

Informe final* del Proyecto G022
Estatus ecológicos de Mammillaria pectinifera Weber y Pachycereus fulviceps Weber en el Valle de Zapotitlán, Puebla

Responsable: M en C. José Alejandro Zavala Hurtado
Institución: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Biología
Dirección: Av. San Rafael Atlixco # 186, Vicentina, Iztapalapa, México, DF, 09340 , México
Correo electrónico: jazh@xanum.uam.mx
Teléfono/Fax: Tel: 5724 4698 Fax: 5724 4688
Fecha de inicio: Junio 30, 1995
Fecha de término: Junio 24, 1997
Principales resultados: Cartografía, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Vite González, F. y J. A. Zavala Hurtado. 1998. Estatus ecológicos de Mammillaria pectinifera Weber y Pachycereus fulviceps Weber en el Valle de Zapotitlán, Puebla. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G022.** México D. F.

Resumen:

En el presente proyecto se estudiará el estatus ecológico de dos especies de cactáceas que habitan en la región de Zapotitlán Puebla: Mammillaria pectinifera Weber, catalogada como amenazada, y Pachycereus fulviceps Weber, que ha sido considerada en peligro de extinción. Ambas especies son endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, provincia florística en la que se encuentra la zona de interés, y la cual es notable por su alta diversidad y grado de endemismo. El primer y más importante aspecto a cubrir es la recopilación de datos demográficos para ambas especies. Esta recopilación se hará de acuerdo con diseños de observación y experimentales que nos permitan evaluar los efectos de diferentes variables ambientales sobre los estadísticos vitales de las poblaciones. Se elaborarán diversos modelos, principalmente matriciales, en los que se vaciarán los datos, y los análisis de tales modelos nos permitirán entender, a un mismo tiempo, la dinámica y la estructura de las poblaciones. Un segundo aspecto a abordar es la cartografía de las áreas de distribución y las densidades de las poblaciones de ambas especies en la zona de estudio. Con esta y otra información se investigarán también las posibles correlaciones entre los patrones de distribución y abundancia observados y las características micro/mesogeográficas del área, principalmente en términos de variables geomorfológicas y edafológicas.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

CONABIO-UAMI
ESTATUS ECOLÓGICO DE
Mammillaria pectinifera Weber y Mitrocereus fulviceps WEBER EN EL
VALLE DE ZAPOTITLÁN, PUEBLA
INFORME FINAL

CONVENIO No:

FB217/GO22/95

PARTICIPANTES:

RESPONSABLES:

FERNANDO VITE GONZÁLEZ

JOSE ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

COLABORADORES:

PEDRO LUIS VALVERDE PADILLA

AMAURY DIAZ SOLIS

ARTURO MACIAS MARTÍNEZ

GILBERTO HERNÁNDEZ CÁRDENAS

MARIANA ROJAS ARECHIGA

GERARDO LÓPEZ ORTEGA

MARÍA DEL CARMEN HERRERA FUENTES

JAIME RIVERA HERNÁNDEZ

OLIVA DE LA ROSA RODRÍGUEZ

Introducción

En este informe se presentan los resultados del trabajo realizado dentro del convenio FB217/GO22/95 "Estatus ecológico de *Mammillaria pectinifera* Weber y *Pachycereus fulviceps* Weber en el valle de Zapotitlán, Puebla".

Como puede apreciarse en el título, se ha sustituido el nombre *Pachycereus fulviceps* por el de *Mitrocereus fulviceps* en virtud de que la última es la denominación taxonómica más aceptada en la actualidad. En consecuencia, este es el nombre que utilizamos en este informe.

Dado que en el proyecto aprobado por la CONABIO se presentan de manera extensa tanto la problemática de las especies estudiadas, como los fundamentos teóricos del trabajo, aquí no hemos incluido una sección específica si bien estos puntos son retomados a lo largo de este informe.

Este documento se acompaña de información digitalizada relacionada con el Sistema de Información Geográfica elaborado para describir la distribución de las especies estudiadas a partir de la digitalización de la carta topográfica Tehuacán E1411375 escala 1:50000 del Instituto Nacional de Geografía e Informática. Esta información se presenta en formato de Arcinfo para estación de trabajo y está incluida en los siguientes archivos:

G022.GZ archivo comprimido con GZIP. Incluye los archivos de pendientes y orientación de ladera no clasificados. Este archivo, debido a su gran tamaño fue enviado a la CONABIO vía FTP.

CONTEHUA.EOO archivo con la cobertura de curvas de nivel.

DISMITRO.ZIP archivo que contiene la información de distribución de *Mitrocereus fulviceps* en formato ArcView.

Los objetivos que consideramos cumplidos en este estudio son:

Objetivo general

Diagnosticar el estatus ecológico de dos especies de cactáceas de la región de Zapotitlán, Puebla, (*Mammillaria pectinifera* Weber), y (*Mitrocereus fulviceps* Weber), y plantear alternativas para su conservación y manejo.

Objetivos particulares

1. Estimar los estadísticos vitales de las poblaciones de *Mammillaria pectinifera* y *Mitrocereus fulviceps* en la región de Zapotitlán, Puebla.
2. Elaborar modelos demográficos para vaciar en ellos los anteriores datos, y analizar dichos modelos para entender la dinámica y estructura de las poblaciones.
3. Documentar cartográficamente las áreas de distribución y las densidades de *Mammillaria pectinifera* y *Mitrocereus fulviceps* en la región de Zapotitlán, Puebla.
4. Investigar las posibles correlaciones entre los patrones de distribución y abundancia y diferentes características micro/mesogeográficas de la zona de estudio.

5. Integrar las dos anteriores fuentes de información (la demográfica y la micro/mesogeográfica) en una descripción/ discusión a un suficiente nivel de detalle, sobre el estatus ecológico de las especies bajo estudio.

6. Hacer las propuestas de conservación y manejo correspondientes

Aunque el planteamiento metodológico general fue el mismo para el estudio de ambas especies, en lo particular existen importantes diferencias dadas por diferencias en características intrínsecas a cada una de ellas lo que llevó a un tratamiento diferente para su estudio. Es por esto que los resultados obtenidos se presentan de manera separada en este informe.

Consideramos que es importante enfatizar que ahora la zona de nuestro estudio forma parte de un sistema integral de protección enmarcado en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán que será decretada como tal en los días en que este informe es presentado. Así, esperamos que los resultados obtenidos contribuyan a la conservación de las especies estudiadas y que el planteamiento metodológico que utilizamos pueda ser de utilidad en el futuro para este tipo de estudios.

Dado el vulnerable estado de las poblaciones de una de las especies estudiadas, nos permitimos solicitar una rigurosa confidencialidad en cuanto a la difusión de la información sobre las localidades de *Mammillaria pectinifera* aquí reportadas. Asimismo, solicitamos no difundir la información básica presentada hasta que la hayamos publicado idóneamente, de acuerdo al plazo de tres años especificado en los términos de referencia del convenio.

Finalmente queremos agradecer a S. Arizaga, E. Peters y E. Ezcurra, por la información para la localización de algunas de las poblaciones de *Mammillaria pectinifera*, a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, así como al Departamento de Biología de la UAM- Iztapalapa los apoyos recibidos para la realización de este proyecto.

Descripción

Mammillaria pectinifera Weber es una cactácea globosa de c.a. 3 cm de diámetro (Fig. 1). Presenta tubérculos cónicos y lateralmente comprimidos, ordenados en 8 y 13 series espiraladas. Cada areola tiene de 20 a 40 espinas radiales blancas, cortas y pectinadas que ocultan el tallo. No presenta espinas centrales. Las flores son campanuladas, surgen de la región lateral del tallo, en las axilas de los tubérculos viejos. Miden alrededor de 1 cm de diámetro y generalmente son de color rosa pálido. El fruto es oblongo, de 4 a 6 mm de longitud, de color blanco o rojizo. Es endémica del Valle de TehuacánCuicatlán (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991). Estos organismos no reiteran a menos que el meristemo apical sea destruido. Los frutos maduran 3 a 4 meses después de que las flores son polinizadas. La parte apical del fruto se seca y cae en una o dos semanas, mientras que la parte basaj, la cual contiene la mayor parte de las semillas, permanece escondida en una cavidad relativamente profunda entre los tubérculos. Las semillas retenidas de esta forma pueden permanecer en la planta indefinidamente (Boke 1960).

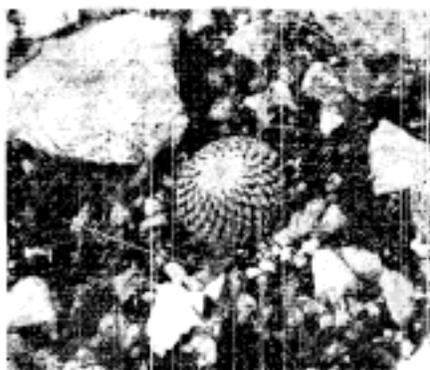


Figura 1. Individuo adulto de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán, Puebla.

M. pectinifera es una planta muy apreciada por los coleccionistas que, desde su descubrimiento en los 1800, ha sido colectada repetidamente del área restringida que ocupa en la naturaleza. Es una especie aislada taxonómicamente cuya única especie conocida relativamente cercana es *Mammillaria solisoides*, otra especie amenazada (Anderson, Arias y Taylor 1994).

Mammillaria pectinifera ha sido considerada como una especie amenazada por la IUCN, e incluida en el Apéndice I del CITES (Hernández & Godínez 1994). También ha sido incluida en la lista de especies amenazadas dentro del Proyecto de Norma Oficial Mexicana de especies de flora y fauna raras, endémicas, amenazadas, en peligro de extinción y sujetas a protección especial (SEDESOL 1993).

Geolocalización de las áreas de distribución.

Durante nuestras exploraciones de campo conseguimos ubicar nueve poblaciones de esta especie, siete dentro del área de estudio contemplada en este proyecto y dos fuera de ella (una en el límite noroeste del valle de Tehuacán, cerca de Tecamachalco, Puebla y la última en el cerro Pedernal, cerca de San Sebastián Frontera en el Estado de Oaxaca). La ubicación de estas poblaciones se basó en referencias de habitantes del área de estudio y de colegas cactólogos de la UNAM, además de una búsqueda en localidades con condiciones ambientales aparentes similares a las de los sitios en que ya se habían localizado poblaciones de esta especie.

En la Fig. 2 se muestra la ubicación en la carta hipsométrica de las siete poblaciones de *M. pectinifera* localizadas en el área de estudio obtenida mediante el sistema de información geográfico utilizado. Las poblaciones se indican sólo como puntos pues la superficie que abarcan en ningún caso excede al margen de error inherente al geoposicionador utilizado.

En la Tabla 1 se presentan los datos de ubicación de las nueve poblaciones encontradas. La geo-ubicación de las poblaciones se realizó utilizando un geoposicionador Trimble Scout con señal de al menos cuatro satélites y promediando 100 mediciones consecutivas. Los valores de altitud, pendiente y aspecto se obtuvieron a partir de la base de datos digital. La densidad de individuos en las poblaciones muestreadas se estimó mediante conteos directos en 15 cuadros de 0.50 x 0.50 m ubicados de forma sistemática a lo largo de tres transectos de 10 m cada uno. Como se puede apreciar, las densidades más altas de esta especie se dan en los sitios con mayores dificultades de acceso (Texcala 1 y Chacateca).

Figura 2. Ubicación de siete poblaciones de *Mammillaria pectinifera* en el área de estudio representadas en la carta hipsométrica de la zona de estudio obtenida a partir de la digitalización de la carta topográfica **Tehuacán E14B75** escala 1:50000 del Instituto Nacional de Geografía e Informática. La escala de los ejes X y Y está dada en coordenadas UTM. Ver Tabla 1 para la identidad y características de cada población.

Una búsqueda exhaustiva nos permitió localizar las nueve poblaciones de *Mammillaria pectinifera* aquí reportadas. Sin embargo, es necesario enfatizar que consideramos la posibilidad de existencia de otras poblaciones de esta especie. Así, tenemos referencias indirectas de otras tres pequeñas poblaciones en los lomeríos cercanos a San Antonio Texcala (cerca de las poblaciones Texcala 1, 2 y 3; ver Tabla 1) y una más cerca de la población de Tecamachalco), aunque no hemos conseguido localizarlas. De cualquier manera, nuestros resultados contrastan con la referencia más recientemente publicada (Anderson, Arias y Taylor 1994) donde se reporta la existencia de solamente dos poblaciones de esta especie y una tercera no confirmada en el Estado de Oaxaca, que correspondería a nuestra población del cerro Pedernal en San Sebastián Frontera.

