dicogamia se realizó estudiando la marcha floral, para lo cual se eligieron 20 flores de 20 plantas distintas y se registró a intervalos de 90 minutos el comportamiento de la temperatura ambiental en grados Celsius con un termómetro digital. También se registraron el diámetro del perianto en milímetros con un vernier digital, el número de flores con polen (dehiscencia de anteras), la apertura de los lóbulos del estigma y la producción de néctar. Con los datos obtenidos se realizaron diagramas que muestran el comportamiento de estas variables a través del tiempo.



Además, se marcaron botones florales y se siguieron las flores para determinar su longevidad.

#### *Relación polen/óvulo (P/O)*

La relación polen/óvulo se obtuvo dividiendo el número de granos de polen de cada flor entre su número de óvulos, para lo cual se colectaron 15 flores de 15 plantas distintas. Para estimar el número de óvulos, cada flor fue dividida longitudinalmente a la mitad con una navaja a la altura del ovario y se contó el número total de óvulos (Cruden 1977; Plasencia-López 2003). El número de anteras por flor se obtuvo cortando las flores en cuatro partes iguales, con el fin de contar el número de anteras de  $\frac{1}{4}$  de flor y multiplicarlo por cuatro (Cruden 1977; Plasencia-López 2003). Para la cuantificación de granos de polen, se tomaron seis anteras de cada flor, las cuales fueron fijadas en una solución de glutaraldehído y conservadas en el laboratorio de Ecología de la UAM-I a una temperatura de 4°C. Posteriormente, las anteras fueron enjuagadas tres veces con una solución de formaldehído y colocadas en glicerol, para ser divididas longitudinalmente en cuatro partes y contar en un microscopio óptico con un ocular 10X el número de granos de polen en  $\frac{1}{4}$  cuarto de antera y multiplicarlo por cuatro. Finalmente, el número de granos de polen obtenido por antera fue multiplicado por el número de anteras de cada flor (Cruden 1977; Quintanar com. pers.).

### ***Visitantes florales***

Para conocer los visitantes florales de *T. horripilus*, se hicieron observaciones en flores en anthesis. Los visitantes fueron colectados, fijados en alcohol al 75% y montados con alfileres entomológicos para su determinación en el laboratorio. A partir del análisis de estos datos se determinó la frecuencia de visitas y se realizó un análisis de correlación entre la temperatura y la frecuencia de visitas.

### ***Morfometría floral***

Para describir el síndrome y la morfometría floral de la especie, se colectaron 15 flores en anthesis, las cuales fueron conservadas en alcohol al 75%. En el laboratorio de Ecología de la UAM-I con un microscopio estereoscopio y un vernier electrónico, se determinaron los siguientes parámetros:

- Altura de la flor
- Diámetro del perianto
- Altura del estilo
- Numero de lóbulos del estigma
- Longitud de los lóbulos del estigma
- Longitud de los estambres
- Número de estambres
- Distancia mínima entre anteras y estigma
- Altura de la cámara nectarial
- Diámetro polar de la cámara ovárica

- Diámetro ecuatorial de la cámara ovárica
- Número de óvulos
- Número de granos de polen

### ***Germinación de las semillas a través del tiempo***

Para determinar los porcentajes de germinación de las semillas en condiciones de laboratorio, se realizaron colectas de frutos maduros durante el mes de junio de 2004. En laboratorio se obtuvo el peso en fresco y el peso en seco de los frutos. Se determinó el número de semillas por fruto y el peso medio de las semillas. Las semillas fueron almacenadas en bolsas de papel encerado a temperatura ambiente hasta la realización de los experimentos de germinación.

Todos los experimentos de germinación, se realizaron en el laboratorio de Dinámica de poblaciones y evolución de historias de vida del Instituto de Ecología, UNAM, en cámaras de germinación LAB-LINE Núm. 0900-10, con fotoperiodos de 10/14h luz/oscuridad. Los experimentos realizados fueron para determinar el fotoblastismo de las semillas (tratamientos de luz en semillas de 3 meses de edad) y para conocer el efecto de la temperatura en semillas de 3, 7 y 11 meses de edad.

En todos los experimentos, las semillas fueron sembradas sin pre-tratamiento previo (i.e. lavado, escarificado o desinfección) en cajas de petri (50 semillas por caja) con agar bacteriológico simple al 1%, con cuatro repeticiones por experimento.

Para el tratamiento de oscuridad (en semillas de 3 meses de edad), las semillas fueron sembradas en cajas petri e inmediatamente después de la siembra fueron cubiertas con papel aluminio. En el caso del tratamiento de luz, las cajas con fueron cubiertas con papel aluminio. Ambos tratamientos de luz fueron repartidas en dos distintas temperaturas:

- Aisladas de luz y a temperatura constante (25°C).
- Aisladas de luz y a temperatura alternante (15°/25°C).

Con respecto a los tratamientos de temperatura en semillas de 3, 7 y 11 meses, se tuvieron dos:

- Temperatura constante (25°C).
- Temperatura alternante (15°/25° C).

Las semillas de 7 y 11 meses de edad se obtuvieron de bolsas de tul enterradas en campo inmediatamente después de la cosecha de los frutos.

En todos los tratamientos se realizó el conteo de semillas germinadas cada dos días. Para los tratamientos de oscuridad el conteo de semillas se hizo bajo luz de seguridad (en cuarto oscuro), los registros se siguieron hasta que las semillas dejaron de germinar. La germinación de las semillas se consideró con la aparición de la radícula.

Las temperaturas utilizadas en esta investigación obedecen a las temperaturas máximas y mínimas registradas en el sitio de estudio y a los resultados de experimentos de germinación con semillas de diversas especies de cactáceas realizados por Rojas-Aréchiga *et al.* (1998). Se realizaron análisis de varianza con el programa NCSS 2000 para determinar posibles diferencias en los porcentajes de germinación entre tratamientos de temperatura y edades de las semillas.

## Capítulo V

### Evaluación del riesgo de extinción de la especie

Para determinar el riesgo de extinción de las poblaciones de *Turibinicarpus horripilus* en su hábitat natural, se aplicó el método anexo en la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001 para la evaluación del riesgo de extinción (MER), en el cual se evaluaron cuatro criterios: Criterio A, Amplitud de la distribución del taxón en México; Criterio B, Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón; Criterio C, Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón; y Criterio D, Impacto de la actividad humana sobre el taxón. De acuerdo al puntaje obtenido en la suma de estos criterios se ubicó el estatus de conservación de la especie (A, amenazada; Pr, sujeta a protección especial; o P, en peligro de extinción) (NOM-059-ECOL-2001).

## X. RESULTADOS

### Capítulo I

#### Localización y caracterización biótica y abiótica de las poblaciones

##### *Localización de poblaciones*

Se encontraron registradas dos poblaciones en la literatura, una cercana al poblado de San Juan Metztlán y otra en el poblado San Pablo Tetlapaya (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991a; Jiménez-Sierra & Reyes 2003; Milan 2004; Matias-Palafox & Jiménez-Sierra 2004).

La población que corresponde al poblado de Metztlán es también citada en el único ejemplar herborizado, colectado en 1989 por Hernández H. M. Núm. de colecta 1510, con J. Reyes-Santiago y G. Solano, depositado en el Herbario Nacional de México (MEXU) en el Instituto de Biología UNAM (Figura 8), dicha población se encuentra en el jardín botánico Museo de Plantas Vivas: "Santuario de cactáceas".

Como resultado de los recorridos realizados en la zona fue posible encontrar cuatro poblaciones más. La localización geográfica y las características de cada una se presentan en la Tabla 3.

De acuerdo al número de poblaciones encontradas, a la distancia entre ellas, a las densidades que presentan y a su especificidad de hábitat, se sugiere que *T. horripilus* es una especie rara con distribución restringida a la barranca de Metztlán.

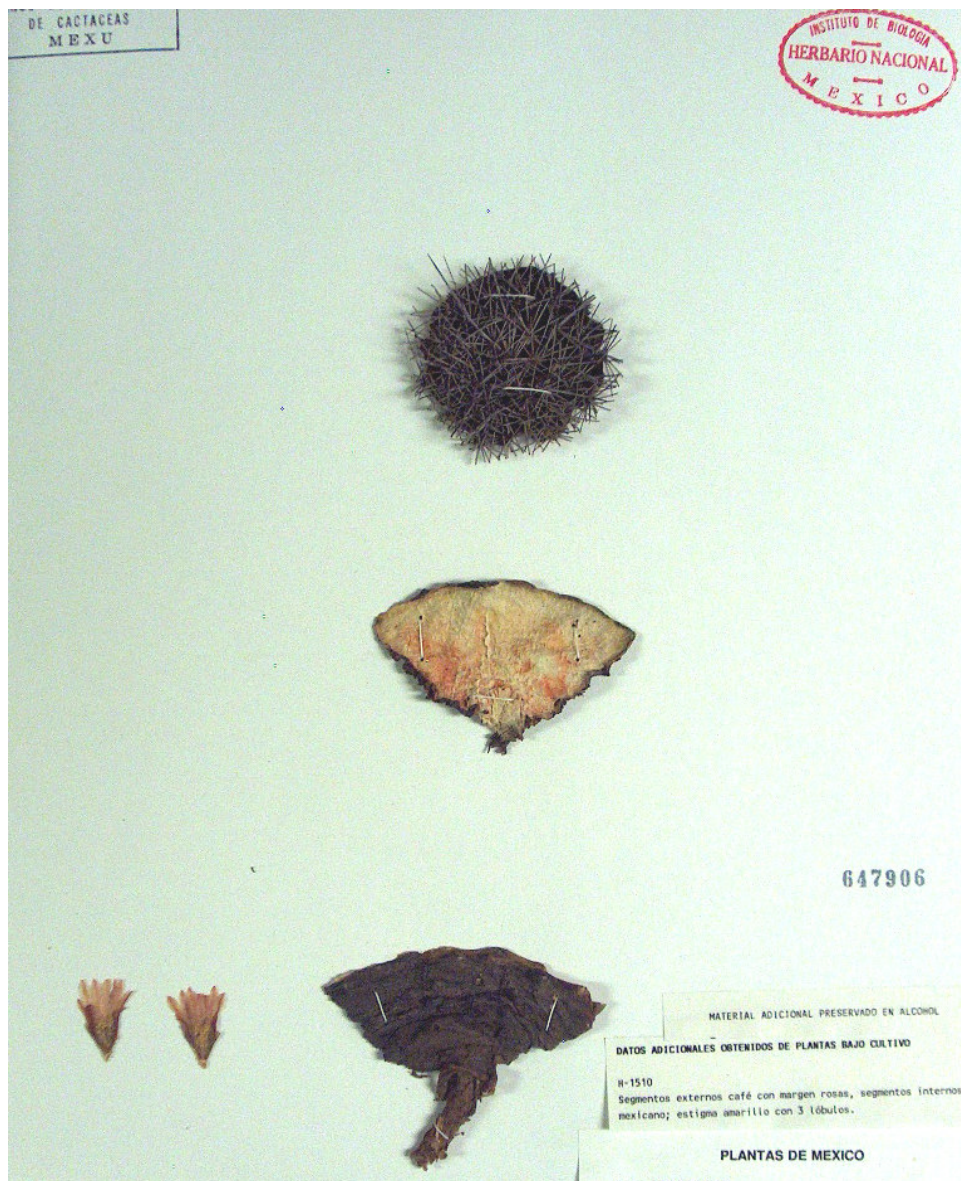


Figura 8. Ejemplar herborizado de *Turbinicarpus horripilus*. Herbario Nacional de México (MEXU) (Foto: Loraine Matias Palafox).

Con base en las características de accesibilidad y al número de individuos de las poblaciones, se eligió para la realización de este trabajo a la población localizada en el Museo de Plantas Vivas “Santuario de cactáceas”.



Localidad	Ubicación geográfica	Altitud (msnm)	Pendiente (°)	Área estimada	Densidad	Comunidad vegetal
<b>Santuario de Cactáceas</b>	20° 35.318'N 98° 45.468'W	1294	60	900	0.71 Ind/m <sup>2</sup>	Matorral xerófilo con crasicaules
<b>San Juan</b>	20° 35.30'N 98° 45.33'W	1303	70	1500	1.22 Ind/m <sup>2</sup>	Matorral xerófilo con crasicaules
<b>Jilotla</b>	20° 33.08'N 98° 44.22'W	1468	45	150	0.33 Ind/m <sup>2</sup>	Matorral xerófilo roseto filio
<b>San Cristóbal</b>	20° 35.95'N 98° 45.15'W	1260	40	70	---	---
<b>Almolon</b>	20° 43.727'N 98° 56.231'W	1020	30	250	0.08 Ind/m <sup>2</sup>	Matorral xerófilo con crasicaules
<b>San Pablo Tetlapaya</b>	20° 37.24'N 98° 52.50'W	1498	35	500	0.5 Ind/m <sup>2</sup>	Matorral xerófilo espinoso

Tabla 3. Características abióticas y bióticas de las poblaciones de *Turbinicarpus horripilus* en la barranca de Metztlán.

### **Características de la comunidad**

Para el censo de la comunidad en el “Santuario de cactáceas” se muestrearon 425 m<sup>2</sup>, en los cuales se encontraron nueve especies conformando la comunidad de cactáceas: *Astrophytum ornatum* (DC.) F. A. C. Weber ex Britton & Rose, *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff, *Coryphantha erecta* (Lem.) Lem., *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto, *Ferocactus glaucescens* Britton & Rose, *Mammillaria geminispina* Haw, *Mammillaria longimamma* DC., *Myrtillocactus geometrizans* (Martus) Console y *Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha, en donde *T. horripilus* conforma el 75% de dicha comunidad (Figura 9).

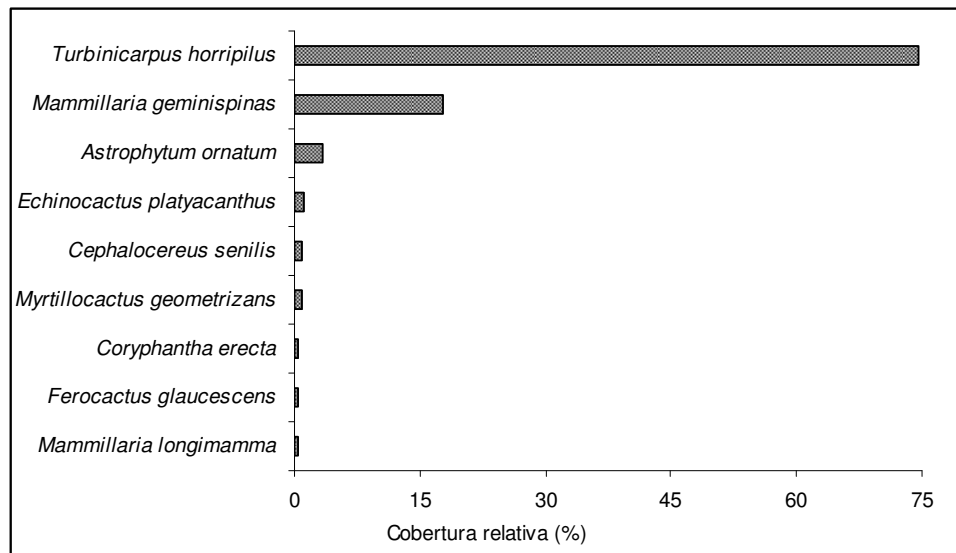


Figura 9. Cobertura de las especies que conforman la comunidad de cactáceas en el museo de plantas vivas “Santuario de cactáceas”

## Capítulo II

### Características demográficas

#### ***Densidad poblacional y distribución espacial de los organismos***

La densidad poblacional de *T. horripilus* en el área muestreada (425 m<sup>2</sup>), fue de 0.71 ind/m<sup>2</sup> ( $n=302$ ) y la distribución espacial de los individuos fue agregada ( $ID=14.11$   $P<0.05$ ).

#### ***Estructura poblacional***

La altura de los individuos osciló entre 2 y 40 cm. El 11% de éstos no presenta ramificaciones, el 25% posee alrededor de 10 ramas y los individuos más grandes presentan hasta 65 ramas (Figura 10).

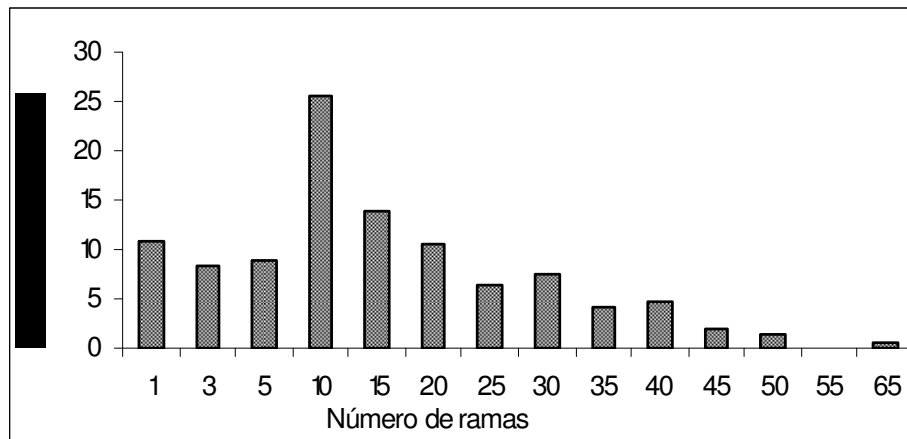


Figura 10. Distribución de frecuencias por el número de ramas de los individuos de *Turbinicarpus horripilus* en la población "Santuario de cactáceas" ( $n=302$ ).

La estructura de tamaños obtenida a partir de la categorización de los individuos con base en su cobertura total (cm<sup>2</sup>) muestra la ausencia de organismos pequeños ( $>0 \leq 2$  cm<sup>2</sup> de cobertura). La frecuencia por intervalos de

clase, presenta un patrón multimodal, en donde se aprecian picos con altas frecuencias, seguidos por categorías con bajas frecuencias (Figura 11).

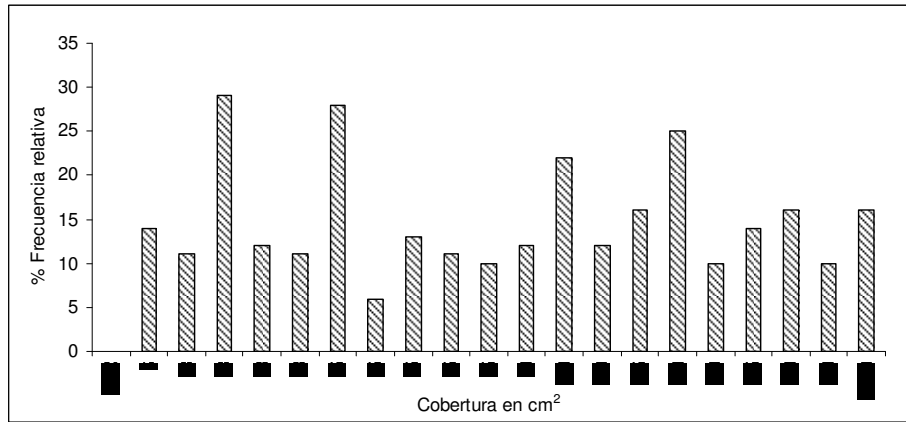


Figura 11. Distribución de tamaños de los individuos de *Turbinicarpus horripilus* en la población "Santuario de cactáceas" ( $n = 302$ ).

En cuanto a la asociación de *T. horripilus* a otras plantas, el 96% de los individuos pequeños suelen estar asociados a plantas de musgo y de los géneros *Selaginella* y *Mimosa* por lo que es probable que éstas sean importantes como plantas nodriza para el establecimiento de la especie en el sitio. El 50% de los individuos de más de 40 ramas no presentan asociación (Figura 12).

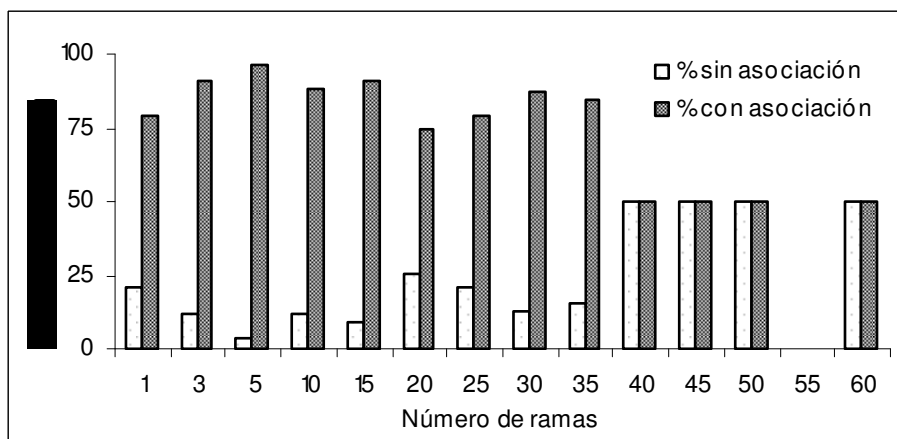


Figura 12. Asociación de *Turbinicarpus horripilus* a otras plantas ( $n = 302$ ) tomando en cuenta su ramificación.

## Capítulo III

### Crecimiento poblacional

Los diagramas de ciclo de vida resumen el crecimiento, desarrollo y reproducción de las especies. Para *Turbinicarpus horripilus* en la población “Santuario de cactáceas” el diagrama de ciclo de vida (Figura 13), se encuentra representado en una matriz de proyección que corresponde a un año de estudio (2005 a 2006). En su diagonal principal se encuentra la probabilidad de que un individuo permanezca en su misma clase durante el año de estudio, los valores por encima de la diagonal representan la probabilidad de que un organismo de una clase determinada regrese a una inferior (retrogresión), y los valores por debajo de la diagonal indican las probabilidades de progresión o paso de una categoría inicial a una más grande (crecimiento). El primer renglón de la matriz se refiere a la aportación que hacen los individuos de cada clase a través de las semillas producidas (Tabla 4).

La reproducción en “Santuario de cactáceas” empieza a partir de la categoría tres (adultos 1); la producción anual de semillas es elevada, siendo los adultos 2 los responsables del máximo aporte (17,955 semillas). La probabilidad de que una semilla se instale es de 0.57 (valor estimado de la germinación de semillas en laboratorio a 25° C) (Tabla 4).

El valor estimado de la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) para la población “Santuario de cactáceas” fue de 1.23, lo que indica que el tamaño poblacional está aumentando.

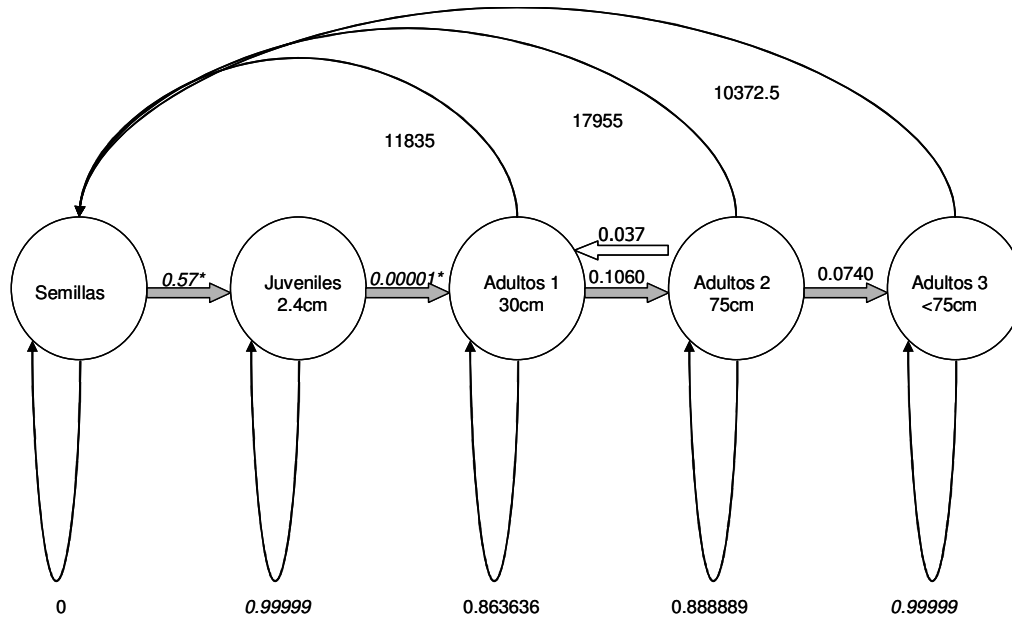


Figura 13. Ciclo de vida de *Turbinicarpus horripilus* en la población “Santuario de cactáceas”. Los nodos representan categorías de tamaño. Las líneas de color gris con dirección a la derecha indican la proporción de individuos que pasan de una categoría de tamaño inferior a una de tamaño superior. Las flechas de color blanco con dirección a la izquierda representan las regresiones de categorías de tamaño superior a categorías de tamaño inferior. Las flechas a la izquierda de color negro por arriba de los nodos, representan las contribuciones provenientes de la reproducción; y las flechas de color negro por debajo de los nodos representan la proporción de individuos que permanecen en una misma categoría de tamaño.

Tabla 4. Matriz de proyección poblacional para la población “Santuario de cactáceas” (1= semillas; 2= Juveniles; 3= Adultos 1; 4= Adultos 2; 5= Adultos 3).

2005-2006 (mm)	1	2	3	4	5
Semillas	0	0	11835	17955	10372.5
Juveniles 2.4	0.57	0.99999	0	0	0
Adultos 1 30	0	0.00001	0.8636364	0.037037	0
Adultos 2 75	0	0	0.1060606	0.8888889	0
Adultos 3 >75	0	0	0	0.0740741	0.99999

De acuerdo a los análisis de sensibilidad y elasticidad realizados a la matriz de proyección de la población “Santuario de cactáceas” (Tabla 5), el proceso demográfico con mayor contribución a la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) es la supervivencia ( $L$ ), seguido del crecimiento ( $G$ ) y la fecundidad ( $F$ ) (Tabla 6).

Tabla 5. Análisis de elasticidad realizado a la matriz de proyección poblacional de la población "Santuario de cactáceas" de 2005 a 2006.  
(1= semillas; 2= Juveniles; 3= Adultos 1; 4= Adultos 2; 5= Adultos 3)

2005-2006 (mm)	1	2	3	4	5
Semillas	0	0	0.056869	0.026435	0.004811
Juveniles 2.4	0.088114	0.374869	0	0	0
Adultos 1 30	0	0.088114	0.211352	0.002777	0
Adultos 2 75	0	0	0.034023	0.087367	0
Adultos 3 >75	0	0	0	0.004811	0.020457

Tabla 6. Procesos demográfico y su contribución a la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ).

Proceso demográfico	Contribución a $\lambda$
Supervivencia ( $L$ )	0.696822
Crecimiento ( $G$ )	0.215062
Fecundidad ( $F$ )	0.088114

## Capítulo IV

### Biología reproductiva

#### Fenología

El censo de flores y frutos se realizó de noviembre del 2004 a noviembre de 2005. En este periodo la producción de flores se presentó de noviembre a julio, con un máximo en el mes de marzo, que corresponde a la época más seca en la región (Figura 14). Sólo el 2% de los individuos de la población fueron no reproductores, éstos fueron plantas monopódicas. Los frutos tardan 10 días en madurar, la máxima cantidad de frutos se encontró en el mes de enero. Durante los meses de agosto y septiembre no se encontraron estructuras reproductivas. El número de organismos reproductores varía a lo largo del tiempo, así como el número de frutos producidos por individuo (Tabla 7).

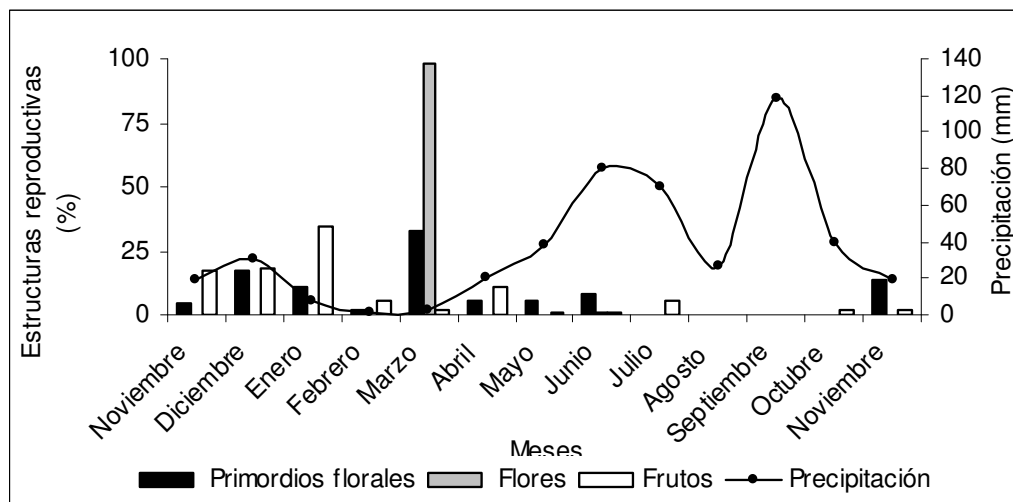


Figura 14. Porcentaje de estructuras reproductivas producidas mensualmente de noviembre de 2004 a noviembre de 2005 en la población "Santuario de Cactáceas" ( $n = 260$ ), y la precipitación promedio mensual en la región.



Tabla 7. Producción total de frutos en la población y promedio de frutos por individuo reproductor de *Turbinicarpus horripilus* en la población "Santuario de cactáceas".

Mes	Total de frutos producidos en la población	Promedio de frutos/ind. reproductivo/mes $\pm$ E. E.
Noviembre	411	1.62 $\pm$ 0.164
Diciembre	447	1.76 $\pm$ 0.151
Enero	841	3.31 $\pm$ 0.260
Febrero	141	0.56 $\pm$ 0.076
Marzo	48	0.19 $\pm$ 0.035
Abril	268	1.06 $\pm$ 0.111
Mayo	32	0.13 $\pm$ 0.032
Junio	13	0.05 $\pm$ 0.019
Julio	143	0.56 $\pm$ 0.074
Agosto	0	0
Septiembre	0	0
Octubre	42	0.17 $\pm$ 0.042
Noviembre	50	0.20 $\pm$ 0.043

Sin embargo existe una relación positiva entre el tamaño (número de ramas) y la cantidad de primordios florales ( $r_{(S)}=0.7$ ;  $P=0.0021$ ) y frutos producidos (coeficiente de correlación de Spermán  $r_{(S)}=0.22$ ;  $P=0.0039$ ).

### Sistema de cruce

Solo se obtuvieron frutos en dos de los seis tratamientos de polinización. La proporción de frutos producidos por tratamiento y su número de semillas (proporción de frutos y número de semillas por fruto), se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Proporción de frutos producidos y número de semillas producidas por fruto resultantes de los tratamientos de polinización realizados a las flores de *Turbinicarpus horripilus*.

Tratamiento floral	Proporción de frutos producidos	Número de semillas promedio producidas por fruto $\pm$ E.E.
Control	1	35 $\pm$ 3.22
Polinización cruzada artificial	0.8	33.5 $\pm$ 2.40
Autopolinización artificial	0	0
Autopolinización natural	0	0
Geitonogamia	0	0
Apomixis	0	0

Los resultados de los experimentos anteriores indican que el sistema de cruce en la población de *T. horripilus* es entrecruza obligada.

### Sistema de apareamiento

#### *Índice de entrecruza de Cruden (OIC)*

El diámetro del perianto de las flores mide en promedio 26.67 ( $\pm 1.08$  1 E.E.) mm, por lo que a este parámetro se le asignó un valor de tres. Las flores presentan hercogamia debido a que la distancia media entre las anteras y los lóbulos del estigma fue de 0.57 ( $\pm 0.15$ ) mm, valor diferente de cero, por lo que a este parámetro se le asignó un punto (Tablas 9 y 10).

Las flores de *T. horripilus* no presentan dicogamia. Las flores viven dos días, abren por la mañana cuando la temperatura oscila entre los 20°C y 24°C y cierran cuando comienza la tarde y empieza el descenso de la temperatura (de 24°C a 17°C) (Figura 15 A y C). En el primer día de vida de las flores, la apertura de los lóbulos del estigma y la dehiscencia de anteras (presencia de polen en las flores), iniciaron alrededor de las 11:00 horas. El 85% de las flores presentaron polen a las 12:30h, éste porcentaje disminuyó a partir de las 14:00h a un 50% y se mantuvo así hasta el término de la antesis. La máxima apertura de los lóbulos del estigma de las flores alcanzó su máximo a las 14:00 (0.36 mm  $\pm$  0.12), por lo que ambos sexos se mantuvieron activos durante la antesis (Figura 15 B). En el segundo día las estructuras sexuales inician su actividad a más temprana hora (09:30h) y al igual que en su primer día de vida ambos sexos mantienen su actividad hasta el término de la antesis (Figura 15 D). No se obtuvo néctar en las flores de *T. horripilus*. El valor asignado a este

parámetro fue cero (Tabla 9).