De acuerdo a nuestros resultados podemos decir que *Mammillaria pectinifera* se distribuye en el valle de Tehuacán, de donde es endémica, en suelos calcáreos con relativamente alto contenido de materia orgánica (datos no publicados de Zavala-Hurtado), abarcando un rango altitudinal de 1778 a 21130 m.s.n.m. en laderas con pendientes entre 6 y 220. Las poblaciones encontradas se ubican solamente en laderas Este con azimuth entre 21 y 175°. Estas "preferencias" geomorfológicas implican una gama de regímenes de radiación solar (y térmico y de humedad, en consecuencia) que deberán ser estudiados en términos de la morfología funcional de esta planta para poder ofrecer una explicación más proximal sobre los patrones de distribución de esta planta.

Tabla 1. Ubicación geográfica, características geomorfológicas y abundancia local de siete poblaciones (2 a 8) de *M. pectinifera* en el valle de Zapotitlán, Puebla y dos (1 y 9) fuera de los límites considerados para este estudio. Los valores de altitud, pendiente y aspecto de las localidades (1) Tecamachalco y (9) Pedernal fueron estimados *in situ* pues se encuentran fuera del área digitalizada.

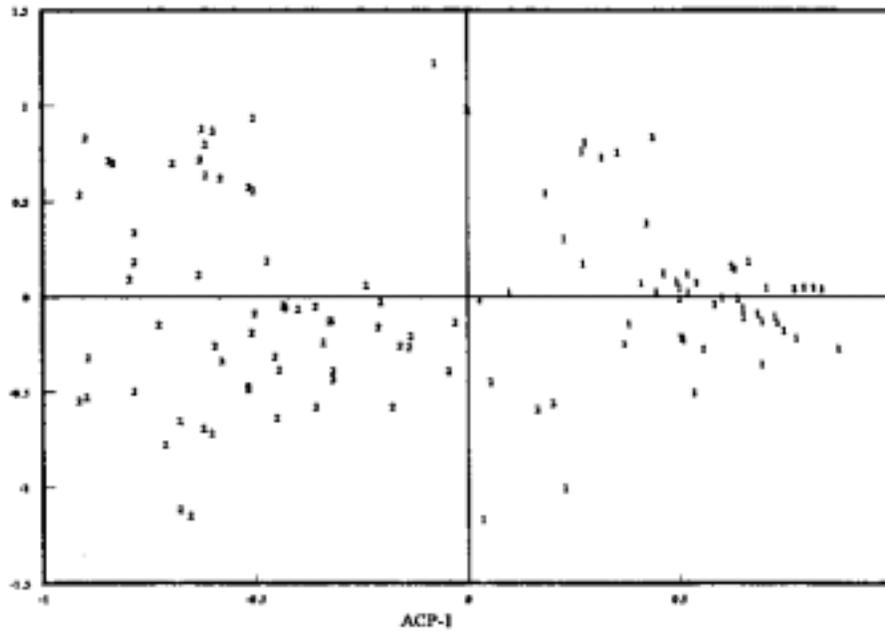
Localidad	Coordenadas UTM (m)		Atitud msnm	Pendiente (°)	Aspecto (°)	Densidad (Inds/m ²) ²
	x	y				
1) Tecamachalco	635819	086549	2070	8	150	11.5
2) El Riego	662350	2039916	1905	18	56	13.23
3) Basurero	666212	2035362	1778	6	37	13.20
4) Texcala 1	662522	2035283	1914	16	95	49.05
5) Texcala 2	662098	2035431	1918	22	21	7.26
6) Texcala 3	661826	2034729	1972	7	90	6.42
7) Chacateca	661236	2030485	2130	19	126	24
8) Cerro Gordo	644524	2029023	2100	21	157	19.6
9) Pedernal	638086	2023706	1950	19	175	17.4

Mammillaria pectinifera coexiste en las comunidades que habita con *Agave marmorata*, *A. stricta*, *A. verschafeltii*, *Bouvardia sp.*, *Bursera sp.*, *Calliandropsis nervosus*, *Cassia sp.*, *Cnidoscolus tehuacanensis*, *Cordia cylindrostachya*, *Coryphanta pallida*, *Dalea sp.*, *Dasylyrion acrotriche*, *Echeveria subsessilis*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus robustus*, *Gymnosperma glutinosa*, *Gochnatia sp.*, *Gomphrena sp.*, *Hechtia podantha*, *Iresine nitens*, *Jatropha dioica*, *Karwinskia humboldtiana*, *Loeselia sp.*, *Mammillaria haageana*, *M. mystax*, *Opuntia sp.*, *Sanvitalia fruticosa*, *Sedum liebmannianum*, *Stipa sp.*, *Tecoma stans*, *Triquillia sp.* y *Turnera difussa*, entre otras.

Relaciones ambientales de *Mammillaria pectinifera*

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) no estandarizado y con doble centrado para una matriz de presencia-ausencia de especies para 133 muestras en los alrededores de los sitios ubicados cerca de San Antonio Texcala (Fig. 3a). Los resultados muestran una clara separación de las muestras en el espacio de ordenación de las especies, formándose dos grandes grupos de muestras: aquellas con *Mammillaria pectinifera* y sin ella.

A



B

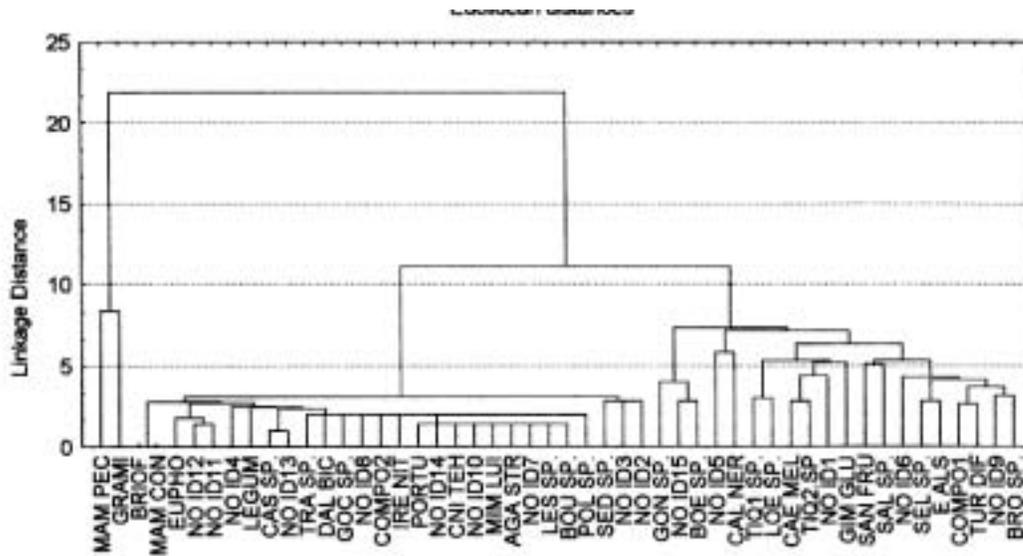


Figura 3. (a) Diagrama de ordenación por un análisis de componentes principales de 133 muestras de 20x20 cm con base en la presencia o ausencia de las especies ; 1= muestras donde está presente *M. pectinifera* ; 2= muestras donde está ausente y (b) dendrograma que muestra el proceso jerárquico de clasificación de 50 especies en 133 muestras de vegetación.

Con la misma matriz se realizó un análisis de clasificación utilizando un procedimiento aglomerativo, politético y jerárquico (Ward 1963) con base en una matriz de distancias euclidianas. Este análisis reforzó el patrón detectado en el análisis de ordenación. En el dendrograma (Fig. 3b) resultante se forman claramente dos grupos de especies: un grupo con el binomio *M. pectinifera-gramineas* y un segundo que incluye al resto de las especies registradas. Aquí encontramos que tanto *M. pectinifera* como las gramíneas comparten requerimientos ecológicos diferentes al resto de las especies consideradas.

En cada unidad de muestreo se registraron las siguientes variables ambientales: altitud (en m.s.n.m.), pendiente (en °), orientación de la ladera (en °), pedregosidad (en %), humedad del suelo (en %), profundidad del suelo (en cm), pH del suelo, y conductividad eléctrica del suelo (en micro Ohms).

Con el fin de interpretar ambientalmente al gradiente principal (primer componente principal) extraído mediante el análisis de ordenación, se realizó un análisis de regresión múltiple paso a paso del primer eje de la ordenación como variable dependiente y las variables ambientales registradas como independientes. Se encontró una respuesta significativa ($p < 0.005$; $r = 0.4362$) del eje de ordenación a la humedad del suelo y la pedregosidad de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ACP1 = 0.834 + 0.0491HUM - 8.071HUM^2 - 0.60PEDR$$

Utilizando modelos lineales generalizados (Baker y Nelder 1978), se estimaron curvas de respuesta de *Mammillaria pectinifera*, tanto para estas dos variables ambientales, como para el primer eje de ordenación, dado que el modelo de regresión solo explica el 19% de la varianza de este eje. Los modelos lineales generalizados se construyeron con base en una distribución binomial (presencia-ausencia) enlazada con un predictor lineal mediante una función logit.

En la Figura 4a se puede apreciar la conducta de la especie de interés a lo largo de un gradiente definido por el análisis de ordenación realizado. Es claro que la probabilidad de presencia de *M. pectinifera* se incrementa con valores altos de este eje de variación que, al menos parcialmente se corresponde de manera inversa con la humedad del suelo y la pedregosidad.

La Figura 4b muestra la probabilidad de presencia de *Mammillaria pectinifera* a lo largo de un gradiente de humedad del suelo. Se puede apreciar que existe una probabilidad máxima de presencia de *M. pectinifera* bajo condiciones intermedias de humedad del suelo. A este punto, es preciso puntualizar que la medición de humedad utilizada realmente es una estimación de la capacidad de retención de humedad del suelo luego de un evento de precipitación ocurrido cuatro días antes del muestreo.

En la Figura 4c se aprecia que la probabilidad de presencia de *M. pectinifera* aumenta a medida que decrece la pedregosidad de la superficie del suelo.

Densidades y estructuras poblacionales

En cada una de las poblaciones localizadas (excepto El Riego, Texcala 2 y Texcala 3, ver Tabla 1), se midió el diámetro de 150 individuos para el estudio de la estructura de tamaños de *M. pectinifera* en las poblaciones analizadas.

En la figura 5 se presentan los histogramas de frecuencias de categorías de tamaño de *M. pectinifera* en las poblaciones muestreadas. Se puede apreciar que salvo en los sitios Texcala 1, Chacateca y en menor grado el sitio Pedernal, que son los menos accesibles, hay una baja frecuencia de individuos pequeños, lo que sugiere un reclutamiento relativamente bajo y, probablemente una baja viabilidad de las poblaciones.