La suma de los parámetros evaluados para el índice de entrecruza de Cruden (1977), dan un valor de cuatro, por lo que el sistema de apareamiento propuesto es xenógamo obligado (Tabla 2), es decir, las flores necesitan del polen de otras plantas con genotipo distinto al de ellas para la formación de frutos y semillas, por ello se sugiere que la especie es autoincompatible.

Tabla 9. Evaluación del índice de entrecruza de Cruden (OIC) (1977), para *Turbinicarpus horripilus* en la población "Santuario de cactáceas".

Parámetro	Evaluación	Valor asignado
Diámetro del perianto	> 6mm	3
Hercogamia	0.57 ± 0.15	1
Dicogamia	Homogamia	0
Σ		4

#### *Relación polen/óvulo (P/O)*

Las flores de *T. horripilus* producen grandes cantidades de polen. El número promedio de granos de polen estimado por flor fue de 18,1591.87 ± 3,341.45. El número de óvulos por flor varía de 28 a 83, con un promedio de 55 ± 4.37. La relación polen/óvulo promedio obtenida fue de 3517,7523:1, lo que corresponde a al sistema de apareamiento xenógamo obligado (Tabla 2), lo que coincide con el lo obtenido en el sistema de entrecruza de Cruden (OIC).

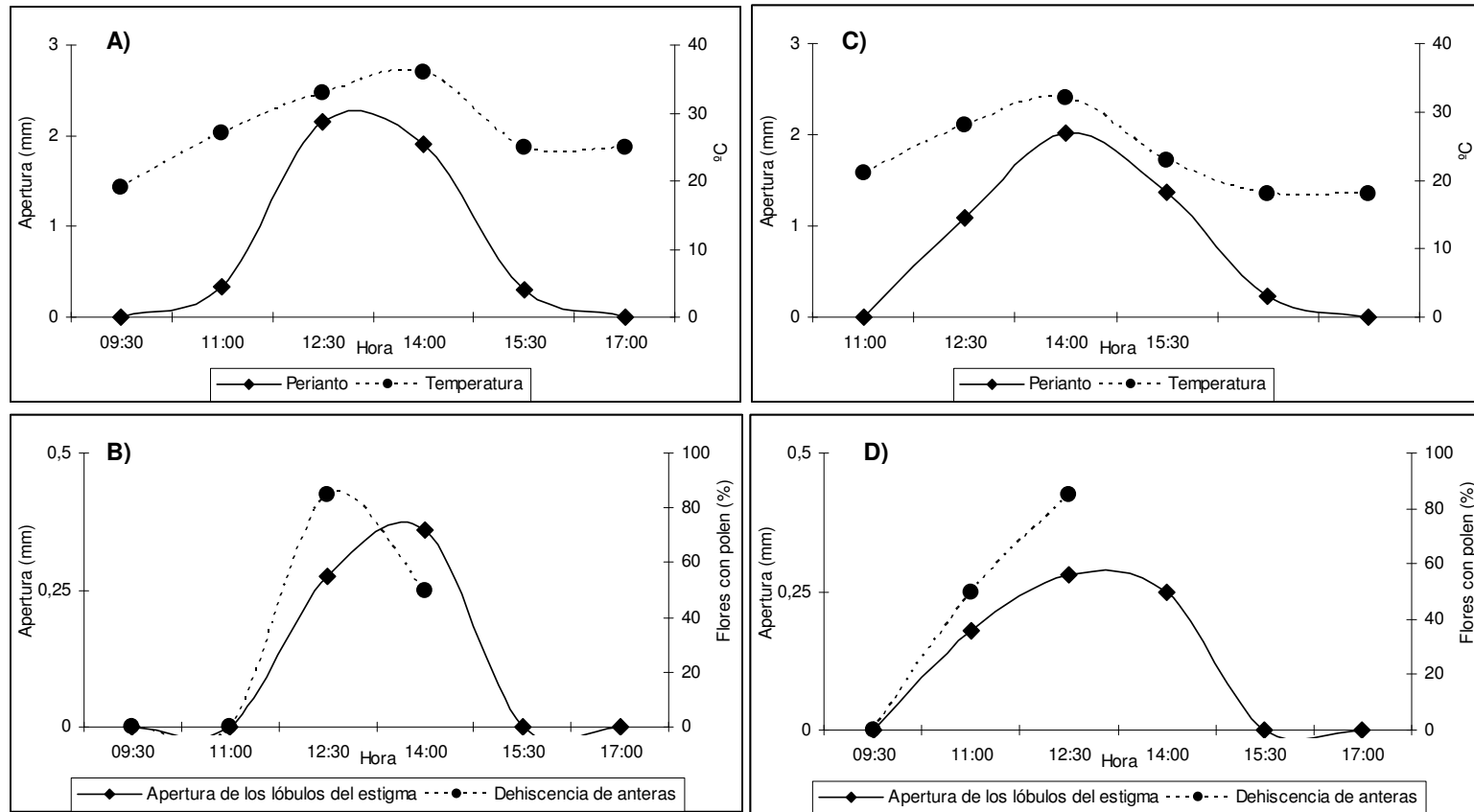


Figura 15. Comportamiento de las flores de *Turbinicarpus horripilus* en sus dos días de vida (13 y 14 de noviembre de 2004). A ) Comportamiento de la temperatura y la apertura del perianto en el primer día de antesis; b) Actividad reproductiva de los órganos masculino y femenino en el primer día de vida de las flores; C) Comportamiento de la temperatura y la apertura del perianto en el segundo día de antesis; D) Actividad reproductiva de los órganos masculino y femenino en el segundo día de vida de las flores ( $n=20$ ).

Visitantes florales

Los insectos que visitan las flores de *T. horripilus* pertenecen a los Ordenes Hymenoptera, Dyptera, Coleptera y Ortoptera. La actividad de éstos comenzó ha ser notable a partir de las 11:00h, cuando la temperatura osciló entre los 27°C y 28°C. La máxima actividad de insectos coincidió con las temperaturas más altas del día, dicha actividad disminuyó cuando la temperatura descendió a los 25°C y 18°C (Figura 16 A y B). La abundancia de insectos con respecto a los Ordenes varió con respecto a la hora (Figura 17 A y B).

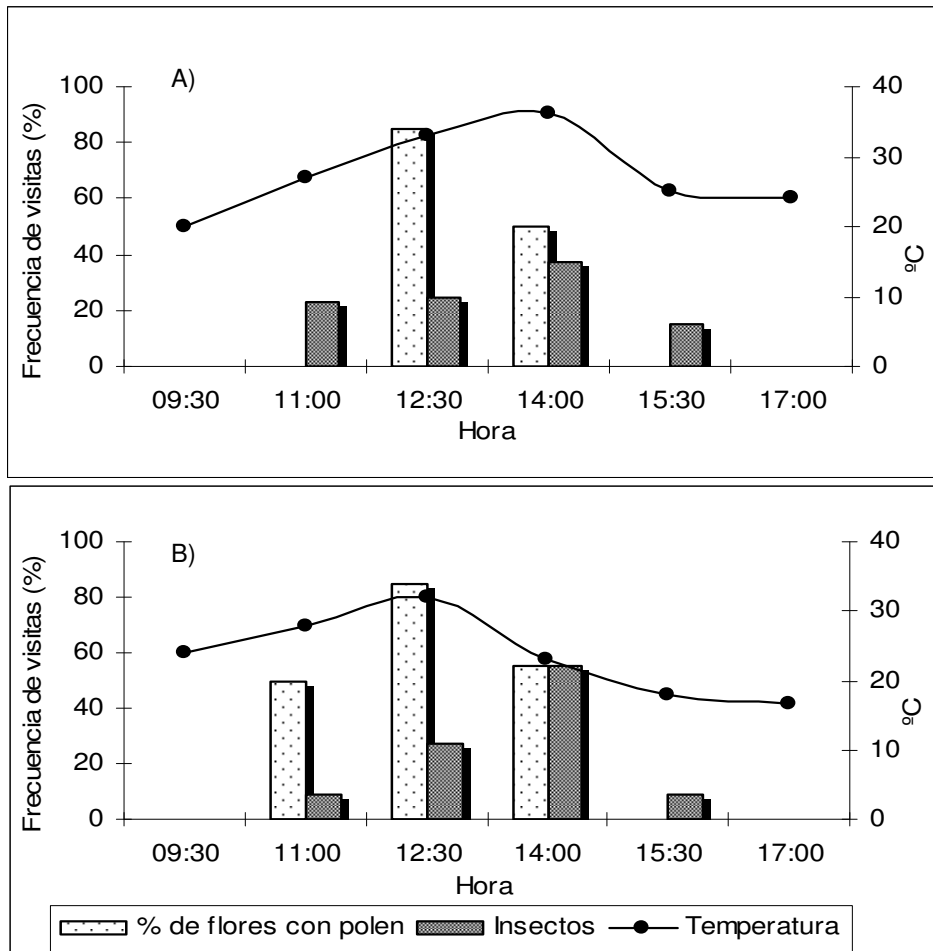


Figura 16. Frecuencia relativa de las visitas de insecto a las flores de *Turbinicarpus horripilus* en sus dos días de vida con respecto a la temperatura ambiental y la disponibilidad de polen. A) Primer día de vida; B) Segundo día de vida.

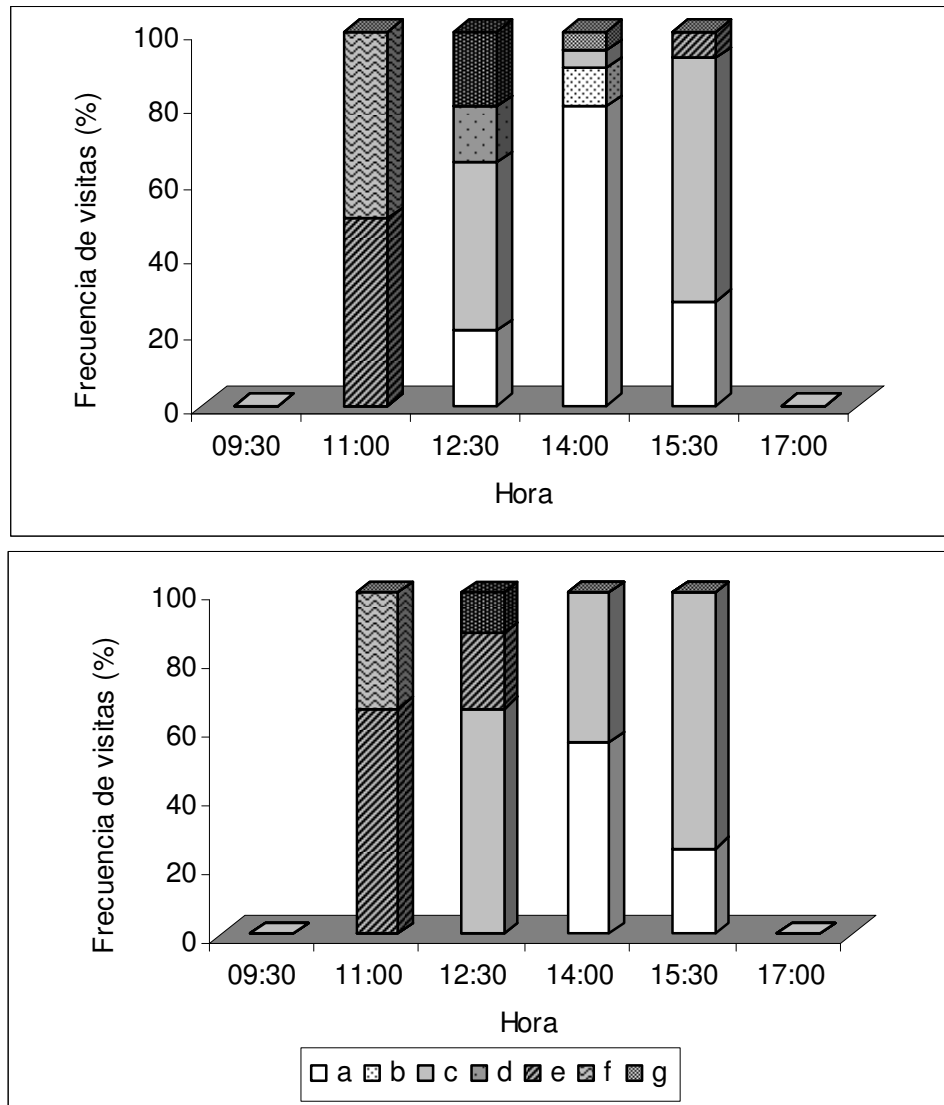


Figura 17. Frecuencia de visitas de insecto (%) a las flores de *Turbinicarpus horripilus*, en sus dos días de vida. a) Primer día de vida; b) Segundo día de vida. (Ordenes: Hymenoptera: a; Diptera: b; Coleoptera: c, d, e y f; y Orthoptera: g).

A pesar de que el polen estuvo disponible como recurso desde el inicio hasta el final de la antesis en ambos días (Figura 15 a y b), no se encontró relación entre éste y la frecuencia de visitas de insectos en las flores ( $r= 0.015$ ;  $t= 0.02$ ,  $P= 0.98$ ;  $r= 0.34$ ;  $t= 0.63$ ,  $P= 0.57$ ), por lo que su actividad se atribuyó a la temperatura ( $r= 0.88$ ;  $t= 3.24$ ,  $P= 0.0031$  y  $r= 0.82$ ;  $t= 2.12$ ,  $P= 0.008$ ).

Los organismos del Orden Hymenoptera (abejas), suelen aterrizar sobre los lóbulos del estigma, provocando un contacto eficiente entre su cuerpo lleno de polen de otras plantas y los lóbulos del estigma. Posteriormente permanecen en la flor de dos a tres segundos entre en los estambres y se marchan a otra flor. Estos organismos posiblemente son polinizadores efectivos (Figura 18 a). Las moscas (Orden Diptera), mostraron un comportamiento similar al de las abejas (Figura 18 b).

Se encontraron cuatro tipos de escarabajos (Orden Coleoptera) (Figura 18 c, d, e y f). Los de menor tamaño (Figura 17 c y d) suelen estar presentes durante toda la antesis, éstos provocan el movimientos de los estambres lo que hace que en ocasiones las anteras tengan contacto con los lóbulos del estigma, por lo cual podría haber autopolinización. Sin embargo; con base en los experimentos de polinización realizados con las flores se sabe que la autopolinización no sucede, por lo que estos insectos no son considerados polinizadores. Los de mayor tamaño (figura 18 e y f), aparecen al inicio y al final de la antesis y actúan como depredadores de las flores al igual que los organismos del Orden Ortoptera (saltamontes) (figura 18 g), todos suelen ramonear el perianto y devorar los estambres, el estilo y los lóbulos del estigma.

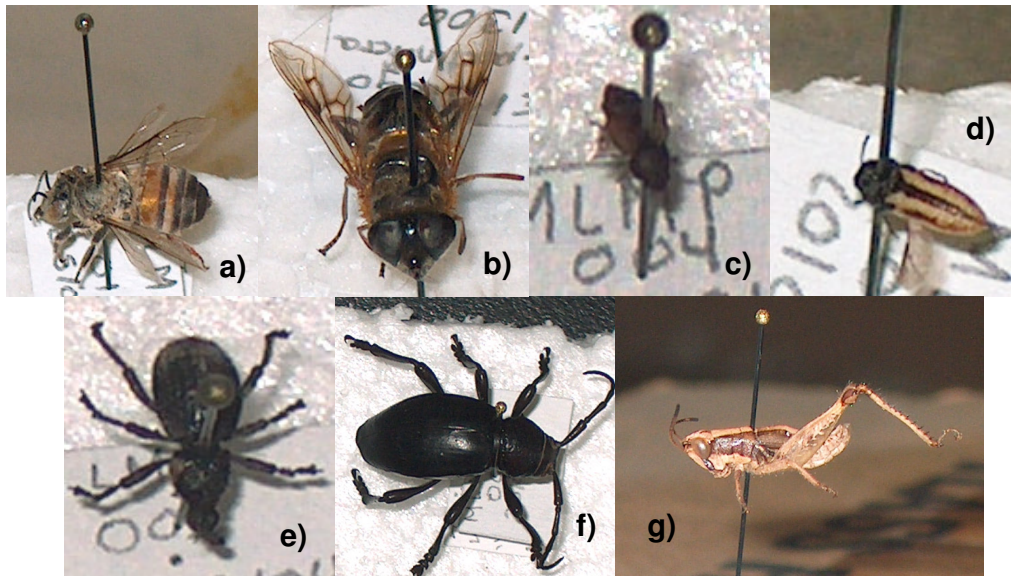


Figura 18. Visitantes florales de *Turbinicarpus horripilus* en la población “Santuario de cactáceas”. (Ordenes: Hymenoptera: a; Diptera: b; Coleoptera: c, d, e y f; y Orthoptera: g) (Fotos: Loraine Matias Palafox).

### Morfometría floral

Las flores de *T. horripilus* miden  $26.54 (\pm 0.70 \text{ 1E.E.})$  mm de alto, el diámetro del perianto es de  $26.67 (\pm 1.08)$  mm. Cada estambre mide en promedio  $5.88 (\pm 1.92)$  mm, estos se distribuyen dentro de la flor cubriendo una superficie de longitud promedio de  $12.44 (\pm 0.28)$  mm. El estilo floral mide  $12.66 (\pm 0.30)$  mm con 4 ó 5 lóbulos estigmáticos. Las flores poseen una cámara nectarial muy pequeña que apenas alcanza los  $0.85 (\pm 0.07)$  mm. La cámara ovárica mide  $2.21 (\pm 0.11)$  mm de diámetro ecuatorial por  $3.48 (\pm 0.14)$  mm de diámetro polar y ésta posee en promedio  $55.20 (\pm 4.37)$  óvulos. El número promedio de anteras por flor es de  $259.20 (\pm 18.26)$  mm (Tabla 10).



Tabla 10. Parámetros morfométricos de las flores de *Turbinicarpus horripilus* de la población "Santuario de cactáceas". \*= Valor utilizado en el cálculo del índice de entrecruza de Cruden (OIC) y la relación polen/óvulo (P/O).

Atributo floral	Promedio (mm) ± E.E.
Altura total	26.54 ± 0.70
Diámetro del perianto*	26.67 ± 1.08
Longitud del estilo	12.66 ± 0.30
Longitud de lóbulos del estigma	2.34 ± 0.14
Longitud del gineceo (estilo + lóbulos del estigma)	15.00 ± 0.33
Número de lóbulos del estigma	4.80 ± 0.11
Altura de estambres	5.88 ± 1.92
Longitud de los estambres en la flor	12.44 ± 0.28
Distancia entre estam. y lób. estig.*	0.57 ± 0.15
Número de anteras*	259.20 ± 18.26
Diámetro ecuatorial de la cámara ovárica	2.21 ± 0.11
Diámetro Polar de la cámara ovárica	3.48 ± 0.14
Número de óvulos*	55.20 ± 4.37
Número de granos de polen*	181591.87 ± 3341.45
Altura de la cámara nectarial	0.85 ± 0.07

#### Germinación de las semillas a través del tiempo

Los frutos de *T. horripilus* tardan en madurar alrededor de 10 días, su peso en fresco es de 0.10. (±0.004) g y contienen en promedio 37 (±2) semillas. De acuerdo a los experimentos realizados en ausencia de luz, éstas presentan fotoblastismo positivo, es decir, requieren de luz para germinar.

En cuanto a la edad, en el tratamiento de temperatura constante (25°C), las semillas de siete meses comenzaron a germinar a los tres días, mientras que las de tres y once meses a los cinco días. El tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para las semillas de tres meses de edad fue de 13.3 días, mientras que para las de siete y once meses disminuyó a 8.48 y 9.37 días, respectivamente. Los días en los que se estabilizó la germinación varió con respecto a la edad (33.3 días en semillas de tres meses, 27 días en semillas de siete meses y 17 días en semillas de once meses) (Figura 19). Los porcentajes finales de germinación tienden a disminuir con respecto a la edad de las semillas (Tabla

11). Sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre estos ( $F=3.62$ ;  $P= 0.07$ ) (Figura 20).

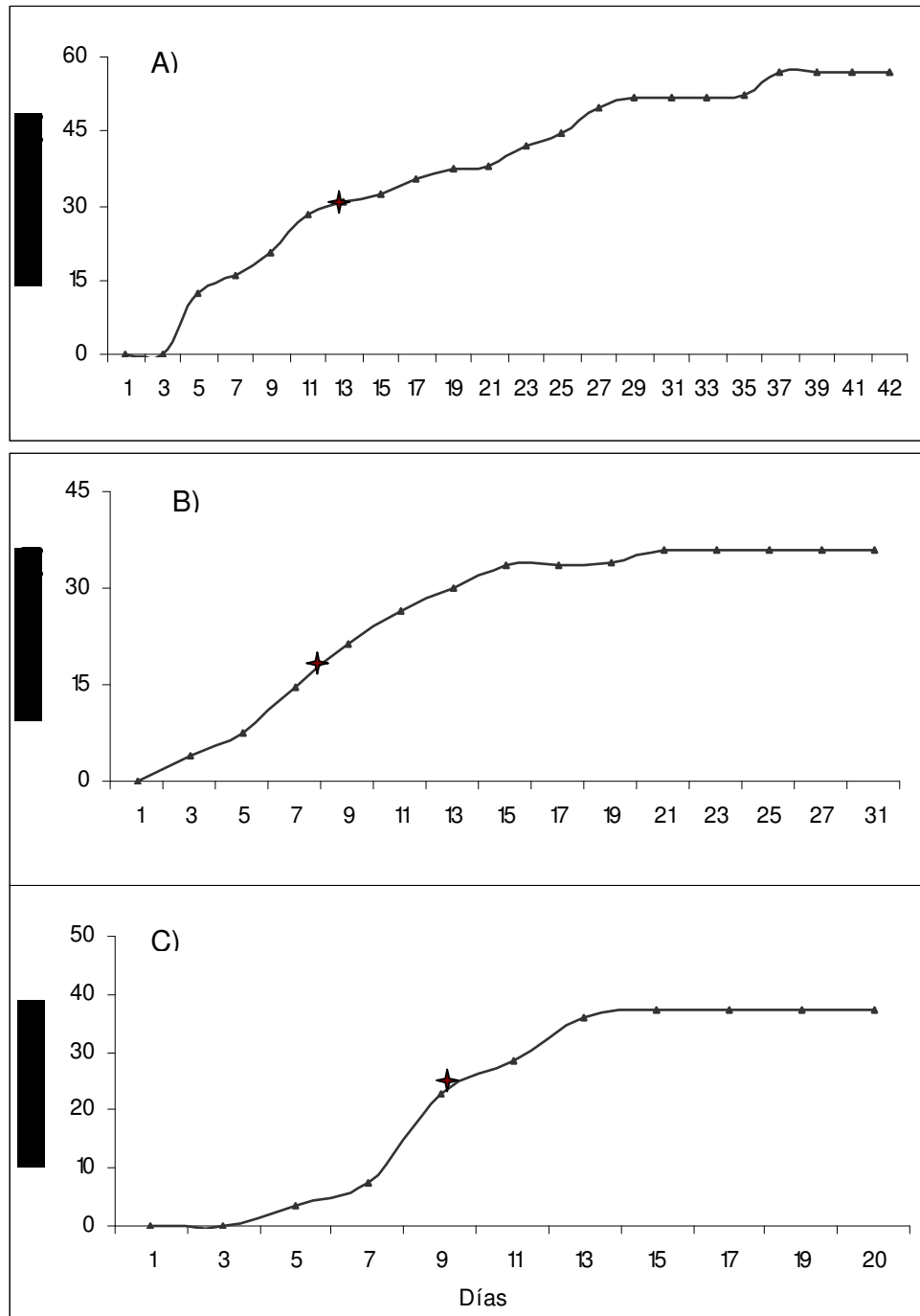


Figura 19. Germinación de las semillas a temperatura constante (25°C), de *Turbinicarpus horripilus* de la población "Santuario de cactáceas". ★ = Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ). A) Semillas de tres meses de edad; B) Semillas de siete meses de edad; C) Semillas de once meses de edad.

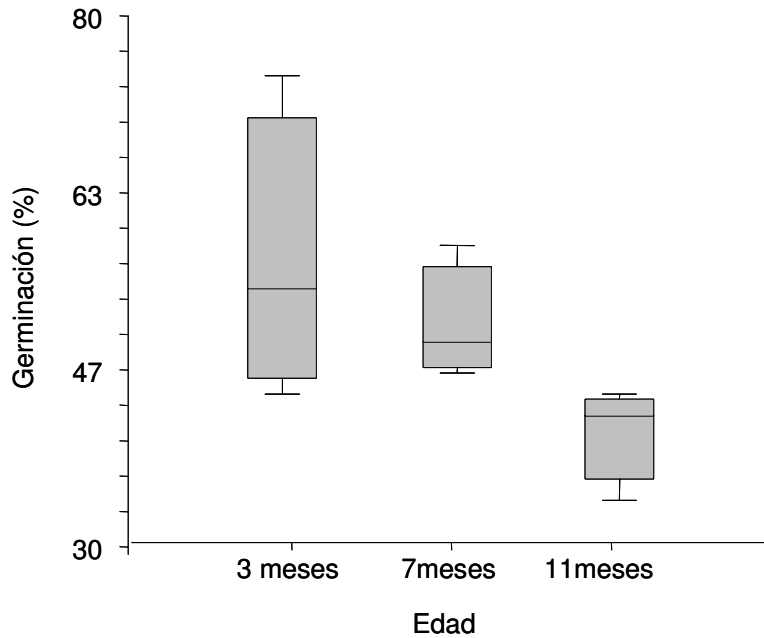


Figura 20. Porcentajes promedio de germinación de las semillas de *Turbinicarpus horripilus* de la población “Santuario de cactáceas” a temperatura constante (25°C). No se presentaron diferencias significativas entre edades en este tratamiento ( $F= 3.62$ ;  $P= 0.07$ ).

Para el tratamiento de temperatura alternante (15°/25°C), el inicio de la germinación fue igual que en el tratamiento de temperatura constante para las tres edades de las semillas (tres días en las semillas de siete meses y cinco días en las semillas de tres y once meses). El tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) fue de 14 días para las semillas de tres meses y de 9 días para las semillas de siete y once meses de edad. La germinación logró estabilizarse a los 35 días en semillas de tres meses, a los 18 días en semillas de siete meses y a los 15 días en semillas de once meses (Figura 21). Al igual que en el tratamiento de temperatura constante, los porcentajes finales de germinación tienden a disminuir (Tabla 9), encontrándose diferencias significativas entre el porcentaje final de las semillas de tres y once meses (Figura 22).

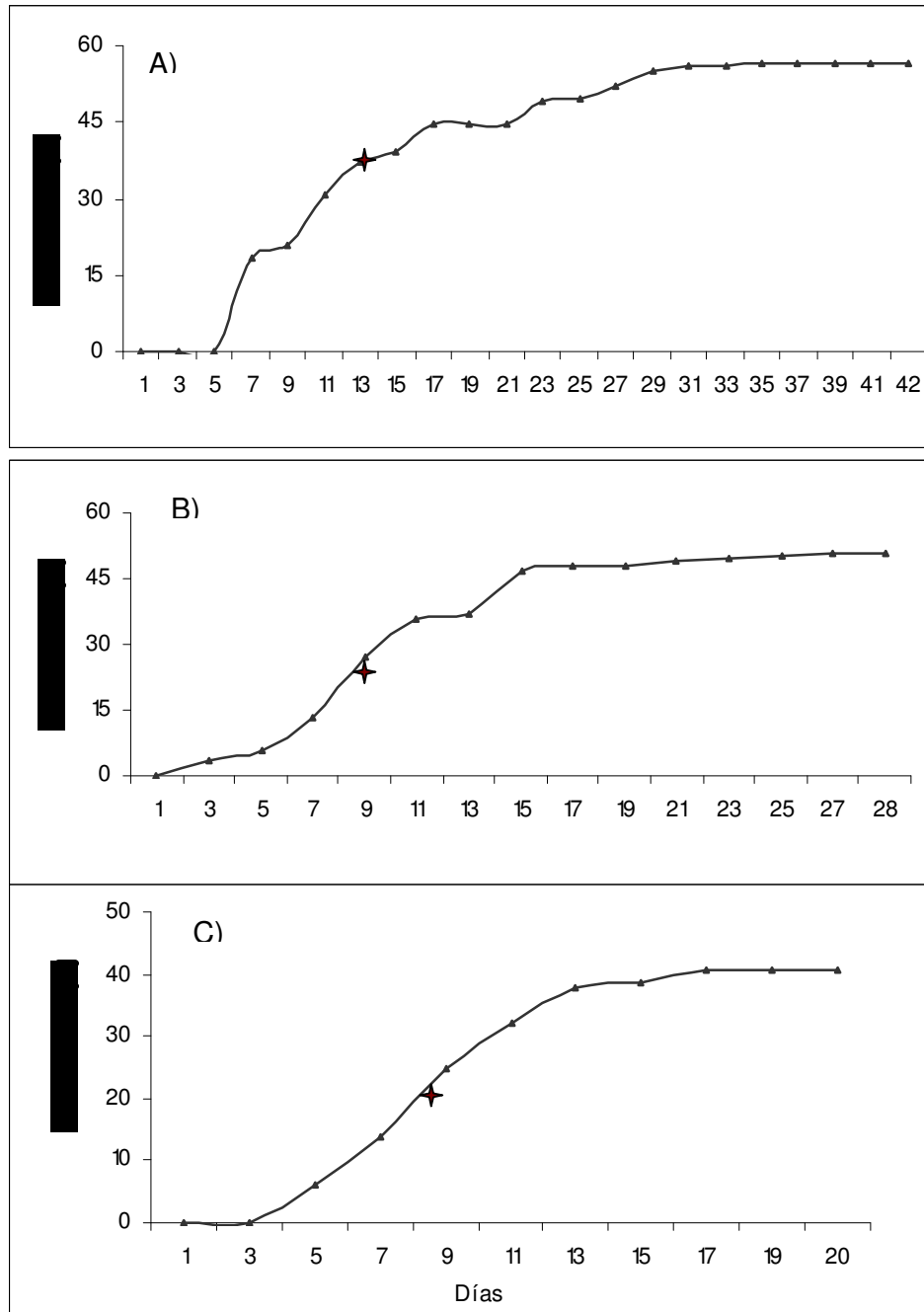


Figura 21. Germinación de las semillas a temperatura alternante (15°/25°C), de *Turbinicarpus horripilus* de la población "Santuario de cactáceas". ★ = Tempo medio de germinación ( $t_{50}$ ). A) Semillas de tres meses de edad; B) Semillas de siete meses de edad; C) Semillas de once meses de edad.

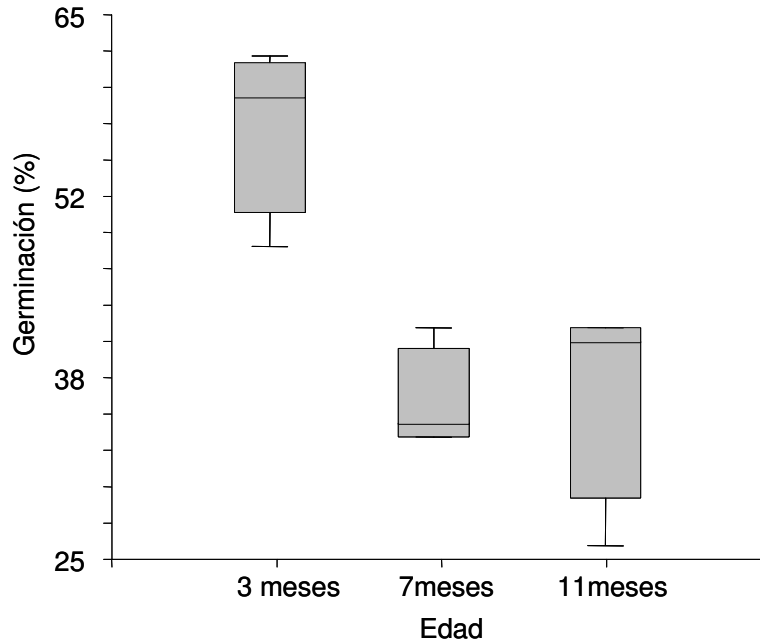


Figura 22. Porcentajes promedio de germinación de las semillas de *Turbinicarpus horripilus* de la población “Santuario de cactáceas” a temperatura alternante (15°/25°C). Se presentaron diferencias significativas entre el porcentaje de germinación final de las semillas de tres y once meses ( $F= 14.23$ ;  $P= 0.0016$ ).

Al comparar los resultados de la germinación a temperatura constante (25°C) y alternante (15°/25°C) por edad de las semillas, sólo se encontró efecto negativo en las semillas de siete meses de edad ( $F= 18.67$ ;  $P= 0.0049$ ) (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentajes promedio de la germinación de las semillas de *Turbinicarpus horripilus* en semillas de distintas edades. \*= Efecto negativo de la edad en el porcentaje de germinación en semillas de siete meses de edad.