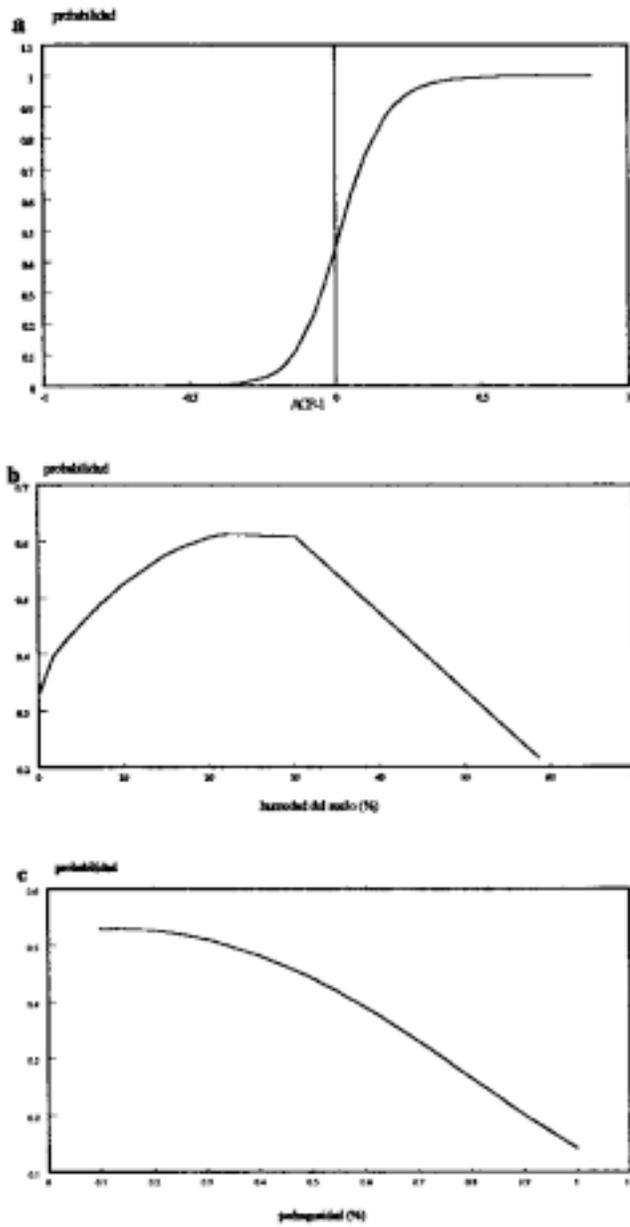
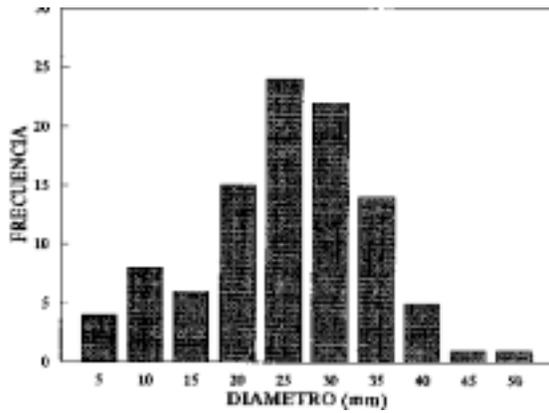
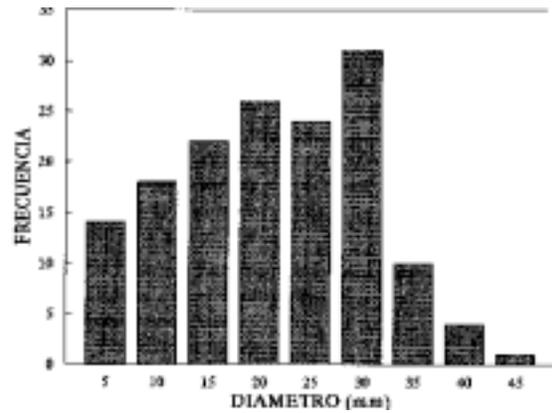


Figura 4 . Probabilidad de presencia de *Mammillaria pectinifera* a lo largo de un gradiente definido por (a) el primer eje de un análisis de componentes principales, (b) la humedad del suelo y (c) pedregosidad en el valle de Zapotitlán, Puebla.

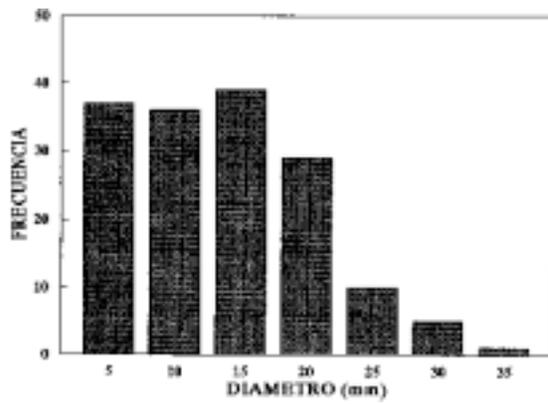
SITIO TECAMACHALCO
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS



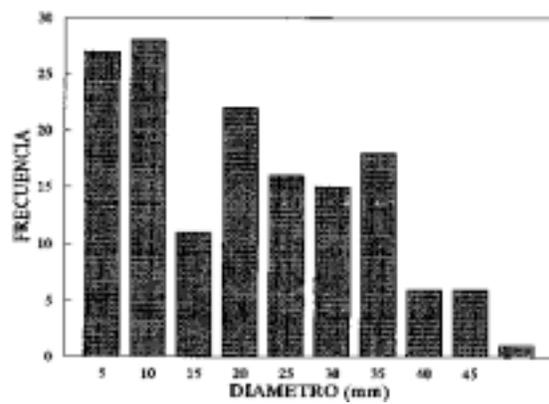
SITIO BASURERO
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS



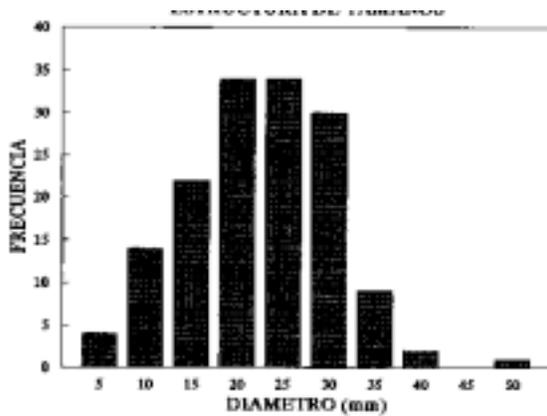
SITIO TEXCALA 1
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS



SITIO CHACATECA
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS



SITIO CERRO GORDO
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS



SITIO PEDERNAL
ESTRUCTURA DE TAMAÑOS

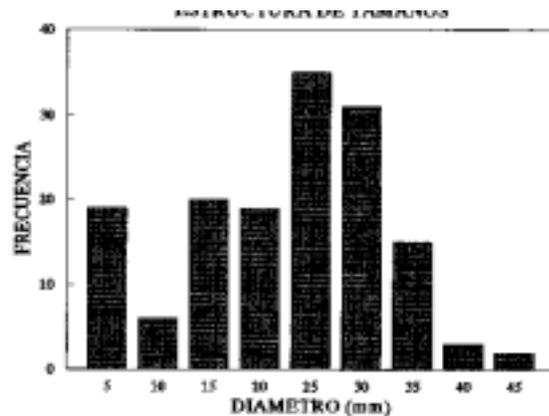


Figura 5, Estructuras de tamaños de seis poblaciones de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán, Puebla. Ver Tabla 1 y Figura 2 para la localización geográfica de las poblaciones.

Sobrevivencia y reclutamiento de *Mammillaria pectinifera*

Durante el seguimiento de cuadros permanentes de observación ubicados en el sitio Texcala 1 se cuantificó la desaparición (por muerte o remoción, que tienen el mismo efecto demográfico), así como la aparición de nuevos individuos de *M. pectinifera*. En la Figura 6 se presenta la mortalidad relacionada con el tamaño de los individuos y se puede apreciar una relación exponencial negativa con una alta mortalidad de individuos pequeños y relativamente baja en individuos de mayor talla.

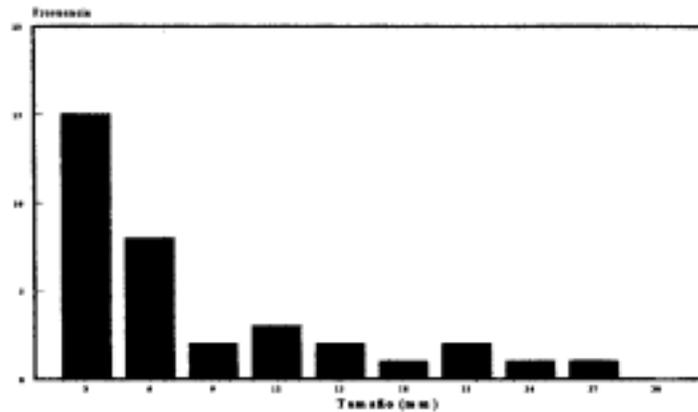


Figura 6. Histograma que muestra la frecuencia de muertes en individuos de *M. Pectinifera* de diferentes categorías de tamaños en una población del Valle de Zapotitlán, Puebla

En la Figura 7 se presenta el número de muertes y aparición de nuevos individuos en los cuadros permanentes de observación durante los muestreos realizados entre octubre de 1995 y agosto de 199E en la población Texcala 1. La aparición de nuevos individuos implica la detección de plantas que probablemente germinaron unos cuatro meses antes de la fecha de su registro con lo que los individuos detectados en el mes de octubre de 1995 no habrían nacido durante el periodo de observación.

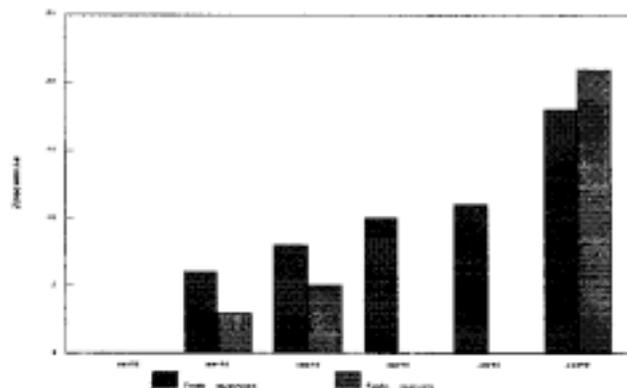


Figura 7. Muertes y aparición de nuevos individuos de *M. pectinifera* en cuadros permanentes de observación en el valle de Zapotitlán, Puebla.

El seguimiento de la desaparición por muerte o remoción en los cuadros permanentes de observación del sitio Texcala 1 mostró una alta mortalidad de individuos de la población en cuestión, como se puede apreciar en la Figura, entre agosto de 1996 y enero de 1997. La mortalidad estimada en el periodo que duró este estudio fue de 55.15%, lo que contrasta con un incremento en la población por reclutamiento de solo 16.59%. Hasta ahora la posible explicación que podemos dar a esta alta mortandad es la presencia de larvas de Coleópteros (probablemente Familia Cerambycidae) dentro del cuerpo de las plantas muertas, y que, aparentemente, utilizan a éstas como alimento y como recinto donde se desarrolla la pupa hasta la eclosión del adulto. Fueron colectadas algunas larvas de estos organismos y cultivadas en laboratorio para tratar de obtener individuos adultos para su posterior identificación con resultados negativos ya que todas las larvas murieron antes de pupar. Asimismo, es importante mencionar el haber encontrado rastros de colecta de *M. pectinifera* (al menos en este sitio) como otro posible factor de perturbación de esta población.

Crecimiento y edad

Se continuó hasta el mes de octubre de 1996 el seguimiento *del crecimiento de individuos de M. pectinifera en seis* cuadros permanentes de observación en la población Texcala 1 (ver Tabla 1). En la Figura 8 se presenta la relación entre el tamaño (diámetro) de los individuos estudiados y su tasa de crecimiento. Aunque una alta dispersión de puntos indica una relativamente alta variabilidad en la relación entre las características consideradas, se puede apreciar claramente una relación alométrica que muestra un crecimiento más acelerado (aunque con tendencias a una asintotización) a medida que aumenta el tamaño (y por consiguiente la edad) de los individuos. El modelo que describe esta relación es

$$T.C. = 10^{(-0.56271 + 0.822026D)}$$

donde

T.C. = Tasa de crecimiento (mm/año)

D = Diámetro del individuo (mm)

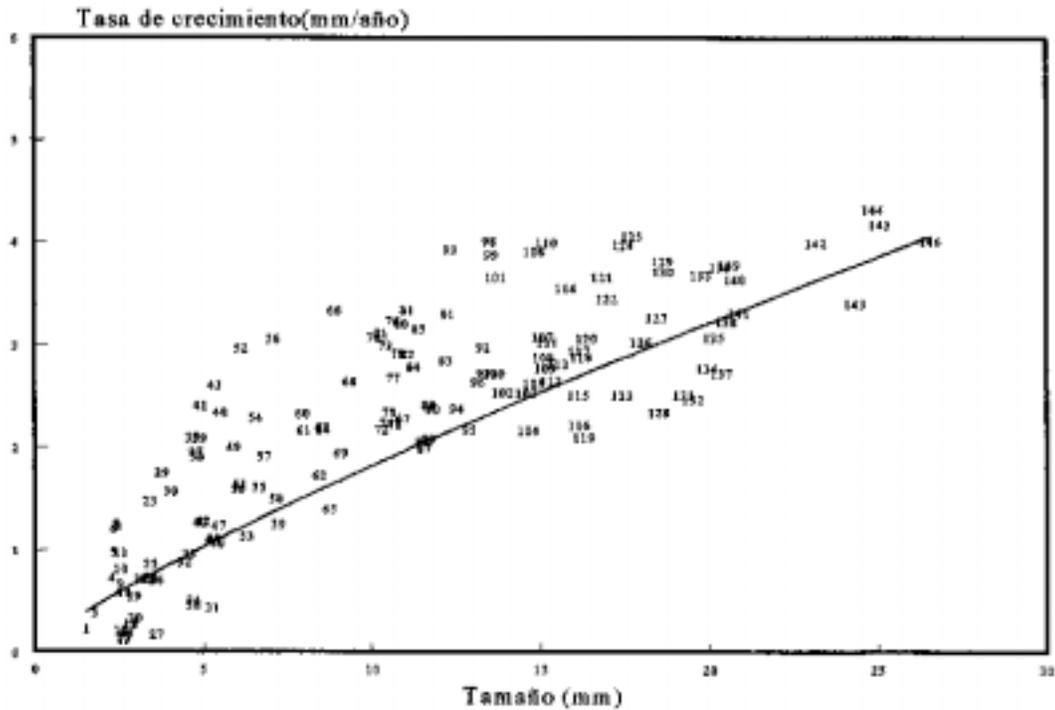


Figura 8. Relación entre tamaño y tasa de crecimiento de 172 individuos de *Mammillaria pectinifera* en seis cuadros permanentes en una población en el valle de Zapotitlán, Puebla ($r^2 = 0.6683058$; $p < 0.00001$, $n = 148$).