Edad de las semillas	Germinación de semillas a 25°C (% ± E.E)	Germinación de semillas a 15°/25°C (% ± E.E)
3 meses	56.5 ± 7.50	57 ± 27.70
7 meses	50.5 ± 3.03*	36.5 ± 21.85*
11 meses	40.5 ± 2.56	37.5 ± 4.45

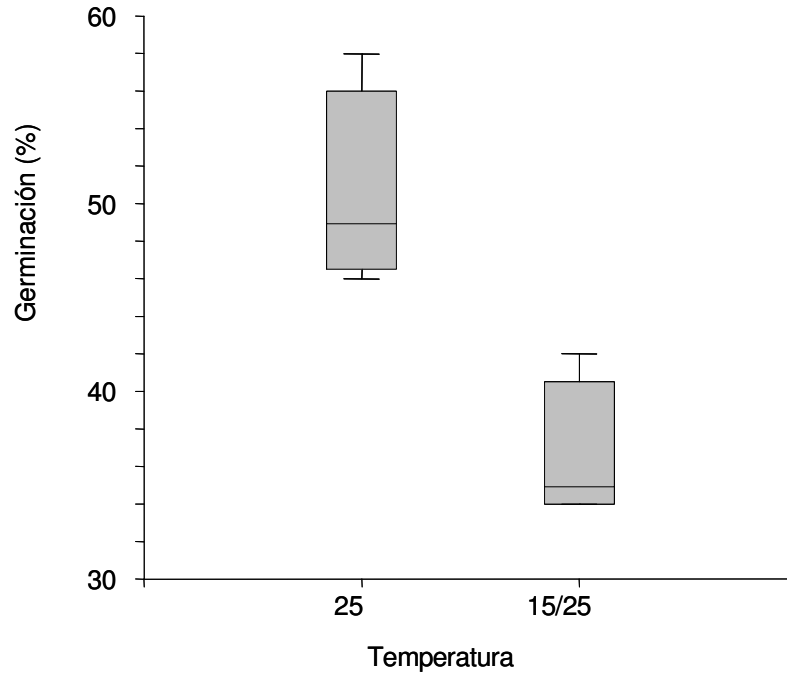


Figura 23. Porcentajes promedio de germinación de las semillas de *Turbincarpus horripilus* en la población "Santuario de cactáceas" de siete meses de edad en dos tratamientos de temperatura (constante 25°C y alternante 15°/25°C). Se presentaron diferencias significativas los porcentajes finales ( $F= 18.67$ ;  $P= 0.0049$ ).

## Capítulo V

### Evaluación del riesgo de extinción de la especie

En el **Anexo 1** se presenta el artículo publicado en la revista “Cactáceas y Suculentas Mexicanas” Volumen 51 número 4 del 2006; revista trimestral, de circulación internacional, registrada en los índices PERIODICA, LATINDEX Y CAB-ABSTRACTS, la cual contiene los resultados del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción (MER) para las poblaciones naturales de *Turbinicarpus horripilus*, cactácea microendémica de la barranca de Metztlán.

## XI. DISCUSIÓN

Las poblaciones de *Turbinicarpus horripilus* se distribuyen entre los 1020 y los 1498 msnm. La pendiente de cada una varía de los 30° (en Almolon) a los 70° (en San Juan). La población menos densa (0.08 Ind./m<sup>2</sup>) coincide con el sitio con menor pendiente (Almolon), mientras que la población con mayor densidad (1.22 Ind./m<sup>2</sup>) corresponde al sitio con mayor pendiente (San Juan). El tipo de vegetación presente en la mayoría de las poblaciones es el matorral xerófilo con crasucaules (en Santuario de cactáceas, San Juan y Almolon); aunque también se encontraron poblaciones asociadas al matorral xerófilo rosetófilo (en Jilotla) y al matorral xerófilo espinoso (en San Pablo Tetlapaya).

En la población “Santuario de cactáceas” la densidad fue de 0.71 ind./m<sup>2</sup> y el patrón de distribución espacial de los individuos fue agregado. Dicho patrón de distribución espacial coincide con el de otros cactus globosos (*Pelecyphora strobiliformis*, Hernández-Barrera 1998; *Stenocactus dichrocantus*, Huerta & Escobar 1998; *Mammillaria magnimamma*, Valverde *et al.* 1999; *Turbinicarpus pseudomacroechele*, Jiménez-Sierra *et al.* 2007). La conformación de éste patrón de distribución puede estar influido por la heterogeneidad de recursos en el suelo; o bien, tal vez obedezca al requerimiento de plantas nodrizas, proveedoras de recursos para su establecimiento en las etapas críticas de su ciclo de vida (plántulas y juveniles). El nodricismo ha sido atribuido a la asociación a arbustos, los cuales proporcionan protección contra depredadores, proveen mayor disponibilidad de nutrientes, reducen la evapotranspiración, existe una menor insolación y una menor oscilación de la



temperatura (García-Moya & McKell 1970; Jordan & Nobel 1981; Hutto *et al.* 1986; McAuliffe 1984; Nobel 1989; Valiente-Banuet *et al.* 1991a, 1991b; Arriaga *et al.* 1993; Godínez-Álvarez & Valiente-Banuet 1998; Mandujano *et al.* 1998; de Viana *et al.* 2001; Ortega-Baes 2001; Mandujano *et al.* 2002; Flores & Jurado 2003; Flores *et al.* 2004) Estas condiciones ambientales resultan ser favorables para el establecimiento de plántulas, por lo que en teoría se esperaría encontrar plántulas de *T. horripilus* bajo los doseles de los arbustos que cohabitan en la población. Sin embargo; la mayoría de los agregados se encuentran a cielo abierto, asociados a plantas de musgo y de los géneros *Selaginella* y *Mimosa* por lo que es probable que éstas sean quienes actúen como nodrizas en su establecimiento, pero no el posterior crecimiento.

En cuanto al número de ramas con respecto al tamaño de los individuos, sólo el 11% poseen una rama y el 78% de éstos se encuentran cohabitando con musgos y selaginelas. Los individuos más grandes alcanzan hasta 65 ramas y el 50% no presentan asociación a otras plantas. Con respecto a la cobertura, el diagrama de frecuencias muestra la ausencia de organismos menores a 2 cm<sup>2</sup> de cobertura, lo que indica el nulo establecimiento de nuevos organismos en la población. Sin embargo; se observa un patrón multimodal en el diagrama en donde las frecuencias altas posiblemente se deban a pulsos de reclutamiento de individuos. Éstos pulsos de reclutamiento son característicos de las zonas áridas y semiáridas (Esparza-Olguín *et al.* 2002) y se definen como momentos en el tiempo en los que se manifiestan las condiciones adecuadas (agua, luz, temperatura, entre otros) que propician la emergencia de plántulas en las poblaciones.

El valor estimado de la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda=1.23$ ) sugiere que la población está aumentando. No obstante; cabe señalar que el resultado de ésta estimación está influenciada por el valor propuesto en la categoría de plántulas, el cual fue obtenido de los porcentajes promedio de germinación en laboratorio. Sin embargo el valor de la tasa finita de crecimiento es válido ya que es una primera aproximación de lo que sucedería en la población si se hubiese registrado germinación y establecimiento de nuevos organismos en el sitio y si las condiciones ambientales actuales permanecieran. De acuerdo al análisis de elasticidad realizado a la matriz de proyección, el proceso demográfico que más aporta a la tasa de crecimiento es la supervivencia ( $L= 0.696$ ), en particular la de los juveniles. La fecundidad es quien menos contribuye al valor de la tasa de crecimiento ( $F= 0.088$ ). Sin embargo los adultos 2 son quienes proporcionan el mayor aporte de semillas a la población (Figura 24). De acuerdo a estos resultados se observa que la dinámica poblacional de *T. horripilus* es muy similar a la de otras cactáceas globosas como *Mammillaria magnimamma*, *Mammillaria crucigera* y *Coryphanta robinsorium* (Esparza-Olguín *et al.* 2001; Contreras & Valverde 2002).

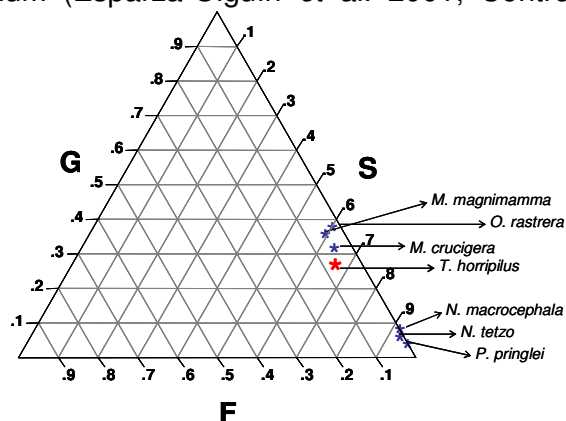


Figura 24. Ordenación triangular de los valores de supervivencia (S), crecimiento (G) y fecundidad (F) de *Turbinicarpus horripilus*, dicha ordenación es muy similar a la de otras cactáceas globosas (*Mammillaria magnimamma* y *Mammillaria crucigera*, Mandujano & Rosas-Barrera 2002; Esparza-Olguín *et al.* 2001; Contreras & Valverde 2002), que se caracterizan por tener valores altos en la supervivencia y valores pequeños en la fecundidad.

La producción de flores y frutos se mantuvo casi durante todo el año de muestreo, a excepción de agosto y septiembre de 2005. La máxima producción de flores se presentó en marzo de 2005 y ésta coincidió con la época más seca de la región. La máxima producción de frutos fue de noviembre de 2004 a enero de 2005, época en la que las lluvias empiezan a escasear (en promedio 20 mm de precipitaron pluvial) y se hace manifiesta la época mas fría de la zona (en promedio 16°C), por lo que posiblemente estas condiciones ambientales no sean las más favorables para la germinación de las semillas disponibles; afectando así los procesos de regeneración poblacional, los cuales involucran el crecimiento poblacional por medio del establecimiento de plantas provenientes de la germinación de semillas (Esparza-Olguín & Valverde 2003). Otro máximo en la producción de frutos se presenta en el mes de abril, posiblemente como resultado de la elevada producción de flores en el mes de marzo. Sin embargo; se hubiese esperado un mayor número de frutos en este mes. Ésta “escasez” de frutos posiblemente se deba a un aumento en la depredación de los mismos o bien a un bajo éxito reproductivo.

El comportamiento fenológico de *Turbinicarpus horripilus* es similar al de otras especies globosas (*Melocactus curvispinus*, Nassar & Ramírez 2004; *Melocactus violaceus*, Zamith & Rubio-Scarano 2004; *Mammillaria geminispina*, *Astrophytum ornatum* (obs. pers.) *Pelecyphora strobiliformis*, Hernández-Barrera 1998), y al de otras especies de cactáceas en general (*Stenocereus griseus*, *Cereus hexagonus*, *Monvillea cf. Smithiana* (Ruíz *et al.* 2000) y *Pilosocereus arrabidae* (Zamith & Rubio-Scarano 2004). Sin embargo difiere con otras especies del género como *T. pseudomacrolele* y *T. valdezianus*, las

cuales solo florecen de febrero a marzo y fructifican de marzo a abril (Godínez-Álvarez *et. al.* 2002; Jiménez-Sierra *et al.* 2007; López-González com. pers.).

El 98% de los individuos de la población son quienes realizan la actividad reproductiva. En cuanto a la producción de estructuras reproductoras con respecto al número de ramas de los individuos, se hubiese esperado que a mayor número de éstas, la producción de estructuras reproductoras fuese mayor. Sin embargo dicha relación no existe. Las plantas que poseen de 1 a 15 ramas son quienes más se reproducen.

De acuerdo a los experimento de polinización realizados con flores, en donde sólo se obtuvieron frutos de flores polinizadas manualmente con polen de plantas distintas (polinización artificial) y de flores no manipuladas (control), el sistema de cruce en la población de *Turbinicarpus horripilus* es entrecruza.

La producción de frutos y semillas obtenidas de los experimentos fue mayor en las flores polinizadas artificialmente que en las no manipuladas. Sin embargo; no se presentaron diferencias significativas en el número de semillas de éstos, lo cual indica que los polinizadores están siendo eficientes en la polinización de las flores.

La nula producción de frutos en el resto de los tratamientos florales (autopolinización artificial, autopolinización manual, geitonogamia y apomixis), sugiere la posible existencia de mecanismos de autoincompatibilidad

gametofítica, ya que no se encontraron morfos florales (McClure *et al.* 2000; Franklin-Tong & Franklin 2003; Sijacic *et al.* 2004), por lo que sería interesante la realización de experimentos para la observación del crecimiento de tubos polínicos en flores autopolinizadas, con el fin de conocer y determinar el proceso de la autoincompatibilidad en esta especie.

De acuerdo al comportamiento floral (ausencia de dicogamia) y a sus características morfométricas (diámetro floral, presencia de hercogamia y proporción P/O), el sistema de apareamiento en la población de *Turbinicarpus horripilus* es xenógamo obligado, por lo que las flores necesitan que vectores biológicos (abejas principalmente) depositen en sus estigmas polen con genotipo distinto al de ellas para lograr la fecundación (Cruden 1977). Desafortunadamente, no existen estudios de este tipo para el resto de las especies del género. Sin embargo este comportamiento en el sistema de apareamiento difiere con el de otras especies de cactáceas globosas, como *Dolicothele longimamma* y *Mammillaria pectinifera* (Jiménez-Sierra com. pers.) y con el de otras cactáceas con otras formas de crecimiento, como *Echinocactus platyacanthus*, *Opuntia rastrera*, *O. bradtiana*, *O. lindheimeri*, *O. discata*, *O. pheacantha*, *O. brasilaris* para quienes se ha reportado un sistema xenógamo facultativo (Grant *et al.* 1979; Mandujano *et al.* 1996; Plasencia-López 2003; Jiménez-Sierra com. pers.).

La actividad de los insectos durante la antesis floral obedeció a la temperatura y no a la disponibilidad de recursos (polen). No obstante; es importante señalar que de los cuatro grupos de insectos visitantes

(Hymenopteros, Dypteros, Coleopteros y Ortopteros), los Hymenopteros (principalmente abejas), actuaron como polinizadores eficientes.

El que las flores de *Turbinicarpus horripilus* sean polinizadas eficientemente por abejas, coincide con las características morfométricas de estas, por lo que las flores presentan síndrome floral melitófilo (Grant *et al.* 1979; Mandujano *et al.* 1996; Del Castillo 1999; Piña 2000; Reyes-Agüero *et al.* 2006).

Las semillas de *T. horripilus* presentan fotoblastismo positivo, es decir, requieren de luz para germinar. Este resultado, aunado a la alta vulnerabilidad a la erosión del suelo debido a la pendiente de las laderas donde habita, representa una gran barrera para el éxito reproductivo, el cual finaliza con la germinación y el establecimiento de nuevos organismos en la población, ya que el constante deslave del suelo provoca que las semillas queden sepultadas, lo que impide su germinación. Además de esto los porcentajes de germinación tienden a disminuir a través del tiempo; es decir, no son formadoras de bancos de semillas, lo que hace aun más complejo el reclutamiento.

El decremento en los porcentajes de germinación a través del tiempo en las semillas de *T. horripilus* es similar al reportado para *T. swobodae* y *T. valdezianus*, pero contrasta con el encontrado en *T. lophophoroides* y *T. pseudopectinatus*, las cuales presentan latencia cuando son recientes y pierden dicha latencia con el paso del tiempo (Flores *et al.* 2005).

*Turbinicarpus horripilus* es una especie con aparente propagación clonal debido a la ramificación que presenta. No obstante, a pesar de que durante los dos años de estudio en frecuentes ocasiones se observó el desprendimiento de ramas por diversos factores (deslave del suelo principalmente), las ramas desprendidas nunca tuvieron la capacidad de instalarse nuevamente como un nuevo organismo en la población, esto posiblemente a la falta de sustrato. Es por esto que se considera que esta forma de regeneración no se presenta en la especie, a diferencia de otras cactáceas de forma de crecimiento similar (Carrillo-Ángeles *et al.* 2005).

A pesar de que el valor de la tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda=1.23$ ) muestra que la población “Santuario de cactáceas” va en aumento, la evaluación del riesgo de extinción de las poblaciones de *T. horripilus* a través del MER (ver **Anexo 1**), sugiere que la especie debe ser incluida en la NOM-059-ECOL-2001 en la categoría de en Peligro de Extinción (P).

Existen aun un gran número de inquietudes acerca de la dinámica poblacional de *T. horripilus*, algunas de ellas son la estimación de las tasas finitas de crecimiento poblacional en el resto de las localidades encontradas y la exploración en la genética poblacional, la cual posiblemente podría confirmar o no la regeneración poblacional por medio del desprendimiento de ramas.