A partir de esta relación entre tamaño y tasa de crecimiento, se pudo estimar la edad de plantas para el sitio de estudio considerando clases de tamaño de 1.0 mm de diámetro. En la Figura 9 se presenta esta estimación con una proyección hasta los 40 mm que aunque en el sitio Texcala 1 no se encontró ningún individuo de ese tamaño, en el sitio Chacateca si. Cabe destacar que, aunque consideramos nuestras estimaciones como válidas, se deben tener las precauciones pertinentes cuando se traten de extrapolar para otras poblaciones.

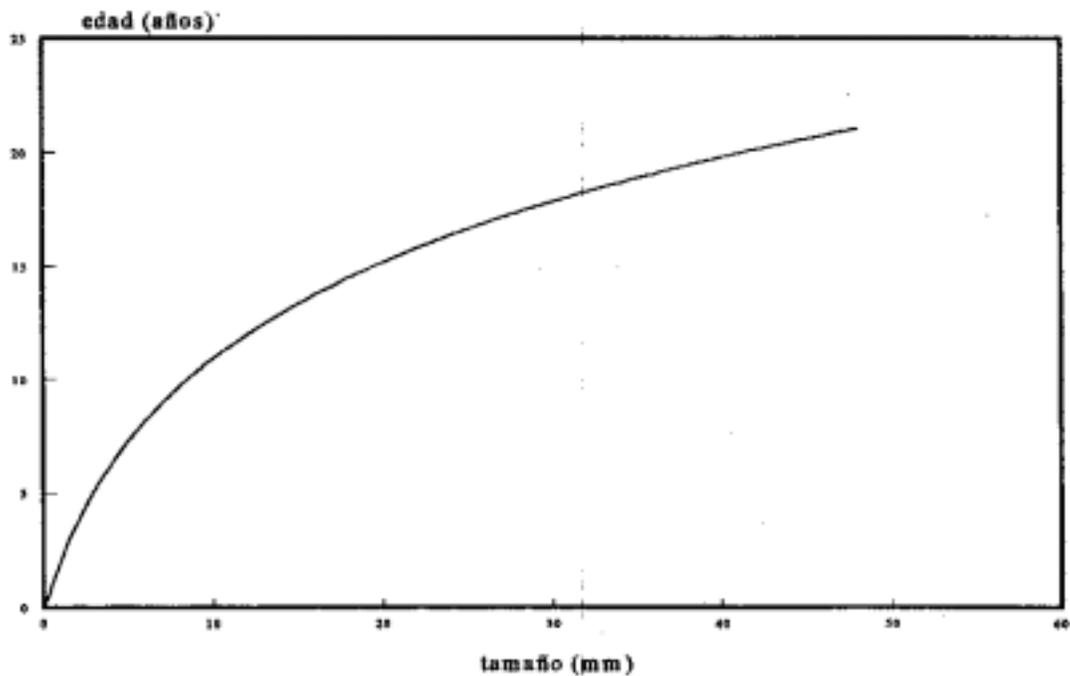


Figura 9. Relación entre el tamaño y la edad para una población de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán. La edad fue estimada a partir de la relación alométrica entre el tamaño y la tasa de crecimiento (ver Fig. 8).

Floración y fructificación

Las primeras plantas con flor las detectamos el 7 de diciembre de 1995 y el pico de floración se dio en febrero de 1996. Los primeros frutos los detectamos en enero de 1996 y el máximo se presentó a finales de febrero.

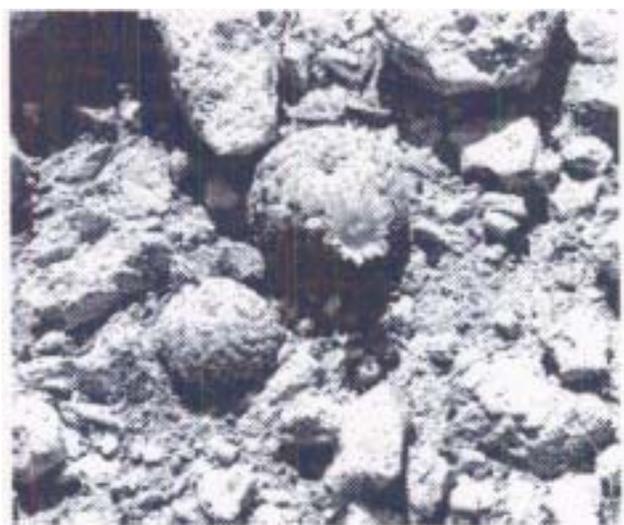


Figura 10. Individuo de *Mammillaria pectinifera* en floración.

En la Figura 11 se presentan las flores y frutos registrados en los seis cuadros permanentes de observación entre el 7 de diciembre de 1995 y el 25 de febrero de 1996.

En enero de 1996 realizamos las primeras observaciones de visitantes de las flores. En esa ocasión observamos hormigas que removían los pétalos y pudieran ser polinizadores. Colectamos especímenes de estas hormigas para su identificación con la ayuda de la Biól. María del Carmen Herrera, entomóloga del Departamento. de Biología de la UAM-Iztapalapa.

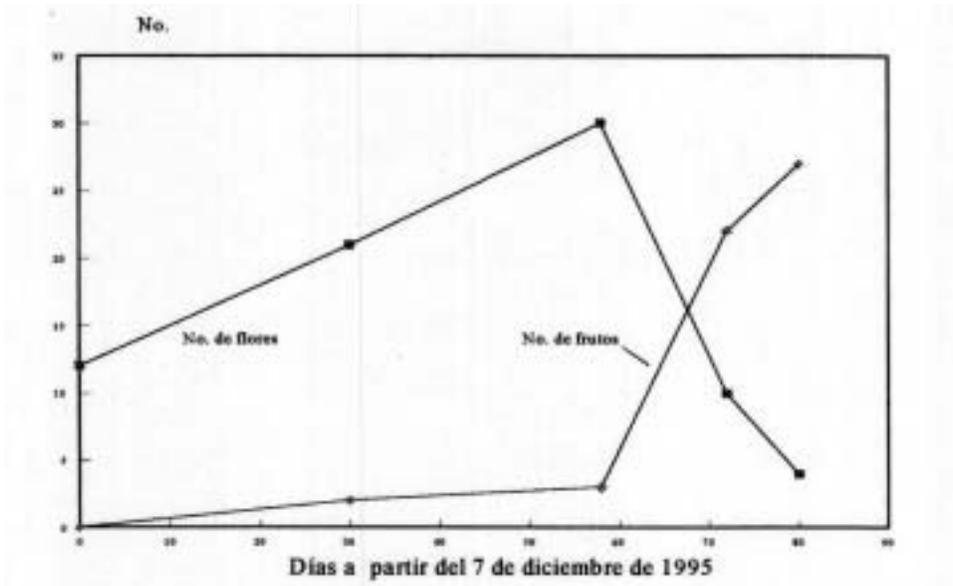


Fig. 11. Número de flores y frutos producidos en seis cuadros permanentes de observación de *Mammillaria pectinifera* a partir del 7 de diciembre de 1995.

La floración de *Mammillaria pectinifera* en 1996-1997 se inició al menos un mes antes que la registrada dentro de este proyecto en 1995-1996 (y de reportes informales de años anteriores). Las causas de esta variación no son claras, aunque pudieran tener que ver con variaciones en disponibilidad de agua. En la Figura 12 se presenta el patrón de floración y fructificación registrado en los cuadros permanentes de observación.

En la Figura 12 se puede observar, además del ya señalado adelanto en la temporada de floración y fructificación, una producción de flores y frutos marcadamente más baja que en 1995-1996. Esto está claramente relacionado con la muy alta mortalidad reportada en el quinto informe. Por otra parte, en esta temporada contamos con el seguimiento completo del patrón de fructificación, que como se recordará quedó trunco en 1996 debido a la huelga de la UAM.

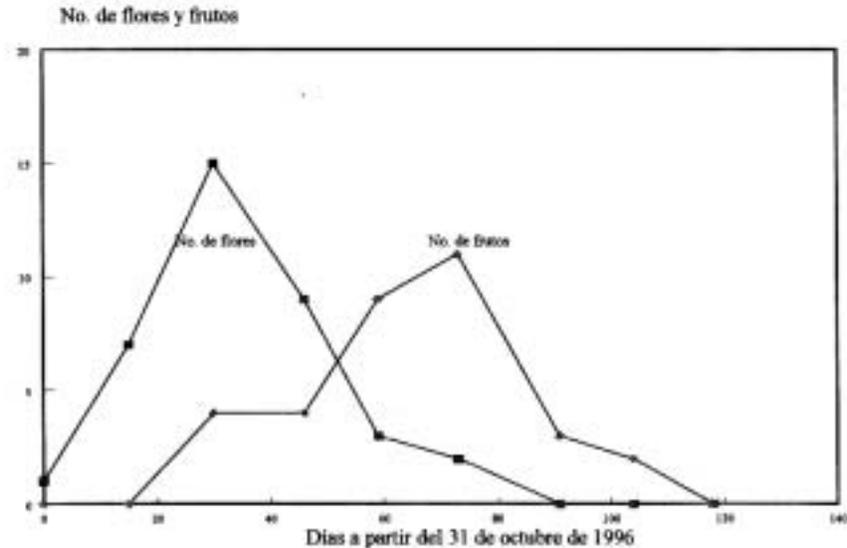


Fig.12 Patrones de floración y fructificación de *Mammillaria pectinifera* en seis cuadros permanentes de observación en San Antonio Texcala, Puebla a partir de! 31 de octubre de 1996.

Por otra parte, encontramos que la madurez reproductiva se da cuando los individuos adquieren una talla de 19 ± 2.01 mm, que correspondería a una edad de alrededor de 14 años, de acuerdo a nuestras estimaciones. Esta cifra contrasta asombrosamente con reportes de plantas propagadas en viveros comerciales que alcanzan madurez reproductiva a los dos años de edad (Anderson, Arias y Taylor 1994) y da una idea de los retos que el ambiente natural impone para los individuos que en él se desarrollan.

Producción de semillas y germinación.

De individuos reproductivos fuera de los cuadros de observación permanente del sitio Texcala 1, se colectó un total de 50 frutos, encontrándose una producción de $18 + 3.2$ semillas/fruto. Treinta de esos frutos fueron colectados en febrero de 1996 y 20 en diciembre de 1997.

Se pudo observar que los frutos producidos permanecen en la planta durante un número indeterminado de años y, a medida que el individuo crece, aquellos se van desplazando hacia la periferia, quedando eventualmente enterrados. De hecho, pudimos observar que la germinación de las semillas se da en los frutos pegados a la planta madre y que las plántulas literalmente "nadan" en un suelo sumamente poroso, alejándose así un poco de su progenitora. Así, las semillas colectadas provenían de dos tipos de frutos: aquellos producidos en la temporada reproductiva correspondiente y los producidos en eventos reproductivos ocurridos años atrás. Cabe hacer notar que para colectar semillas "viejas" es necesario desenterrar a la planta con lo que muy probablemente se le cause daño, tal vez irreversible.

Con las semillas colectadas en febrero de 1996 se realizó un experimento de germinación en el vivero

comercial "Cuthá" de Zapotitlán. Utilizando suelo proveniente del sitio Texcala 1 y bajo una sombra de 50%, se comparó la tasa de germinación entre semillas de producción reciente (n=175) y aquellas extraídas de frutos viejos (n=175) sin ningún pretratamiento (Figura 13). Se encontró un porcentaje global de germinación del 22.29%, al cual contribuyen más las semillas provenientes de frutos antiguos (17.14%) que aquellas de frutos recientes (5.14%).