Es evidente que este trabajo es solo una pequeña aportación a la biología de esta especie. Sin embargo; la información aquí presentada fue de gran utilidad para la toma de decisiones inmediatas acerca de la conservación

de *Turbinicarpus horripilus* en su ambiente natural.



## XII. CONCLUSIONES

- ❖ *Turbinicarpus horripilus* es una especie rara y microendémica de la barranca de Metztlán en el Estado de Hidalgo, esto debido a su distribución restringida, a la especificidad de hábitats aunque en los escasos lugares en donde habita es abundante (densidades de 0.08 a 1.22 Ind./m<sup>2</sup>).
- ❖ La población de *Turbinicarpus horripilus* en la localidad “Santuario de cactáceas” esta creciendo ( $\lambda=1.23$ ). La permanencia de los juveniles es la categoría que más aporta a este valor, por lo que un cambio en la estabilidad de ésta traería consecuencias críticas a la población. La categoría adultos 2 es la más importante en el proceso de reproducción, por lo que es importante poner atención en la dinámica de estos individuos.
- ❖ La reproducción permaneció casi todo el año (noviembre de 2004 a noviembre de 2005), la máxima producción de flores y frutos fue en marzo y enero.
- ❖ El sistema de cruce en la población estudiada es entrecruza, a través de un sistema de apareamiento xenógamo obligado.
- ❖ Los Hymenopteros actúan como polinizadores efectivos, mientras que los Coleopteros y

- ❖ Ortopteros como depredadores de primordios florales y de las flores.
  
- ❖ La morfometría floral sugiere que las flores de *Turbinicarpus horripilus* poseen síndrome de polinización melitófilo.
  
- ❖ Las semillas son fotoblásticas positivas y los porcentajes de germinación tienden a disminuir con el tiempo, esto sugiere que las semillas de ésta especie no son capaces de formar bancos de semillas en el suelo
  
- ❖ *Turbinicarpus horripilus* es una especie que debe ser considerada por la legislación mexicana (NOM-059-ECOL-2001), en la categoría de en Peligro de Extinción.

### XIII. LITERATURA CITADA

Arriaga L., Y. Maya, S. Díaz & J. Cancino. 1993. Association between cacti and nurse perennials in a heterogeneous tropical dry forest in north western Mexico. *Journal of Vegetation Science* **4**:349-356.

Begon M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1999. *Ecología*. 3 ed. Omega. Barcelona.

Bianchi M. B., P. E. Gibbs, D. E. Prado & J. L. Vedprini. 2000. Studies on the breeding systems of understory species of a Chaco woodland in the NE Argentina. *Flora (London)*. **195**:339-348.

Bowers J. E. 1996. Growth rate and life span of a prickly pear, cactus, *Opuntia engelmannii*, in the northern Sonoran desert. *Southw. Naturalist* **41**:315-318.

Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991a. Las cactáceas de México. Vol. II. Universidad Autónoma de México. México, D.F.

Bravo-Hollis H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991b. Las cactáceas de México. Vol. III. Universidad Autónoma de México. México, D.F.

Bravo-Hollis H. y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las

cactáceas. Fondo de cultura y economía. México D. F.

Carrillo-Ángeles I., J. Golubov, M. Rojas-Aréchiga & M. Mandujano. 2005. Distribución y estatus de conservación de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. **50**:36-55.

Caswell H., R. M. Nisbet, A. M. de Ross & S. Tuljapurkar. 1996. Structured population models: many methods a few basic concepts. En Tuljapurkar S. & H. Caswell (Eds.). *Structured-population models in marine, terrestrial and freshwater system*. Chapman & Hall.

Cervantes R. M. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto de Geografía, UNAM. México, DF.

Cervantes-Corral F., A. Reyes, P. Casillas-Álvarez, M. Palacios-Soto. 2003. Demografía floral y sistemas de reproducción de *Peniocereus striatus* (Brandegge) F. Buxbaum, en Sinaloa. IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Guadalajara, Jalisco. México.

Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro. CONABIO. Instituto de Biología, Sierra Madre. México, D.F.

CITES. 1990. Appendices I, II and III to the Convention on International Trade in Endangered Species of wild Fauna and Flora. U.S. Department of the Interior

Washington, D.C.

Clark R. 2004. Estructura clonal, demografía y biología reproductiva de *Stenocereus eruca* (Cactaceae) en las planicies de Magdalena, B.C.S. Tesis de Doctorado en Ciencias. Instituto de Ecología UNAM. México, D.F.

Cochran M. E. y S. Ellner. 1992. Simple methods for calculating age-based life history parameters for stage-structured populations. *Ecological Monographs* **62**:345-364.

CONABIO. 2003. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, México. Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas. 202pp.

Contreras C. & T. Valverde. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal of Arid Environments* **51**:89-102.

Cortes-Figueira J. E., J. Vasconcellos-Neto, M.A. Garcia & A.L.T. Souza. 1994. Saucocory in *Melocactus violaceus* (Cactaceae). *Biotropica* **26**: 295-301.

Cruden R. W., S. M. Hermann & S. Peterson. 1983. Patterns of nectar production and plant-pollinator coevolution. En : *The biology of nectaries*. Bentley B. y T. Elias (eds.). Columbia. University Press. New York.

Cruden R. W. 1977. Pollen/ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution* **31**:32-46.

Del Castillo R. F. 1999. Memoria VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Juan Rogelio Aguirre Rivera y Juan Antonio Reyes Agüero (eds.). S.L.P., México.

De Viana M. L., S. Sühling & B. F. Manly. 2001. Application of randomization methods to study the association of *Trichocereus pascana* (Cactaceae) with potencial nurse plants. *Plant Ecology* **156**:193-197.

Eguiarte L. E., J. Nuñez-Farfan, C. Domínguez & C. Cordero. 2003. Biología evolutiva de la Reproducción de las plantas. En Núñez-Farfan, J. & L. E. Eguiarte (Comp): La Evolución Biológica. Ciencias revista de difusión de la Facultad de Ciencias, Instituto de Ecología, UNAM y CONABIO. México, D.F.

Esparza-Olguín L., T. Valverde & E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation* **103**:349–359.

Esparza-Olguín L. y T. Valverde. 2003. Estudio comparativo de la fenología de tres especies de *Neobuxbaumia* que difieren en su nivel de rareza. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. **48**:68-83.

Flores J. y E. Jurado. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* **14**: 911-916.

Flores J., O. Briones, A. Flores y S. Sánchez-Colón. 2004. Effect of predation and solar exposure on the emergence and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments* **58**: 1-18.

Flores J., A. Arredondo y E. Jurado. 2005. Comparative seed germination in species of *Turbinicarpus*: An endangered cacti genus. *Natural Areas Journal* **25**: 183-187.

Flores J, Jurado E, Arredondo A. 2006. Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, México. *Seed Science Research* **16**: 149-155.

Franklin-Tong N. & F. C. Franklin. 2003. Gametophytic self-incompatibility inhibits pollen tube growth using different mechanisms. *Trends in Plant Science* **8**: 598-605.

García-Moya E. & M. C. Mckell. 1970. Contribution of shrubs in the economy of a desert-wash plant community. *Ecology* **51**: 81-88.

Gibson A.C. & P.S. Nobel. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press. Cambridge. MA. USA.

Godínez-Alvarez H., A. Valiente-Banuet & L. Valiente-Banuet. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar

cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacan Valley. Mexico. Canadian Journal of Botany **77**:203-208.

Godínez-Álvarez H. 2002. Evaluación de dos cactáceas mexicanas incluidas en el Apéndice I de CITES. UNAM. México, D.F.

Godínez-Álvarez H. T. Valverde, P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the cactaceae. The Botanical Review. **69**:173-203.

Graetz R. D. 1981. Plant-Animal Interactions. In: Evenari, M (Ed), Hot deserts and arid shrublands. Cambridge University Press.

Grant V., K. A. Grant & P. D. Hurd Jr. 1979. Pollination of *Opuntia lindheimeri* and related species. Plant Systematics and Evolution **132**:313-320.

Guzmán U., S. Arias M. y P. Dávila. 2003. Catalogo de cactáceas. UNAM, CONABIO. México, D.F.

Harda Y., S. Kawano y Y. Iwasa. 1997. Probability of clonal identity: inferring the relative success of sexual versus clonal reproduction from spatial genetic patterns. Journal of Ecology **85**: 591-600.

Harper J. L. & J. White. 1971. The dynamics of plant population. En Den Boer P. J. & G. R. Gradwellok (Eds.). Dynamics of population. Centre for Agricultural publishing and documentation, Wageningen, Netherlands.



Hernández-Barrera T. 1998. Nota referente al estado de conservación de *Pelecyphora strobiliformis* (Wedermann) Fric et. Scheelle. Cactáceas y Suculentas Mexicanas **43**:36-39.

Hicks D. J. & Mauchamp. 2000. Population structure and growth patterns of *Opuntia echios* var. *gigantae* a long an elevational gradient in the Galapagos Islands. Biotropica **32**:235-243.

Huerta M. & S. Escobar. 1998. Notas sobre la ecología de *Stenocactus dicrocanthus* (Martius ex Pferiffer) Berger et Kuuth Var. *violaciflorus* (Quehl) Bravo, en los llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. Cactáceas y Suculentas Mexicanas **43**:40-43.

Hutto R. L., J. R. McAulife & L. Hogan. 1986. Distributional associates of the saguaro (*Carnegiea gigantea*). Southw. Naturalist. **31**:469-476.

IUCN. 2002. IUCN. Red list categories. World Conservation Union. Gland, Suiza.

Jiménez-Sierra C. & C. Jiménez-González. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. **48**:4-17.

Jiménez-Sierra C. L. y J. Reyes, S. 2003. Las cactáceas de la Barranca

de Metztlán. En M. A. Armella V., L. Yáñez L. y E. Sandoval P. (Eds): Metztlán: Lugar de la luna y de las maravillas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México, D.F.

Jiménez-Sierra C. y L. Matias-Palafox. 2007. Distribución de cactáceas con relación al dosel de arbustos y áreas abiertas en un matorral crasicaule. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. (En prensa)

Jiménez-Sierra L., Ma. L. Matias-Palafox & E. Vásquez. 2007. Evaluación del riesgo de Extinción (MER) de las poblaciones naturales de *Turbinicarpus pseudomacrochele* (Backeb.) Buxb. & Backeb. (Cactaceae, Cactaceae. Cactáceas y Suculentas Mexicanas, (En prensa).

Jordan P. W. & P.S. Nobel. 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthodes* in relation to drought. *Ecology* **62**: 901-906.

Johnson R. A. 1992. Pollination and reproductive ecology of acuña cactus, *Echinomastus erectocentrus* Var. *acunensis* (Cactaceae). *International Journal of plants*. **153**:400-408.

Kery M. & B. Gregg. 2004. Demographic analysis of dormancy and survival in the terrestrial orchid *Cleisthes bifaria*. *Journal of Ecology*. **92**:686-695.

Kunnin, W. E. y A. Schmida. 1997. Plant reproductive traits as a function of local, regional, and global abundance. *Conservation Biology*. **11**:183-192.

Lefkovitch L.P. 1965. The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrika* **21**:1-18.

Leslie P. H. 1945. On the uses of matrices in certain population mathematics. *Biometrika* **33**:183-212.

Ludwing J. A. & J. F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology: a primer on methods and computing*. Wiley, Nueva York. USA.

Mandujano M. C., C. Montaña & L. E. Eguiarte. 1996. Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare?. *American Journal of Botany* **83**:63-70.

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

Mandujano M. C., A. Flores-Martínez, J. Golubov y E. Ezcurra. 2002. Spatial distribution of three globose cacti in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. *The Southwestern Naturalist*. **47**:162-168.

Mandujano M. C. & M. D. Rosas-Barrera. 2002. La diversidad de historias de vida de cactáceas, aproximación por el triangulo demográfico.

Cactaceas y Suculentas Mexicanas. **47**:33-41.

Mandujano M. C., J. Golubov, C. Rodríguez-Ortega, J. Reyes, G. Aguilar y M. Rojas-Aréchiga. 2004. Estructura poblaciones y distribución de *Polaskia chende* (Gosselin) Backeb., en un municipio dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. **49**:36-60.

Martínez-García E. 2006. Dinámica poblacional de *Tillandsia makoyana* Baker (BROMELIACEAE) en la selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología ambiental). Instituto de Ecología UNAM. México, D.F.

Martorell C & Peters E. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. Biological Conservation. **124**:199-207.

Matias-Palafox M. L. y C. Jiménez-Sierra. 2004. *Turbinicarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. **49**:128.

Mc. Aulife J. R. 1984. Sahuaro-nurse associations in the Sonoran Desert: comparative effects of sahuaros. Oecologia. **64**:319-321

McClure B. A., F. Cruz-García, B. Beecher & W. Sulaman. 2000. Factors Affecting Inter- and Intra-specific Pollen in *Nicotiana*. Annals of Botany. **85**:113-123.

McIntosh M. E. 2002. Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology* **159**:1-13.

McIntosh M. E. 2005. Pollination of two species of *Ferocactus*: interactions between cactus-specialist bees and their host plants. *Functional Ecology*. **19**:727-734.

McMahon. 1981. Introduction. In: D.W. Goodwall y R.A. Perry (Eds), *Arid-Land Ecosystems*. Vol 2, Cambridge University Press.

Medel-Narváez A., J. L. León de la Luz y F. Molina-Freaner. 2003. Biología y fenología floral del cardon gigante (*Pachycereus pringlei*) en Baja California Sur. IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Guadalajara, Jalisco. México.

Milan Z. 2004. The genus *Turbinicarpus*. Vydavateľstvo Ilgor Dráb & Spoločnosť Cactaceae etc. Bratislava-Slovakia.

Molina-Freaner F., A. Rojas-Martínez, T. H. Fleming & A. Valiente-Banuet. 2004. Pollination biology of the columnar cactus *Pachycereus pecten-aboriginum* in north-western México. *Journal of Arid Environments*. **56**:107-116.

Nasar J. & N. Ramirez. 2004. Reproductive biology of melon cactus, *Melocactus curvispinus* (Cactaceae). *Plant Systematics and Evolution*. **248**:31-

44.

Nerd A. & Mizarahi Y. 1997. Reproductive biology of fruti cacto. Horticulture Review **18**:372-346.

Nobel P. S. 1988. Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. Cambridge. USA.

Nobel P. S. 1989. Temperature, water availability, and nutrient levels at various soil depths: Consequences for shallow-rooted desert succulents, including nurse plant effects. American Journal of Botany. **76**:1486-1489.

Orians, G. H. 1997. Evolved consequences of rarity. En W. E. Kunin y K. J. Gaston (Eds): The biology of rarity: Causes and consequences of rare-common differences. Chapman y Hall. London. **191**-208 pp.

Ortega-Baes P.F. 2001. Demografía de la cactácea columnar *Escontria chiotilla*. Tesis de Maestría en Ciencias UNAM. México. D.F.

Osborn M. M., P. G. Kevan & M. A. Lane. 1988. Pollination biology of *Opuntia polycantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado. Plant Systematics and Evolution **159**:85-94.

Peters, C. y Martorell, E. 2000. Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Reporte final del proyecto R166 - CONABIO. México.

Pierson E.A., & R.M. Turner. 1998. An 85-year study of saguaro *Carnegiea gigantea* demography. *Ecology* **79**: 2676–2693.

Piña R. H. 2000. Ecología reproductiva de *Ferocactus robustus* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Ecología). Escuela Nacional de Ciencias Biologica IPN. México. D.F.

Piña, R. H., C. Montaña, M. C. Mandujano. 2003. Biología Reproductiva de *Opuntia microdasys* y su influencia en el aborto de frutos, en el desierto Chihuahuense. IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Guadalajara, Jalisco. México.

Piñero D., M. Martínez-Ramos y J. Sarukhán. 1984. A population model of *Astrocaryum mexicanum* and a sensitivity analysis of its finite rate of increase. *Journal of Ecology* **72**:977-991.

Plasencia-López L. 2003. Biología reproductiva de *Opuntia bradtiana* (cactaceae) en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.

Polis G. A. 1991. Desert Communities: An Overview of Patterns and Processes. In: G. A. Polis (Ed), *The Ecology of Desert Communities*. University of Arizona Press.

Rabinowitz D. 1981. Seven forms of rarity. In: Synge H. (Ed), The biological aspects of rare plant conservation. John Wile & Sons Ltd.

Richards, A. J. 1986. Plant Breeding Systems. George Allen and Unwin. London.

Reid W., R. Lozano & R. Odom. 1983. Non-equilibrium population structure in three Chihuahuan Desert cacti. Southw. Naturalist. **28**:115-117.

Reyes-Aguero J. A., J. A. Aguirre & A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. Journal of Arid Environments. 64:549-585

Richards A.J. 1986. Plant Breeding Systems. G.Allen & UNWIN, Boston.

Rojas-Aréchiga M. 1995. Estudios sobre la germinación de cactáceas del Valle de Zapotitlan de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología) UNAM. Facultad de Ciencias. México D.F.

Rojas-Aréchiga, M., Vázquez-Yanes, C. & Orozco-Segovia, A. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. Plant Ecology **135**: 207–214.

Rojas-Aréchiga M. y C. Vázquez-Yanes. 2000. Cactus seed germination: a review. Journal of Arid Environments **44**: 85-104.



Rodrigo de Castro & Galetti (2004) Frugivoria e dispersão de sementes pelo lagarto teiú *Tupinambis merianae* (Reptilia: Teiidae). Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo) 44(6): 91-97.

Ruíz A., M. Santos J. Cavelier & P. J. Soriano. Estudio fenológico de cactáceas en el enclave seco de la Tatacoa, Colombia. Biotropica **32**: 397-407

Rzedowsky J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F.

Sahley C. T. 1996. Bat and hummingbird pollination of an autotetraploid columnar cactus, *Webaurocereus weberbaueri* (Cactaceae). American Journal Botanical **83**:1329-1336.

Saleem D., M. Del Coro Arizmendi & A. Valiente-Banuet. 2006. Diurnal and nocturnal pollination of *Marginatocereus marginatus* (Pachycereeae: Cactaceae) in central Mexico. Annals of Botany **97**:423-427.

Sánchez-Mejorada, H. 1978. Manual de campo de las Cactáceas y Suculentas de la Barranca de Metztitlán. Sociedad Mexicana de Cactología.

Schindwein C. & D. Wittmann. 1997. Stamen movements in flowers of *Opuntia* (Cactaceae) favour oligolectic pollination. Plant Systematics and Evolution **204**:179-193.

Schmalzel J., W. Reichebächer & S. Rutman. 1995. Demographic study of the rare *Coryphantha robbinsorum* (Cactaceae) in southeastern Arizona. *Madroño* **42**:332-348.

SEMARNAT. 2002. NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación 6 de marzo de 2002.

Sijacic P., X. Wang, A. L. Skirpan, Y. Wang, P. E. Downd, A. G. McCubbin, S. Huang & T. Kao. 2004. Identification of the pollen determinant of S-RNase-mediated self-incompatibility. *Nature* **429**: 302-305.

Silvertown J. Franco, M. Pisanty & I. Mendoza. 1993. Comparative plant demography relative importance of life cycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. *Journal of Ecology* **81**:465-476.

Soto-Ortega L. y C. Jiménez-Sierra. 2004. Morfometría y ciclo floral de *Stenocereus dumortieri* (Scheidweiler) Buxbam. IV Congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Guadalajara, Jalisco. México.

Thompson J.D., P. Wilson, M. Valenzuela & M. Malzone. 2000. Pollen presentation and pollination síndromes, with special reference to Penstmon. *Plant Species Biology*. **15**:11-29

Valiente-Banuet A., A. Bolongaro-Crevenna, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Nuñez, G. Barnard y E. Vazquez. 1991a. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in semi-arid environment in central Mexico. *Journal for Vegetation Science* **2**:15 -20pp.

Valiente-Banuet A., F. Vite & A. Zavala-Hurtado. 1991b. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* **2**:11-14.

Valiente-Banuet A., A. Rojas-Martínez., A. Casas, M. del Coro-Arizmendi & P. Dávila. 1997a. Pollination Biology of two winter-blooming giant columnar cacti in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Enviroments* **37**: 331-341.

Valiente-Banuet A., A. Rojas-Martínez y P. Dávila. 1997b. Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* y *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Central México. *American Journal of Botany* **84**: 452-455.

Valverde P. L. & J. A. Zavala-Hurtado. 2006. Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened

species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán Region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*. **64**:193-208

Valverde T., Ma. L. Trejo & S. Castillo. 1999. Patrón de distribución de *Mammimmaria magnimamma* en la reserva del Pedregal de San Ángel, México. *D. F. Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. **44**:64-73

Wyatt R. 1983. Pollinator-Plant interactions and the evolution of breeding systems. En: *Pollination Biology*. Lesly Real (ed.). Academic Press. New York.

Zamith L.R. & F. Rubio-Scarano. 2004. Produção de mudas de espécies das Restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 18: 161-176.

Zavala-Hurtado J. A. & P. L. Valverde 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *Journal of Vegetation Science*. **14**:891-898.

## **XIV. ANEXO I**

# Evaluación del riesgo de extinción de las poblaciones de *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha, cactácea endémica de la Barranca de Metztitlán, México

Matías-Palafox, Ma. Loraine <sup>1</sup> & Jiménez-Sierra, Cecilia <sup>1</sup>

## Resumen

Se presenta la evaluación del riesgo de extinción de las únicas seis poblaciones silvestres conocidas de *Turbincarpus horripilus*, para ello se siguió la metodología propuesta en el Anexo I de la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001. Esta especie es endémica de la Barranca de Metztitlán en el estado de Hidalgo, México. *T. horripilus* se encuentra en el Apéndice I de CITES y en la Lista Roja de la UICN como especie vulnerable (Vu), pero no es considerada por la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001. La especie obtuvo doce puntos considerando su distribución geográfica, el estado de su hábitat, su vulnerabilidad biológica y el impacto de las actividades humanas sobre sus poblaciones. Concluimos que la especie debe ser incluida como "especie en peligro de extinción (P)" en la NOM-059-ECOL-2001 y re-categorizada en la Lista Roja de la UICN a especie "en peligro" (EN).

**Palabras clave:** Barranca de Metztitlán, CITES, Método de Evaluación del Riesgo de extinción, MER, *Turbincarpus horripilus*.

## Abstract

In this paper we evaluate the risk status of *Turbincarpus horripilus* in the only six natural known populations. *T. horripilus* is listed in CITES Appendix I and is considered a vulnerable species (Vu) in the Red List by IUCN, but is not considered at risk by the national red species lists. The species is endemic to the Metztitlán cliffs, in the state of Hidalgo, México. In order to assess risk, we used the methodology proposed by the Mexican legislation, Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001 (Annex I). According to the legislation the species was considered in risk of extinction (12 points) when we considered its geographic distribution, habitat preservation, biological vulnerability and the impact of human activities on its populations. We conclude that this species should be included in the category of as "in risk of extinction" (P) by the NOM-059-ECOL-2001, and re-categorized by the Red List (IUCN) as "endangered" (EN).

**Key words:** Barranca de Metztitlán, CITES, Método de Evaluación del Riesgo de extinción MER, *Turbincarpus horripilus*.

## Introducción

La Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán se encuentra al este de la región central del estado de Hidalgo. Forma

parte del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre Oriental. La zona está constituida por cañones excavados por los afluentes del río Pánuco, donde se alberga una gran riqueza natural. Las cactáceas forman parte

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, Iztapalapa. C.P. 09340. México, D.F., México, e-mail: cbs204382969@xamum.uam.mx, cecici@xamum.uam.mx



L. Matías-Palafox

FOTO 1. *Turbinicarpus horripilus* en la localidad "Santuario de cactáceas".



César Rocha Huerta

FOTO 2. Detalle de la flor de *Turbinicarpus horripilus*.

importante de la flora que caracteriza a dicho lugar, motivo por el cual la Barranca de Metztitlán es considerada como una de las zonas cactológicas más llamativas de nuestro país (Sánchez-Mejorada 1978). En este lugar la familia Cactaceae se encuentra representada por alrededor de 70 especies de las cuales el 11.42% son especies endémicas y al menos el 15% están consideradas en alguna categoría de riesgo por la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001. Sin embargo, *Turbincarpus horripilus*, no ha sido considerada como una especie en riesgo por nuestra legislación a pesar de que es considerada por instancias internacionales como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestres (CITES 1990; IUCN 1990).

#### Descripción taxonómica

*Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha.

Es una especie endémica de la Barranca de Metztitlán (Foto 1). Es una planta subglobosa, generalmente ramificada. Su tallo mide de 6 a 12 cm de diámetro y de 4 a 10 cm de altura, y está constituido por numerosos tubérculos piramidales de un centímetro de altura dispuestos en espiral. Sus espinas radiales (9 a 12) son aciculares, rectas o ligeramente curvas, de color blanco con la punta parda, las de la parte inferior son más cortas que las de la parte superior. Posee solo una espina central recta rígida de color café. Sus flores son acampanadas de color magenta de 2 cm de longitud y surgen en los surcos adaxiales de las aréolas jóvenes que se encuentran en el ápice del tallo (Foto 2). Sus frutos son

secos y ovoides con venación longitudinal, de color verde con tintes rojizos los cuales conservan los restos del perianto. Miden hasta un centímetro de longitud y de 4 a 7 mm de diámetro y contienen de 5 a 75 semillas, las cuales son ovoides de testa negra o rojiza de 1.2 a 1.5 mm de longitud (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Matias-Palafox & Jiménez-Sierra 2004; Milan 2004). La especie ha sido ubicada en distintos géneros por diversos autores: *Mammillaria horripila* Lem., 1838; *Echinocactus horripilus* (Lem.) Lem., 1839; *Neolloydia horripila* (Lem.) Britton & Rose, 1923; *Gymnocactus horripilus* (Lem.) Backeb., 1961; *Thelocactus horripilus* (Lem.) Kladiwa & Fittkau in Krainz, 1970; *Pediocactus horripilus* (Lem.) Halda, 1998; *Bravocactus horripilus* (Lem.) Doweld, 1998 (Guzmán *et al.* 2003).

La Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, y establece los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante la aplicación del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción (MER) (Semarnat 2002).

El MER, se basa en cuatro criterios independientes a los cuales se les asignan valores numéricos. Los criterios y los rangos de los valores por categoría son: A. Amplitud de la distribución del taxón en México (1-4); B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón (1-3); C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón (1-3); y D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón (1-4). La sumatoria de estos valores permite ubicar



a las especies como Amenazada (A); Sujeta a protección especial (Pr); o en Peligro de extinción (P) (Semarnat 2002).

El objetivo de este trabajo es evaluar por medio de la aplicación del Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER), el estado de conservación de *Turbinicarpus horripilus* para proponer su inclusión en la Norma Oficial NOM-059-ECOL-2001 y su permanencia en el Apéndice 1 de CITES y en la Lista Roja del IUCN.

## Material y métodos

### Criterio A: Amplitud de la distribución del taxón en México

Para determinar la amplitud de la distribución del taxón se realizaron revisiones bibliográficas y de herbario de las cuales se obtuvieron datos de las localidades ya conocidas. Con la información obtenida se realizaron recorridos en las zonas aledañas a dichas localidades y en lugares en los que

se suponía por la información obtenida de los pobladores de la región la presencia de la especie.

Todas las poblaciones encontradas de *T. horripilus* fueron georeferenciadas y localizadas en un mapa de la región.

### Criterio B: Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón

Este criterio fue evaluado registrando las características bióticas (tipo de vegetación y especies acompañantes) y abióticas (altitud, tipo de suelo, pendiente y pedregosidad) presentes en los sitios en donde fue encontrada la especie.

### Criterio C: Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón

La vulnerabilidad biológica del taxón se determinó mediante un censo poblacional y el estudio de algunos aspectos reproductivos de la población de la localidad "Santuario de cactáceas". Se determinaron: la densidad poblacional, el patrón de dis-

CUADRO 1. Localización geográfica y características demográficas de las poblaciones de *Turbinicarpus horripilus*.

Localidad	Ubicación geográfica	Altitud (msnm)	Pendiente (°)	Área estimada (m <sup>2</sup> )	Densidad (Ind/m <sup>2</sup> )	Comunidad vegetal
Santuario de Cactáceas	20° 35.318' 98° 45.468'	1294	60°	900	0.74	Matorral xerófilo
San Juan	20° 35.30' 98° 45.33'	1303	70°	1500	1.22	Matorral xerófilo
Jilotla	20° 33.08' 98° 44.22'	1468	45°	150	0.33	Matorral xerófilo
San Cristóbal		1260	40°	70	?	---
Almolon	20° 43.727' 98° 56.231'	1020	30°	250	0.08	Matorral xerófilo
San Pablo Tetlapaya	20° 37.24' 98° 52.50'	1498	35°	500	0.5	Matorral xerófilo

tribución intra poblacional, la estructura de tamaños basada en el diámetro y el porcentaje de asociación con otras plantas. Se obtuvieron datos sobre la fenología, tiempo de vida de la flor, visitantes florales y tipo de polinización. En experimentos controlados en laboratorio, se determinaron los porcentajes de germinación de semillas y la viabilidad de las mismas a través del tiempo (Matías-Palafox & Jiménez-Sierra datos no publicados).

#### Criterio D: Impacto de la actividad humana sobre el taxón

El impacto de la actividad humana en las poblaciones de *T. horripilus* se determinó en cinco de las poblaciones empleando la

metodología de Evaluación del Disturbio del Hábitat (Peters & Martorell 2000).

## Resultados

#### Criterio A

*Turbinicarpus horripilus* es una especie endémica del estado de Hidalgo y su distribución está restringida a la Barranca de Metztitlán. Solo existe un ejemplar de herbario, el cual se menciona que fue colectado a las orillas del poblado de San Juan Metztitlán (actualmente, Jardín Botánico "Santuario de Cactáceas"). Toda la bibliografía existente sobre esta especie está referida a esta población y a la localizada en San Pablo Tetlapaya.



L. Matías-Palafox

FOTO 3. *Turbinicarpus horripilus* creciendo en una ladera caliza fuertemente erosionada y con pendiente muy pronunciada (60°).

De acuerdo a las visitas realizadas a los lugares sugeridos por los pobladores y a los recorridos realizados a las zonas aledañas, se lograron encontrar 6 poblaciones, algunas de ellas (Jilotla y San Pablo Tetlapaya) separadas hasta por más de 30 km de distancia. Los datos de estas poblaciones se encuentran en el cuadro 1.

El área total ocupada por la especie es aproximadamente de 3,370 m<sup>2</sup> lo que resulta ser menor al 5% de la superficie del territorio nacional (ca. 1, 964, 000 km<sup>2</sup>), por esta razón a este criterio se le asignaron cuatro puntos.

#### Criterio B

*Turbincarpus horripilus* suele establecerse en laderas calizas fuertemente ero-

sionadas (Foto 3), en altitudes que van de los 1000 a los 1500 msnm. El tipo de vegetación al que comúnmente se encuentran asociadas sus poblaciones es el matorral xerófilo con crasicales, en donde las especies de cactáceas acompañantes son: *Astrophytum ornatum* (DC.) F.A.C. Weber ex Britton & Rose, *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff, *Coryphantha erecta* (Lem.) Lem., *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto, *Ferocactus glaucescens* Britton & Rose, *Mammillaria geminispina* Haw, *Mammillaria longimamma* DC., *Mammillaria schiedeana* C. Ehrenb., *Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console; además de algunas especies de los géneros *Selaginella*, *Mimosa*, *Hechtia*, *Fouquieria* y *Bombax*, estos dos últimos presentes

CUADRO 2. Especies acompañantes de las poblaciones de *Turbincarpus horripilus*.

Localidad	Comunidad vegetal	Especies acompañantes
"Santuario de Cactáceas"	Matorral xerófilo con crasicales	<i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Coryphantha erecta</i> , <i>Echinocactus platyacanthus</i> , <i>Ferocactus glaucescens</i> , <i>Mammillaria geminispina</i> , <i>Mammillaria longimamma</i> , <i>Myrtillocactus geometrizans</i> , <i>Selaginella</i> spp. y <i>Mimosa</i> spp.
San Juan	Matorral xerófilo con crasicales	<i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Coryphantha erecta</i> , <i>Echinocactus platyacanthus</i> , <i>Ferocactus glaucescens</i> , <i>Mammillaria geminispina</i> , <i>Mammillaria longimamma</i> , <i>Myrtillocactus geometrizans</i> , <i>Selaginella</i> spp., <i>Mimosa</i> spp. y briofitas
Jilotla	Matorral xerófilo rosetófilo	<i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Ferocactus glaucescens</i> , <i>Mammillaria geminispina</i> , <i>Mammillaria longimamma</i> , <i>Pachyphytum longifolium</i> , <i>Selaginella</i> , <i>Mimosa</i> spp. y briofitas
San Cristóbal	---	---
Almolon	Matorral xerófilo con crasicales	<i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Coryphantha erecta</i> , <i>Echinocactus platyacanthus</i> , <i>Ferocactus glaucescens</i> , <i>Mammillaria geminispina</i> , <i>Mammillaria longimamma</i> , <i>Mammillaria schiedeana</i> , <i>Neobuxbaumia polylopha</i> , <i>Mimosa</i> spp., <i>Hechtia</i> spp., <i>Fouquieria</i> spp. y <i>Bombax</i> spp.
San Pablo Tetlapaya	Matorral xerófilo espinoso	<i>Astrophytum ornatum</i> , <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Coryphantha erecta</i> , <i>Ferocactus glaucescens</i> , <i>Mammillaria geminispina</i> , <i>Mammillaria longimamma</i> , <i>Mimosa</i> spp., <i>Hechtia</i> spp., <i>Fouquieria</i> spp. y <i>Bombax</i> spp.

en la población de San Pablo Tetlapaya (Cuadro 2).