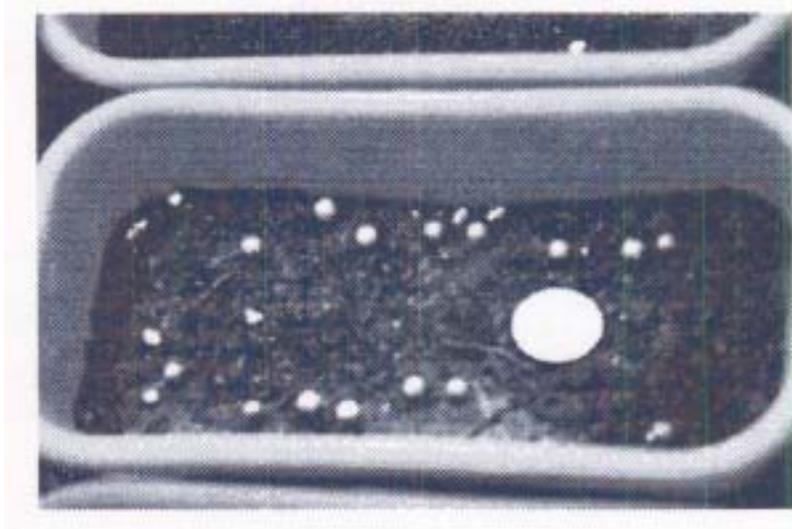


Figura 13. Plántulas de *Mammillaria pectinifera* tres meses después de la germinación en el primer *experimento* de germinación.

Al momento de escribir este informe se encuentra en curso un segundo experimento, esta vez bajo condiciones de laboratorio que implican un fotoperiodo de 12 horas y una temperatura constante de 25°C. En este caso no se colectaron semillas de frutos viejos dado el método destructivo requerido para su colecta. En este caso se compara la germinación de semillas de frutos producidos en noviembre-diciembre de 1996 en las poblaciones Texcala 1 (n=125) y Basurero (n=125) (ver Tabla 1). Utilizando un medio de agar y sin pretratamiento alguno, después de 16 días se tiene un porcentaje de germinación del 19.20% para Texcala 1 y del 13.6% para Basurero.

Interacciones bióticas.

Durante el desarrollo del presente proyecto y de manera informal, debido a limitaciones prácticas, pudimos observar diferentes interacciones con entomofauna.

Para el sitio Basurero se realizaron videofilmaciones y colectas de los posibles polinizadores de las flores de *M. pectinifera* en el período de floración de esta especie. Los ejemplares colectados se encuentran en fase de identificación. Destacan insectos de los órdenes Ortóptera (grillos) e Hymenoptera (hormigas). Las observaciones realizadas muestran que las flores de esta planta son parte importante de la dieta alimenticia, en esta época del año, de los insectos mencionados, y que, a través de esta interacción alimenticia sea posible la polinización de las flores.

En este mismo sitio, se mapearon y etiquetaron un total de 40 individuos, excluyendo de posibles polinizadores a 20 de ellos a través de pequeñas mallas que cubrían todo el individuo en cuestión y en los

cuales se habían detectado claramente flores abiertas y botones florales. Esto, teóricamente, además de evitar posibles polinizaciones, evitaría, cuando las flores se conviertan en frutos, la posible dispersión de estos y consecuentemente de las semillas. Desgraciadamente, y a pesar de ser un área de acceso restringido, la totalidad de las exclusiones fueron removidas, con lo que no se pudo obtener ningún resultado.

Otras observaciones son las ya referidas en el apartado sobre sobrevivencia y mortalidad del caso de las larvas de coleópteros dentro de los tallos de individuos de *M. pectinifera*. también se observaron escarabajos adultos consumiendo tejido vegetativo de la planta (Figura 14). Pensamos que existe la posibilidad de que este coleóptero sea el mismo cuya larva se desarrolla dentro de individuos de nuestra cactácea.

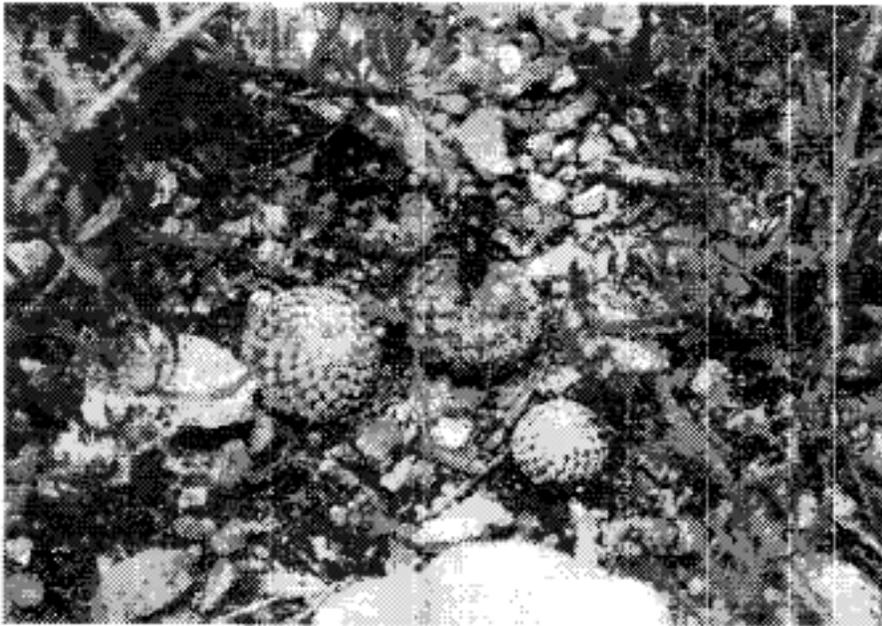


Figura 14. Coleóptero herbívoro consumiendo el tallo de un individuo adulto de *Mammillaria pectinifera* en el sitio Chacateca (ver Tabla 1) dentro del valle de Zapotitlán, Puebla.

Con respecto a la depredación de semillas de esta especie, realizamos un experimento en el que se colocaron cuatro recipientes con 25 semillas cada una. A partir de las ocho de la noche se cuantificó el número de semillas en cada recipiente cada dos horas. Los resultados se presentan en la Figura 15. Cabe hacer notar lo limitado de este experimento en cuanto a la posibilidad de realizar un número suficiente de repeticiones (y tratamientos) para cualquier análisis estadístico dada la muy baja cantidad de semillas disponibles y las consideraciones éticas y prácticas de "condenar a muerte" a un número importante de semillas de una especie en peligro de extinción. En la Figura 15 se puede apreciar que la depredación de semillas se da en las horas de la mañana y se pudo observar en el campo que la remoción de semillas fue realizada por hormigas del género *Pogonomyrmex* que son organismos granívoros muy comunes en el valle de Zapotitlán.

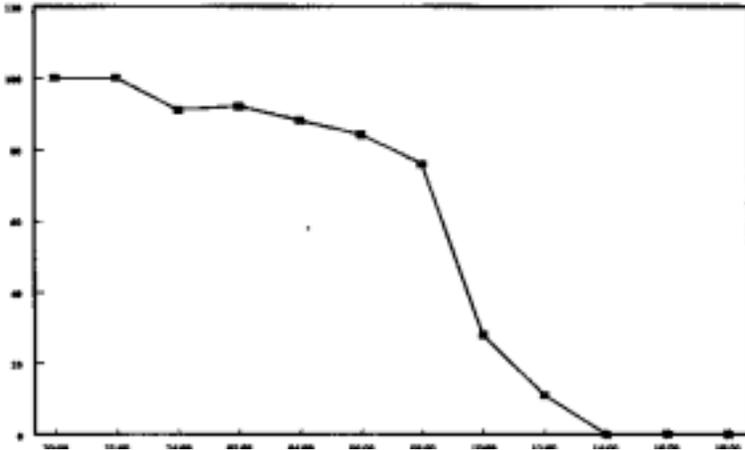


Fig. 15. Patrón de remoción de semillas de *Mammillaria pectinifera* durante 24 horas el día 11-12 de abril de 1997 en San Antonio Texcala, Puebla.

Finalmente, con respecto a este punto, es importante señalar que, dada la ya señalada retención de frutos en individuos maduros de esta especie, consideramos que la depredación y eventual dispersión de semillas por animales se debe dar por el consumo directo de frutos recientes y no de semillas en el suelo. Sin embargo, no realizamos ningún experimento de depredación de frutos.

Simulación de la dinámica poblacional.

En este trabajo se empleó un planteamiento demográfico para la evaluación del estatus de *Mammillaria pectinifera*. Siguiendo los planteamientos de Caswell (1989), tenemos que el modelo diagramático del ciclo de vida de esta especie sería

Etapas 1: Semillas

Etapas 2: Plántulas (0-2.5 mm de diámetro) Etapas 3: Juveniles (2.5-12.0 mm de diámetro) Etapas 4: Adultos (12.0-27 mm de diámetro) Etapas 5: Viejos (>27 mm de diámetro)

Como se puede apreciar, salvo en el caso de las semillas, las etapas del modelo están determinadas de acuerdo al tamaño de los individuos. El criterio es arbitrario, aunque se basa en nuestras observaciones y, en el caso del paso de juveniles a adultos, en nuestros datos del tamaño mínimo en que se producen flores.

Probabilidades de transición

Los parámetros que por excelencia caracterizan un modelo matricial son las probabilidades de paso de una categoría a la siguiente, de ahí el nombre matriz de "transición". En organismos en los que la edad es la variable más adecuada para clasificar a los individuos de la población, las probabilidades de transición de una categoría a la siguiente son las probabilidades de sobrevivencia. Esto es, un individuo sólo puede pasar

de una edad a la siguiente si sobrevive, y a la inversa, si sobrevive, está forzado a pasar de una determinada categoría de edad a la siguiente. En organismos en los que la clasificación por etapas racionaliza mejor las diferencias entre individuos en cuanto a crecimiento, sobrevivencia y reproducción, las probabilidades de transición de una categoría a otras (no necesariamente sólo la siguiente), está determinado por el desarrollo u otros procesos fisiológicos, el crecimiento, etc.

A partir de nuestras estimaciones de sobrevivencia en el paso de una etapa a la otra, construimos la siguiente matriz de transición

	Semilla	Plántul	Juvenil	Adultos	Viejos
Semillas	0.0000	0.0000	0.0000	32.8410	18.000
Plántulas	0.0043	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Juveniles	0.0000	0.6250	0.5802	0.0000	0.0000
Adultos	0.0000	0.0000	0.2469	0.8246	0.0000
Viejos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Análisis e interpretación del modelo

Para el análisis del modelo matricial empleamos STAGECOACH versión 2.3, un programa en Fortran 77 elaborado por Cochran (1992) para calcular de los métodos propuestos por Cochran y Ellner (1992). Este programa incluye parámetros basados en etapas, como es nuestro caso, tales como el espectro de eigenvalores, eigenvectores derecho e izquierdo (la distribución estable de etapas y el valor reproductivo, respectivamente) y matrices de sensibilidad y elasticidad para la tasa finita de incremento poblacional (λ , el eigenvalor dominante). STAGECOACH también calcula los parámetros necesarios para una descripción basada en edades de una población estructurada en etapas:

1. La función de sobrevivencia discreta, I_x
2. La función de maternidad, f_x
3. La edad media a la madurez
4. La tasa reproductiva neta, R_0
5. La distribución estable de edades
6. El valor reproductivo a edad específica, V_x/V_I
7. El tiempo de generación
8. La distribución de edades y edad media de residencia en cada etapa
9. El tiempo de vida remanente esperado en cada etapa
10. El tiempo de vida total, condicionado a alcanzar una etapa dada

Las estimaciones de estos parámetros se presentan en el Apéndice 1. En esta sección consideraremos los más relevantes para la evaluación del estatus de *M. pectinifera*.

La tasa finita de incremento poblacional estimada es:
 $\lambda = 0.90807$

Este valor de λ indica que la población estudiada está decreciendo, lo cual confirma el peligro en que se encuentra su sobrevivencia.

En la Figura 16 se representa la distribución estable de etapas para la población estudiada, así como la distribución observada en campo. Después de una prueba de Xi-cuadrada no se encontró diferencia significativa entre las dos distribuciones de etapas ($p > 0.9$). Así, dado que la tasa finita de crecimiento poblacional es menor que 1.0, podemos decir que nuestra población se encuentra decreciendo de manera exponencial.

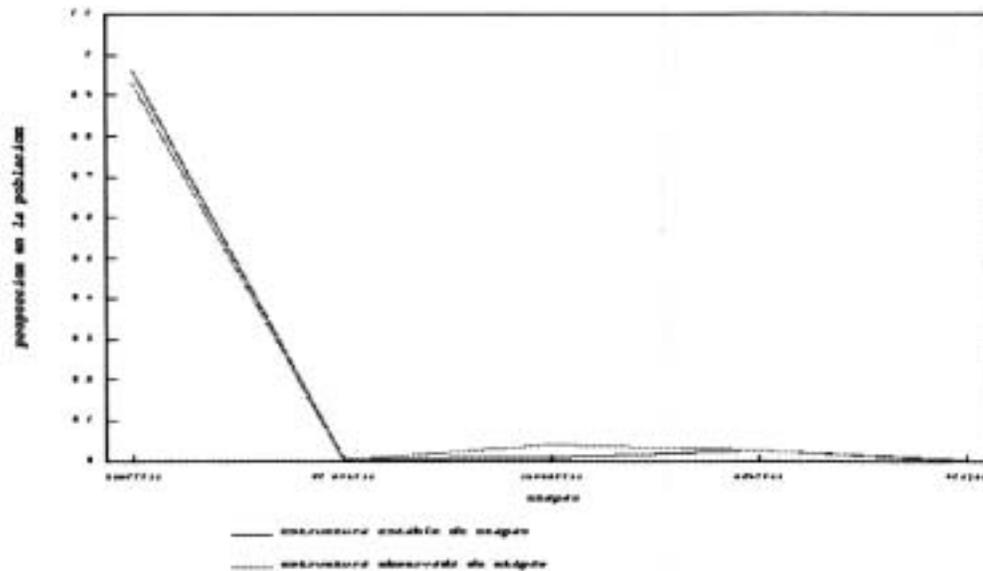


Figura 16. Distribución de estructuras de etapas en una población de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán.

En la Figura 17 se muestra el comportamiento del valor reproductivo de las cinco etapas consideradas en este estudio. Se puede observar que la etapa 4, adultos, es la que más contribuye al crecimiento de la población.

La matriz de sensibilidad (Apéndice 1) muestra que las variaciones en la etapa 4 (adultos) son las que más afectan a la tasa finita de incremento poblacional (λ). Así, podemos decir que la sobrevivencia de individuos maduros entre 12 y 27 mm de diámetro es el parámetro que requiere mayor atención en algún intento formal de conservación de poblaciones de esta especie. De hecho, creemos que los individuos de esta clase de tamaños son los más afectados por las colectas ilegales y la depredación por larvas de coleóptero mencionada en el apartado de interacciones bióticas.

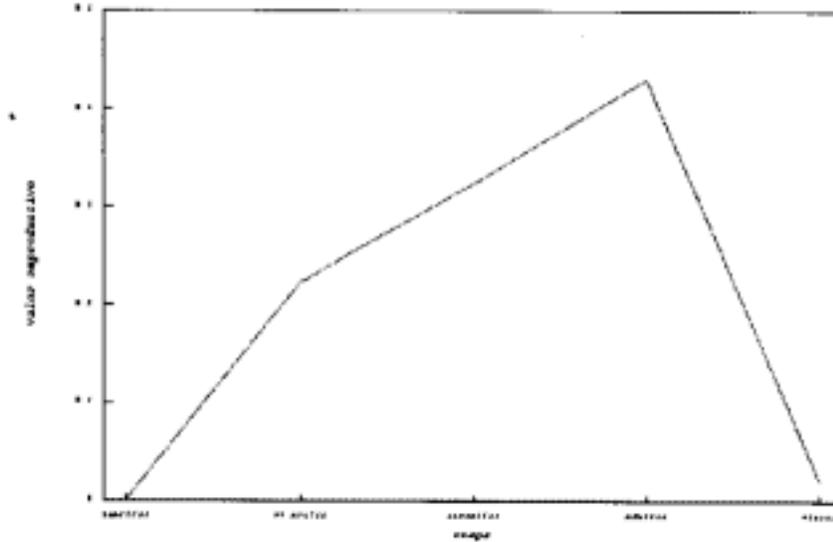


Figura 17. Valor reproductivo de cinco etapas del ciclo de vida en una población de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán

En la Tabla 2 (y el apéndice 1) se muestra la edad media de los individuos en cada etapa del ciclo de vida y la duración de cada etapa. El tiempo estimado de generación de la población es de 15.68 años, mientras que la tasa reproductiva neta (R_0) es de 0.3054, lo que quiere decir que después de un periodo de 15.68 años sobrevivirá solamente un 30.54% de la población, lo cual resulta alarmante en términos de la deseada conservación de las pocas poblaciones conocidas de esta especie. Finalmente, la probabilidad de que una semilla alcance la madurez reproductiva es de 0.001571, lo cual ocurriría (de acuerdo al modelo) a una edad de $5.38 + 15.53$ años, rango dentro del cual está la estimación que hicimos a partir de las tasas de crecimiento y producción de flores en los cuadros permanentes de observación (ver secciones de crecimiento y edad y floración y fructificación).

A partir de las estimaciones de los parámetros mencionados, se realizaron proyecciones a largo plazo del crecimiento poblacional, incluyendo la estimación de probabilidades de extinción de la población. Para esto se utilizó el paquete VORTEX (Lacy 1996) que realiza simulaciones Monte Carlo de eventos demográficos en la historia de una población.

Tabla 2. Edad media y duración de cada etapa del modelo matricial del ciclo de vida de *Mammillaria pectinifera* en el valle de Zapotitlán.

	Edad media (años)	desviación: estándar años	tiempo de perm	desviación estándar años
Semilla	1.00	0.0000	1.02	0.4542
Plántula	2.00	0.00008	4.73	5.0974
	4.77	2.2142	5.97	5.3109
Adultos	15.64	10.595	6.10	5.1990
Viejos	16.64	10.595	1.00	0.0000

Las fluctuaciones en el tamaño poblacional pueden resultar de uno o varios niveles de efectos estocásticos. Así, aunque la probabilidad de que un organismo se reproduzca o muera puede ser constante, se puede esperar que la proporción real de reproducción o muerte en un intervalo de tiempo varíe de acuerdo con una distribución binomial con media igual a la probabilidad del evento (p) y una varianza dada por

$$Vp = p*(1-p)/N$$

Así, la variación demográfica es intrínseca de la población y se da en la simulación porque los eventos de nacimiento y muerte están determinados por un proceso aleatorio, con sus respectivas probabilidades de ocurrencia (Caswell 1989, Ferriere, et al. 1996, Lacy 1996).

VORTEX modela los procesos poblacionales como eventos discretos secuenciales. Los procesos de nacimiento y muerte, así como la transmisión de genes son simulados mediante la generación de números aleatorios para determinar si cada organismo vive o muere, cuanta descendencia puede tener, y cual de los dos alelos de un locus genético es transmitido de cada padre a cada descendiente. Se supone que la fecundidad es independiente de la edad (después de que el organismo alcanza la edad reproductiva). Las tasas de mortalidad son especificadas para cada clase de edad pre-reproductiva y para organismos en edad reproductiva (Lacy 1996).

Se simuló la dinámica de una población de *Mammillaria pectinifera* durante 100 años con 1000 iteraciones, sin depresión por endogamia, con un 25% de autofecundación y con reproducción no densodependiente. Se especificó una edad de primera reproducción de 14.0 años, una edad de senescencia de 20 años y una capacidad de carga (K) de 500 individuos.

Bajo las condiciones mencionadas se obtuvo una tasa finita de incremento poblacional (λ) de 0.90, un tiempo de generación de 15.57 años y una tasa reproductiva neta (R_0) de 0.194. Como se ve, los dos primeros parámetros coinciden con los obtenidos con STAGECOACH, no así R_0 . Esto se puede deber al diferente planteamiento de ambos modelos: STAGECOACH se basa en una estructura de etapas y VORTEX en una estructura de edades. Esto también marca la incertidumbre que se tiene, en cuanto a decisiones de manejo, a partir de un proceso de modelización matemática. Por otra parte, la R_0 obtenida con VORTEX, señalarla un escenario aún más dramático en cuanto a las probabilidades de persistencia de la población.

En la Figura 18 se presenta la simulación del tamaño poblacional para una población con parámetros estimados a partir de datos observados y una segunda población en la que se redujo un 25% la tasa de mortalidad de los individuos adultos y viejos (>de 14 años) que es la etapa con mayor influencia en la sensibilidad de λ . Para este último caso se modificaron los valores de los parámetros como sigue: $\lambda = 0.945$; $R_0 = 0.405$ y tiempo de generación = 15.90.

En la Figura 19 se presenta la probabilidad de que la población se extinga por primera vez, comparando los mismos dos escenarios mencionados en el párrafo anterior. Como puede apreciarse, la disminución en la tasa de mortalidad de 25% retrasa la probabilidad máxima de extinción de la población en 32 años (77 vs. 45 años). Esto es importante pues, de alguna manera, indica que una protección severa de este tipo de organismos (además de otro tipo de medidas como la reintroducción de individuos propagados en viveros) puede revertir un claro proceso de extinción.

Aunque las simulaciones presentadas en este reporte son ciertamente limitadas, se deja abierta la posibilidad de realizar, a partir de los datos aquí incluidos, otras simulaciones en que se incluyan eventos catastróficos como por ejemplo alguna expedición de cactólogos japoneses o una alteración importante del hábitat. También es posible manipular una tasa de extracción y/o adición de individuos de diferentes edades, incluir depresión por endogamia y densodependencia en la reproducción.

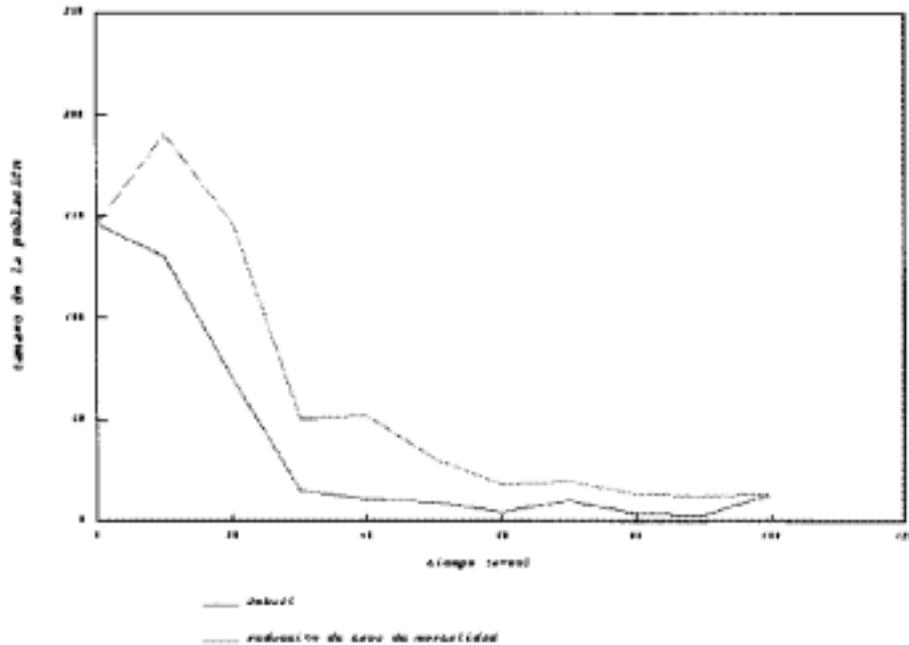


Figura 18. Simulación del tamaño de una población de *Mammillaria pectinifera* a lo largo de un período de 100 años en el valle de Zapotitlán, Puebla con base en (a) parámetros poblacionales estimados a partir de observaciones directas y (b) una reducción de 25°10 en la tasa de mortalidad de individuos adultos (> 14 años).

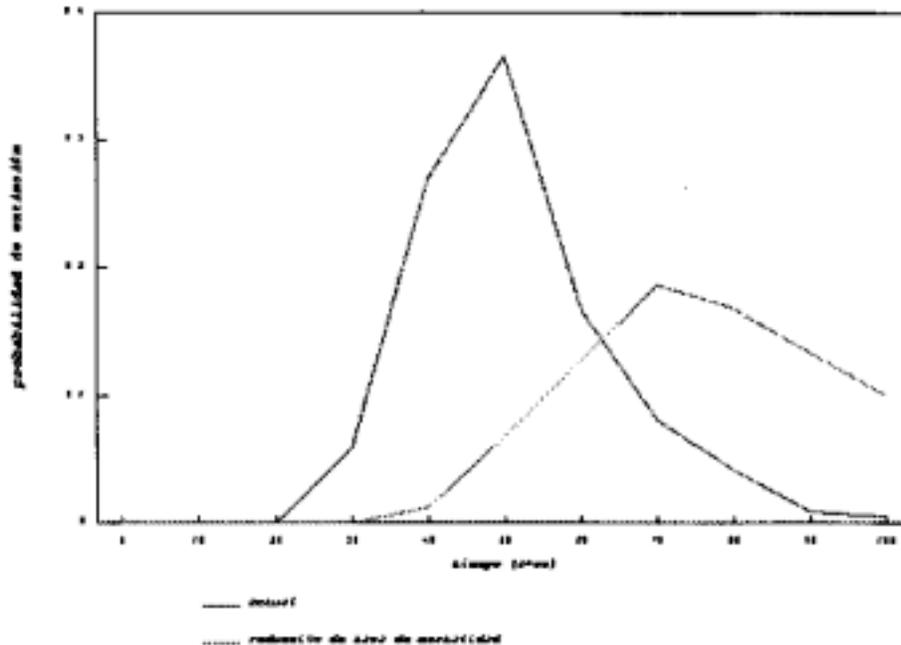


Figura 19. Probabilidad de una primera extinción de una población de *Mammillaria pectinifera* a lo largo de un período de 100 años en el valle de Zapotitlán, Puebla con base en (a) parámetros poblacionales estimados a partir de observaciones directas y (b) una reducción de 25% en la tasa de mortalidad de individuos adultos (> 14 años).