Por la susceptibilidad de los ambientes en donde crece esta especie a este criterio se le asignaron tres puntos.

#### Criterio C: Aspectos demográficos

La densidad de los individuos de *T. horripilus* va de 0.08 individuos/m<sup>2</sup> en Almolon a 1.22 individuos/m<sup>2</sup> en San Juan, siendo ésta la población con mayor extensión. La población de San Cristóbal es la menos extensa y se ubica en el traspatio de una casa por lo que no fue posible obtener su densidad (Cuadro 1).

De acuerdo al muestreo poblacional detallado realizado en la población "Santuario de cactáceas" (Foto 4), *T. horripilus* conforma el 75% de la comunidad de cactáceas ahí presentes, su densidad es de 0.74 individuos/m<sup>2</sup> y su distribución espacial es agregada (media/varianza;  $P < 0.05$ ). La altura de los individuos osciló entre 2 y 40 cm, solo el 11% de los organismos no presentan ramificaciones y los organismos ramificados pueden poseer hasta 60 ramas (Fig. 1).

La estructura de tamaños obtenida a partir de la categorización de los individuos con base en su diámetro total, muestra la ausencia de organismos pequeños (< a 2



L. Matias-Palfox

FOTO 4. Imagen donde se aprecia la localidad "Santuario de cactáceas".

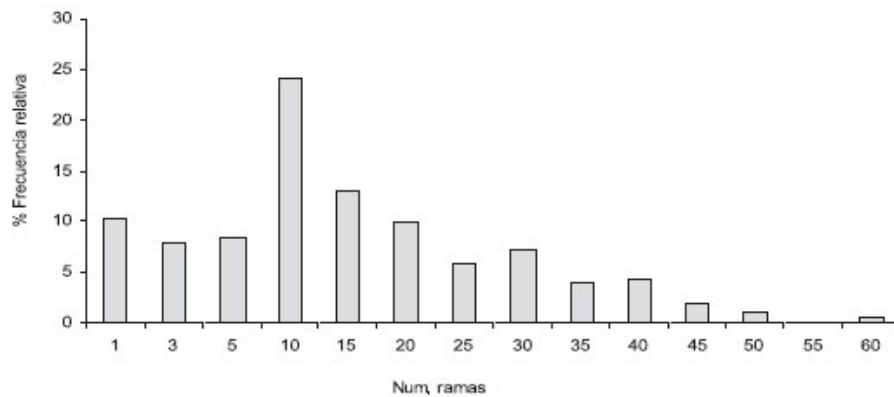


L. Marias-Palacios

FOTO 5. Asociación de *Turbinicarpus horripilus* a briofitas y *Selaginella* sp.

cm<sup>2</sup> de cobertura). La distribución observada, presenta un patrón multimodal, en donde se aprecian picos con altas frecuencias, seguidos por categorías con bajas frecuencias (Fig. 2).

En cuanto a la asociación a otras plantas, el 96% de los individuos pequeños de *T. horripilus* se encuentran asociados a plantas del género *Selaginella* y a briofitas (Foto 5). Mientras que el 50% de los individuos con

FIGURA 1. Frecuencia relativa del número de ramas por individuo de *Turbinicarpus horripilus* (N= 302 individuos).

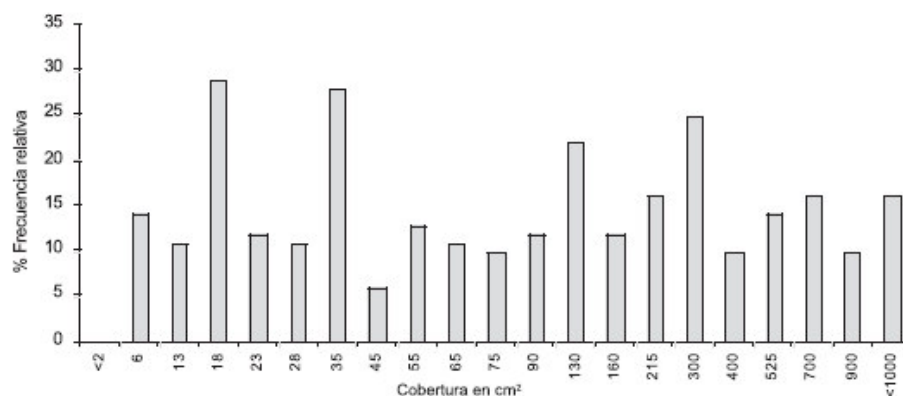


FIGURA 2. Distribución de tamaños por diámetros totales de los individuos de *Turbinicarpus horripilus*.

más de 40 ramas no se encuentran asociados a otros vegetales (Fig. 3).

#### Aspectos Reproductivos

La floración y fructificación de la especie es de octubre a julio, la máxima producción de flores se presenta durante el mes de marzo, mientras que la máxima producción de frutos se presenta de noviembre a enero (Fig. 4).

Los organismos comienzan a reproducirse después de alcanzar 2 cm<sup>2</sup> de cobertura,

aunque existen individuos de entre 15 y 20 cm<sup>2</sup> que no se reprodujeron durante el año de muestreo.

Las flores de *T. horripilus* viven alrededor de dos días, la antesis comienza al medio día y termina al atardecer. Se requiere de polinización cruzada y los principales visitantes florales son insectos del orden Hymenoptera.

Los frutos producen entre 5 y 75 semillas, con un promedio de 35 semillas.

En lo que se refiere a la germinación de semillas, éstas presentan fotoblas-

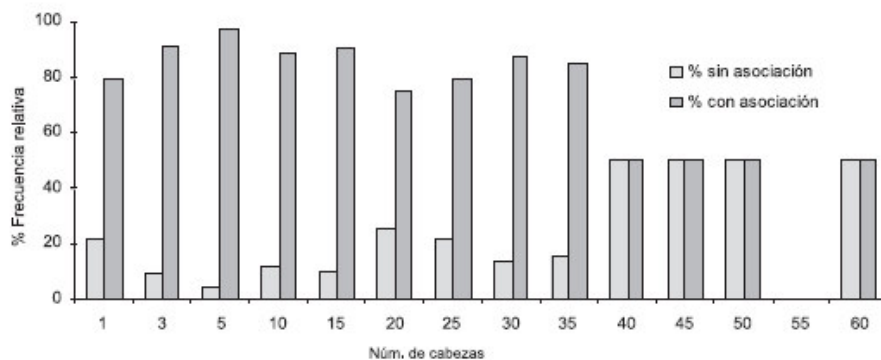


FIGURA 3. Distribución de tamaños de *Turbinicarpus horripilus* y porcentaje de asociación con otras plantas.

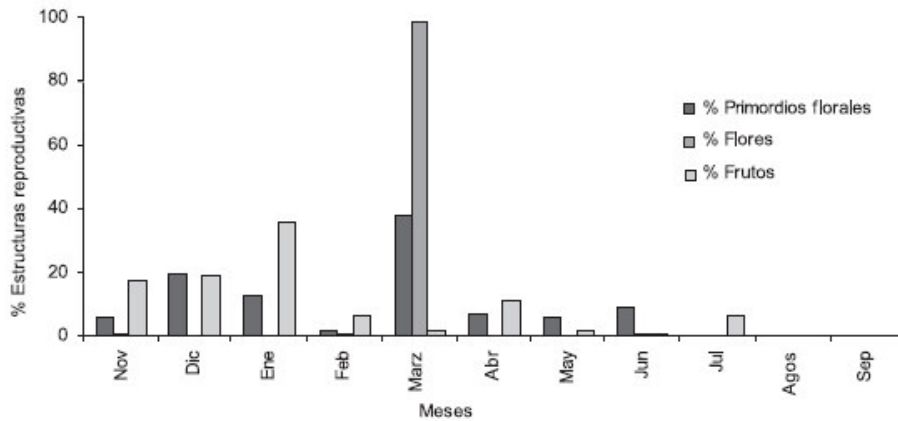


FIGURA 4. Fenología reproductiva de *Turbinicarpus horripilus* de noviembre de 2004 a septiembre de 2005.

tismo positivo. La germinación es de 56.5% en semillas recién cosechadas. Sin embargo la viabilidad disminuye con el paso del tiempo (Matías-Palafox datos no publicados).

Debido a las características demográficas y reproductivas de la especie a este criterio se le asignó un valor de dos puntos.

#### Criterio D

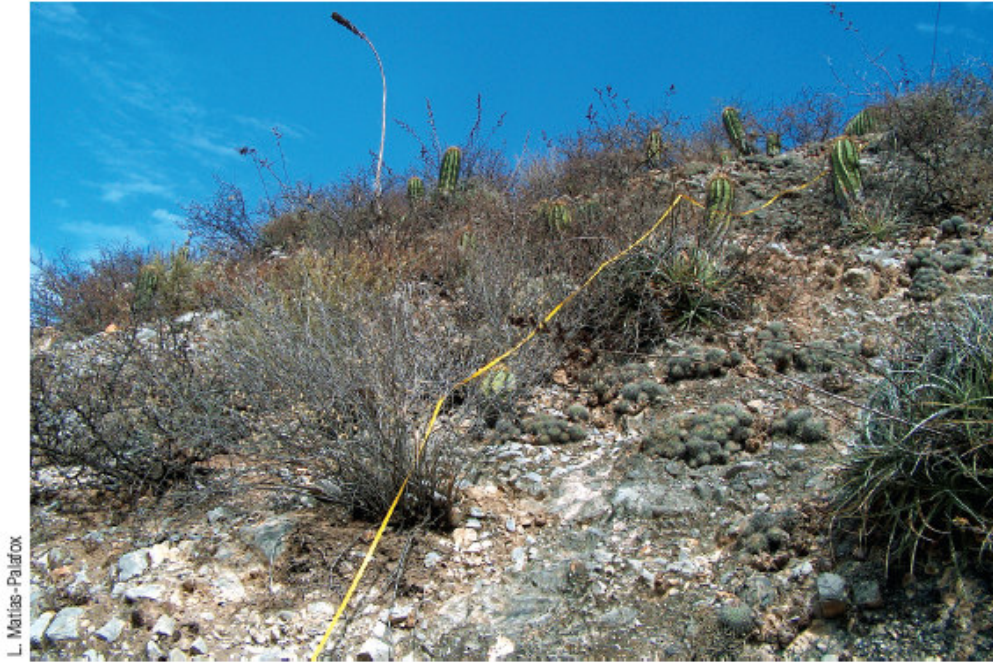
El deterioro natural del hábitat, la ganadería y las actividades antropogénicas suelen ser los principales factores de perturbación en los lugares en donde habita *T. horripilus*. El análisis de disturbio realizado en las seis poblaciones conocidas (Foto 6) muestra un valor promedio del Índice de Perturbación (IP) de 51 puntos lo que sugiere una perturbación media del ambiente. El deterioro natural del hábitat en todas las poblaciones es el factor que más influye en la perturbación de las mismas. Debido al puntaje obtenido a este criterio se le asignó un valor de tres puntos.

## Discusión

De acuerdo a la evaluación de los cuatro criterios independientes establecidos por la Norma Ecológica NOM-059-ECOL-2001, la sumatoria obtenida es de doce puntos, por lo que este trabajo sustenta la propuesta de incluir a *T. horripilus* dentro de dicha Norma en la categoría en Peligro de Extinción (P). Al mismo tiempo, proponemos que la especie sea re-categorizada en la Lista Roja de la UICN de Vulnerable (Vu), a en Peligro (EN) y recomendamos su permanencia en el Apéndice 1 de CITES.

## Agradecimientos

Agradecemos al Personal de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán por el apoyo brindado para la localización de las poblaciones, en especial a los ingenieros Salvador Montes, Miguel Ángel de Jesús y José Ángeles, así como a los brigadistas Guillermo Sánchez, Carlos Ángeles, Erasto Badillo y Roberto Espíndola por su disposición, compañía y apoyo en el trabajo de campo. A la familia Sánchez por su hospitalidad, a cada una de las personas que apoyaron en



L. Matías-Palafox

FOTO 6. Transectos para evaluar el deterioro ambiental en la población "Santuario de cactáceas".

diversas ocasiones en el trabajo de campo en especial a la Biól. Diana Reyes S. Este trabajo se realizó gracias al apoyo del laboratorio de Ecología de la UAM-I y al proyecto 0350-AL Conacyt-Semarnat de MMS.

### Literatura Citada

- Bravo-Hollis H & Sánchez-Mejorada H. 1991. *Las cactáceas de México*. Vol 2. UNAM. D.F. México.
- CITES. 1990. *Appendices I, II and III to the Convention on International Trade in Endangered Species of wild Fauna and Flora*. U.S. Department of the Interior Washington, D.C.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM. CONABIO. D.F. México.
- IUCN. 1990. *Centres of Plant Diversity. An Introduction to the Project with Guidelines for Collaborators*. Parchment (Oxford) UK.
- Peters C & Martorell E. 2000. *Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Reporte final del proyecto R166 - CONABIO. México.
- Matías-Palafox ML & Jiménez-Sierra C. 2004. *Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John & Riha. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49:128.
- Milan Z. 2004. The genus *Turbincarpus*. Vydavateľstvo Igor Dráb & Spoločnosť Cactaceae. Bratislava-Slovakia.
- Sánchez-Mejorada H. 1978. *Manual de campo de las Cactáceas y Suculentas de la Barranca de Metztitlán*. Sociedad Mexicana de Cactología. México.
- Semarnat. 2002. NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Diario Oficial de la Federación* 6 de marzo de 2002.

Recibido: noviembre 2005, aceptado: agosto 2006.

Received: November 2005, accepted: August 2006.



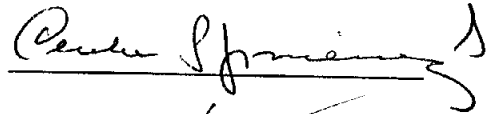
El Jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**MARIA LORAIN MATIAS PALAFOX**

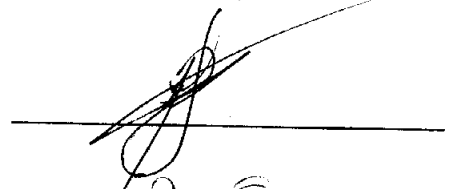
29 de enero de 2007

**Jurado**

**Presidente:** M. en C. Cecilia Leonor Jiménez Sierra



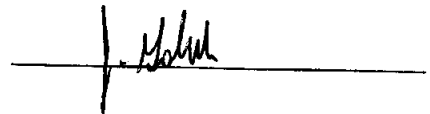
**Secretario:** Dr. Pedro Luís Valverde Padilla



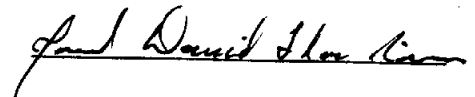
**Vocal:** Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez



**Vocal:** Dr. Jordan Golubov



**Vocal:** Dr. Joel David Flores Rivas



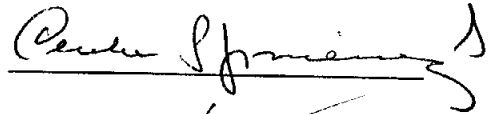
El Jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**MARIA LORAIN MATIAS PALAFOX**

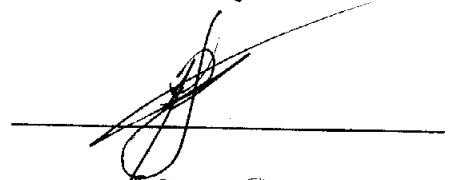
29 de enero de 2007

**Jurado**

**Presidente:** M. en C. Cecilia Leonor Jiménez Sierra



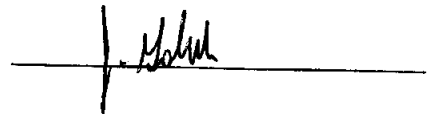
**Secretario:** Dr. Pedro Luís Valverde Padilla



**Vocal:** Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez



**Vocal:** Dr. Jordan Golubov



**Vocal:** Dr. Joel David Flores Rivas