Estatus de conservación de *Mammillaria pectinifera* y recomendaciones para su conservación.

Mammillaria pectinifera actualmente está catalogada como especie amenazada, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 059 y se encuentra incluida en el Apéndice I del CITES.

Considerando el análisis aquí presentado y tomando en cuenta criterios de:

- a) predicciones sobre la reducción poblacional en el futuro cercano
- b) su limitada extensión de presencia
- c) estimaciones de probabilidad de extinción

Recomendamos que *Mammillaria pectinifera* Weber sea catalogada como

ESPECIE EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

y que se implementen acciones específicas para la protección de poblaciones silvestres, sobre todo en aspectos de colecta y comercio ilegal, problemas de alteración de su hábitat natural, fomento de investigaciones científicas adicionales sobre su biología y programas de propagación en viveros, todo esto dentro del Plan de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán.

Mitrocereus fulviceps Weber

Descripción

Mitrocereus fulviceps Weber es una cactácea candelabriforme gigante que puede llegar a medir más de 12 m de altura (Figura 1). Tiene un tronco bien definido de alrededor de 2 m de alto y 1 m de diámetro, y ramas numerosas que pueden alcanzar unos 8 m de largo. Presenta de 11 a 14 costillas gruesas, separadas por surcos angostos. En el ápice de las ramas tiene una abundante lana amarillenta, que es donde se producen las flores. Las flores son nocturnas, apicales y en forma de embudo. Los frutos son globosos y surgen de areolas persistentes con abundante lana y espinas setosas que ocultan por completo las paredes; se abren reventándose por el ápice y exponiendo la pulpa blanca y las semillas (BravoHollis, 1978).

Distribución

Mitrocereus fulviceps es una de las especies características de los alrededores de San Antonio Texcala, poblado a unos 12 km al Suroeste de la Cd. de Tehuacán, Puebla (Figura 2). Según Bravo-Hollis (1978), con base en datos de MacDougall, parece que existe también cerca de San José Lachiguiri, como a 24 km de Totolapan y entre Santo Domingo y Amatlán, localidades del estado de Oaxaca.



Figura 1. Individuo de *Mitrocereus fulviceps* en el valle de Zapotitlán, Puebla. Arturo Macías mide el diámetro de una de las ramas.

Sitio permanente de observaciones

Dado que para este estudio era básico el seguimiento de la sobrevivencia, el crecimiento y la reproducción individuales a lo largo del tiempo, establecimos un sitio permanente de observaciones en la ladera Este del cerro más cercano a un lugar conocido localmente como Plan del Valle, a 1 km aproximadamente al Noreste de San Antonio Texcala (en la Carta Tehuacán de INEGI, el cerro es denominado Tecoyuco,

pero en apariencia esto no coincide con la toponimia de los lugareños). Estimamos que el área neta del sitio permanente mide unas 2 hectáreas. En la Figura 2 se muestra el sitio permanente de estudio (mancha en rojo), en relación al área de distribución de la especie en la región de Texcala (más adelante se aborda el problema de cómo se definió dicha área).

Marcaje y localización de los individuos

En el sitio permanente numeramos (y marcamos dicho número con lápiz craso sobre el tronco y/o las ramificaciones) a unos 150 individuos de la especie. Al mismo tiempo, obtuvimos las coordenadas polares (distancia y azimuth) de cada uno de los individuos con respecto al individuo anterior, partiendo de un individuo inicial arbitrario. Las coordenadas polares se transformaron en coordenadas cartesianas. Los mapas que de este modo se obtienen (Figura 3) permiten la relativamente fácil localización de cualquiera de los individuos marcados y numerados, además de posibles análisis del patrón de disposición espacial a pequeña escala.

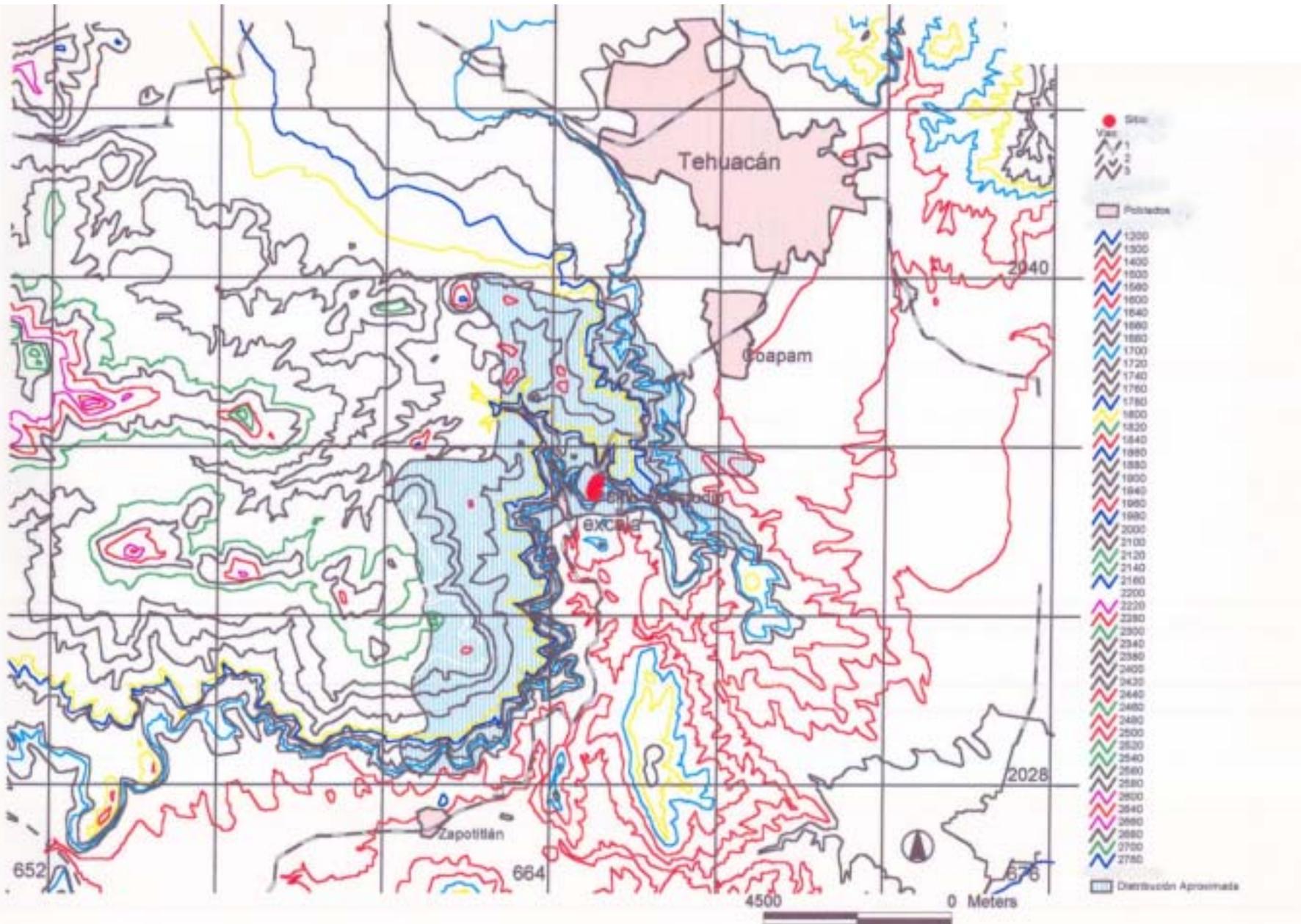
Mediciones de los individuos

El primer paso para la descripción demográfica de un organismo es la elección de la variable a emplear para la clasificación de los individuos. En los casos en los que la edad es difícil de determinar, pero sobre todo en los que la etapa de historia de vida y/o el tamaño son los determinantes más importantes de las diferencias en sobrevivencia, crecimiento y reproducción, la clasificación de los individuos de la población debe hacerse con base uno o ambos de estos criterios. Más adelante describiremos y discutiremos cómo hicimos la clasificación de los individuos para el modelo demográfico, pero dicho proceso fue la conclusión de un largo camino de análisis de alternativas y determinaciones de campo.

Figura 2. Distribución tentativa de *Mitrocereus fulviceps* en el valle de Zapotitlán, Puebla sobre la carta obtenida a partir de la digitalización de la carta topográfica Tehuacán E1411375, escala 1:50000 del Instituto Nacional de Geografía e Informática. La escala de los ejes X y Y está dada en coordenadas UTM.

UAM- Iztapalapa y Depto. Biología

DISTRIBUCIÓN DE *Mitrocereus fulviceps*



Distancia en dirección Sur [+]
Norte(metros)

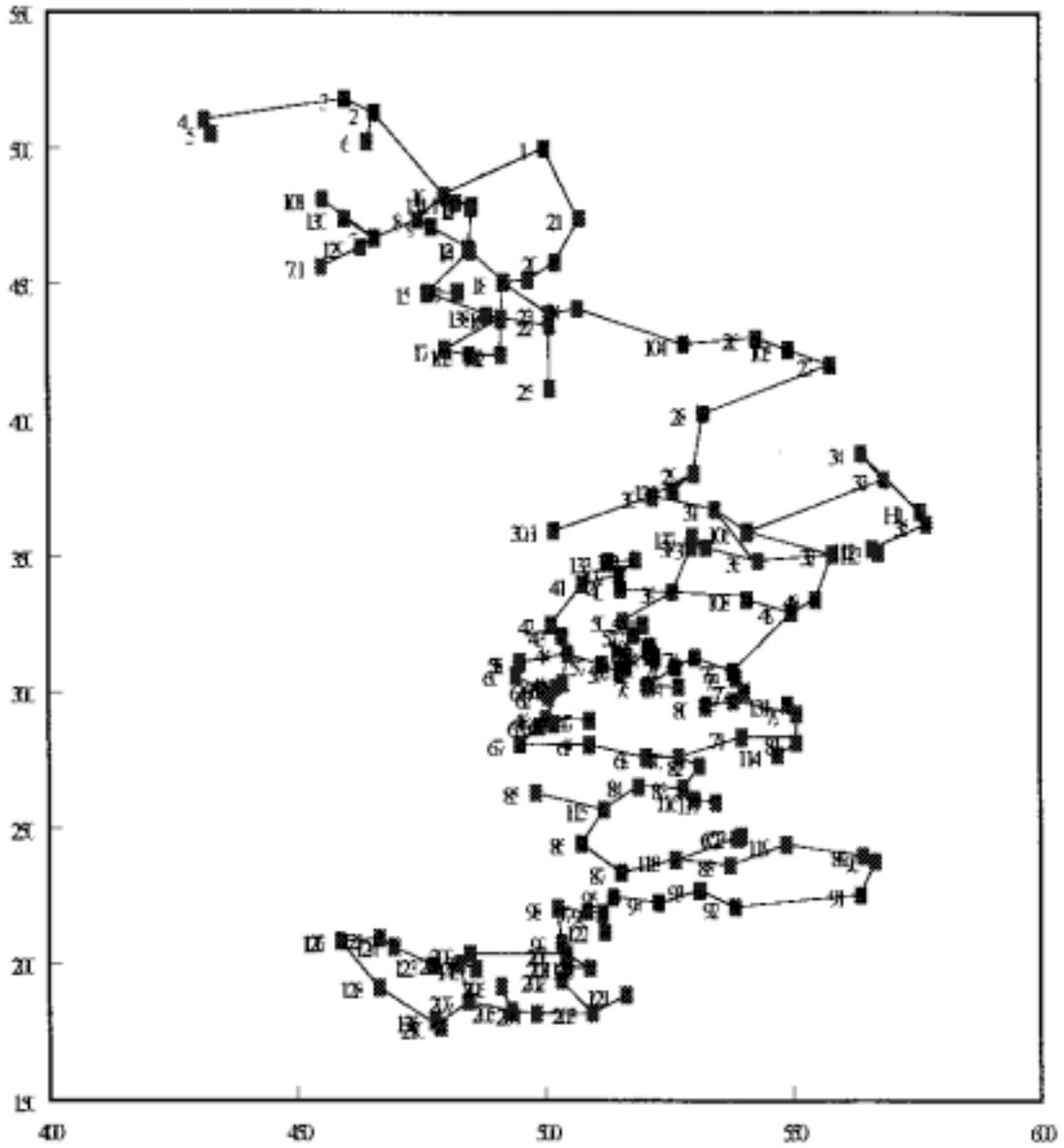


Figura 3. Mapa de distribución de 150 individuos de *Mitrocereus fulviceps* en un sitio permanente de observación en el cerro Tecoyuco, Puebla.

Por simple que parezca, no es fácil medir un *Mitrocereus fulviceps*. Esto no sólo debido al gran tamaño que pueden alcanzar (Figura 1). El principal problema es conceptual: ¿qué medir?. El segundo es de precisión y repetibilidad, en el que están involucrados los siguientes aspectos: inclinación del terreno, irregularidad del mismo, "accidentes" en la arquitectura de la planta y ambigüedades en la definición de una determinada estructura, obstrucciones para hacer las mediciones (por parte de la misma planta y/o sus vecinos), etc.

Nuestra solución al primer problema se resumió en hacer tres determinaciones básicas: altura total, diámetro a la base del tronco y número de ramificaciones por clase de altura (por supuesto, por clase de altura de dichas ramificaciones).

Tal vez el mejor indicador del tamaño, en términos *demográficos*, es el número de ramificaciones. Seguramente dicho número está más correlacionado con la biomasa total de lo que lo está el diámetro a la base del tronco y sobre todo la altura total. Pese a esto, es posible el ajuste significativo a modelos que relacionen estas tres variables relativas al concepto de "tamaño individual". Más aún, la altura es un criterio muy simple de clasificación, y de utilidad práctica en determinaciones rápidas de campo en futuros estudios o planes de manejo.

Medimos la altura total, en el caso de individuos hasta de 2 m, con cinta métrica metálica, y en el caso de los individuos mayores a este tamaño, con una campana cactométrica o maceta invertida con dos cintas métricas colgantes en lados opuestos de ella. La campana se colocaba sobre el tronco principal o, en los pocos casos en el que éste estuviese trunco, en la ramificación más alta, y se hacía la lectura hasta milímetros en ambas cintas al nivel del suelo. Desde luego que había un factor de corrección de las medidas, dado que el cero de las cintas no estaba a la altura del punto más alto de la planta, sino un poco más abajo del borde de la campana.

El diámetro a la base del tronco se determinó con un vernier metálico graduado hasta milímetros. Dado que el tronco no es perfectamente cilíndrico, se determinaron máximo y mínimo para la variable.

Finalmente, obtuvimos el número de ramificaciones menores a un metro, de uno a dos metros y mayores a dos metros, para cada individuo. Dado que sería inmanejable determinar el número de ramificaciones desde que éstas se producen, sólo consideramos *a aquellas con un diámetro mayor o igual a 15 centímetros*.

El resultado más importante de la anterior actividad es la obtención de la estructura de tamaños de los individuos que componen a la población, o al menos de los individuos en el sitio permanente de observaciones (Figura 4). Son notables dos cosas en la en la Figura 4. Primeramente, una sobreabundancia de individuos en la categoría de 6 a 7 metros de altura. Esto, que

bajo el concepto de emplear el tamaño como un estimador de la edad podría ser interpretado como un sobre-reclutamiento de individuos de una clase de edad en el pasado, puede tener otra explicación a la luz de los modelos matriciales que hemos empleado, los cuales describiremos y discutiremos más adelante.

El segundo aspecto a notar en la estructura de tamaños es la sí existencia de individuos pequeños (digamos menores a un metro), pero no obstante esto, un proporción no muy grande de ellos.

Finalmente, en la Figura 5 se muestra la relación entre altura total y (a) diámetro basa) mayor y (b) número de ramificaciones. Nótese que para ambas variables, pero sobre todo para el número de ramificaciones, hay una gran variabilidad en las plantas más altas. Para ambos casos parece posible el ajuste a una función exponencial, si bien esto no fue hecho.

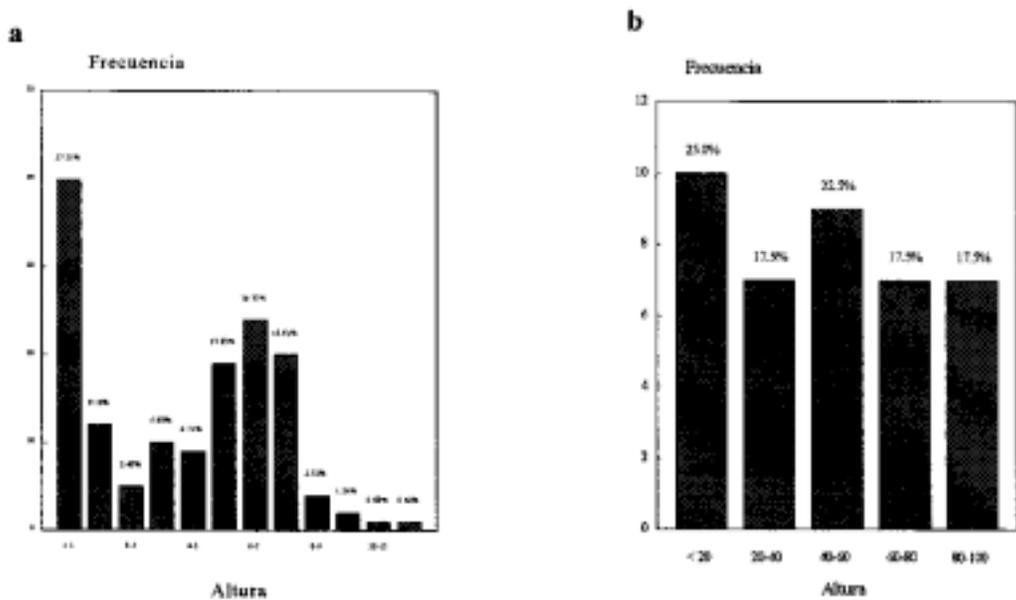


Figura 4. Estructura de tamaños de una población de *Mitrocereus fulviceps* en el valle de Zapotitlán. (a) visión general ; (b) close-up individuos < 1 m de altura.

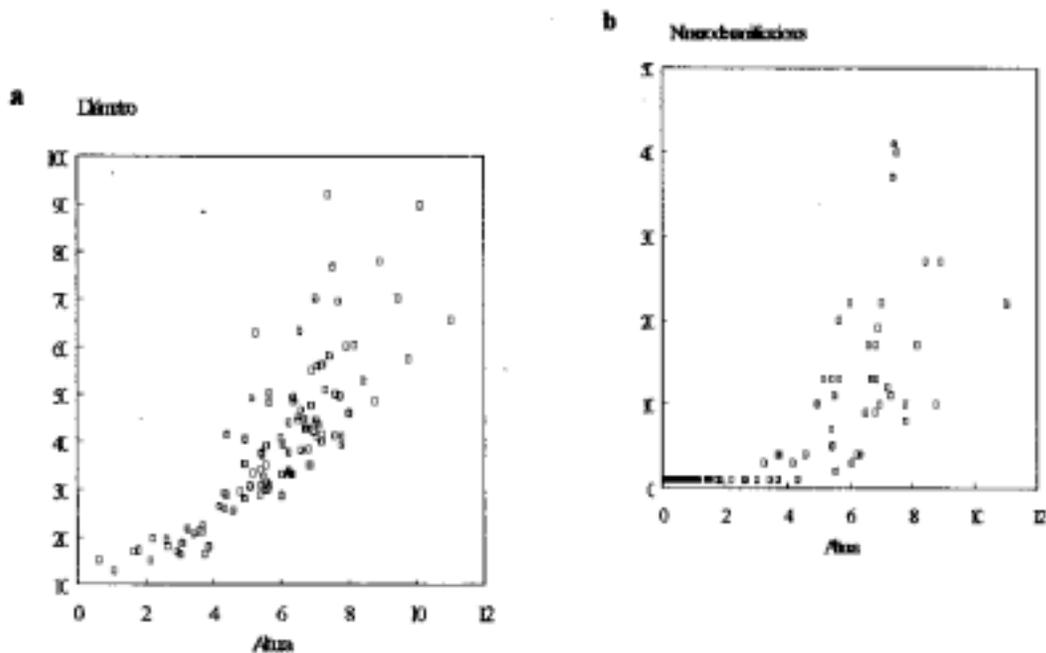


Figura 5. Relación entre la altura total y (a) el diámetro basa) mayor y (b) el número de ramificaciones en individuos de una población de *Mitrocereus fulviceps* en un sitio de estudio permanente en el valle de Zapotitlán.

Determinación de las tasas de crecimiento

Dado que tomamos la altura total como criterio de clasificación demográfica, hubo que evaluar la probabilidad de que un individuo pasase de una categoría a la siguiente. Como discutiremos más adelante, una forma de evaluar esto es mediante las tasas de crecimiento del tronco principal o la ramificación más alta de los individuos.

Las tasas de crecimiento individual se determinaron a su vez midiendo el desplazamiento aparente de una o dos marca hechas sobre el tronco de las plantas, con respecto a las cintas métricas metálicas pendientes de las campanas cactométricas ya mencionadas. En el caso de los individuos menores a un metro, en los que las campanas cactométricas no eran adecuadas, los incrementos se determinaron midiendo directamente el tramo que va del ápice de cada planta hasta una marca hecha sobre un sólo de sus lados. Como quiera que fuera, deberá ser claro que hubo una fecha de marcaje y primera medición (en diferentes fechas de 1995) y al menos una fecha (dos en la mayoría de los casos) para remediación (periodos 1995-1996 y 1996-1997).

Incremento anual

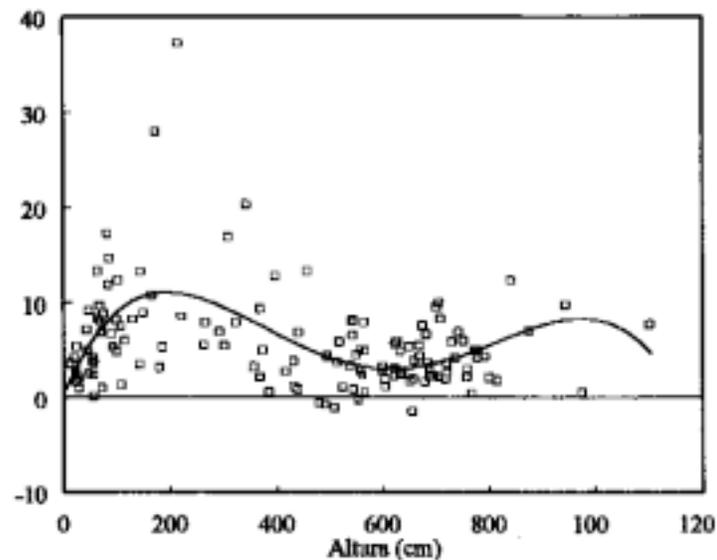


Figura 6. Relación entre altura total y tasa de crecimiento en individuos de una población de *Mitrocereus fulviceps* en un sitio permanente de observación en el valle de Zapotitlán, Puebla. La línea continua es el resultado de un ajuste mediante modelos lineales generalizados.

En la Figura 6 se presenta el incremento en anual del tronco o, en unos pocos casos, de la ramificación más alta en relación a la altura total de los individuos. En la gráfica hemos sobrepuesto el ajuste de los datos al siguiente modelo lineal generalizado, hecho con ayuda del programa GLIM (Baker & Nelder 1978)

$$\text{Incremento anual (cm)} = A + B H + C H^2 + D H^3 + E H^4 \quad (1)$$

en donde:

H = altura total (cm) A = 0.1569 B = 0.1332

$$C = -0.00052$$

$$D = 0.00000067$$

$$E = -0.0000000028$$

Monitoreo de la sobrevivencia

En principio, para determinar la sobrevivencia bastaría con revisar, al menos una vez al año a partir de una determinada fecha, a todos los individuos marcados y localizados en el sitio permanente de observaciones. En este caso nuestros datos son exigüos. Sólo observamos la muerte de dos individuos: el 77, de 5.535 m de altura total, y el 38, de mayor tamaño, pero que ya se encontraba caído (aunque todavía vivo) al empezar el estudio.

Estimaciones de fertilidad

En principio, para obtener la fertilidad bastaría con determinar el número de individuos de edad 0 y/o pertenecientes a la etapa 1, producidos por individuo a edad y/o tamaño específico. En este caso, tal edad 0 o etapa 1 es la de semillas. Así, para determinar la fertilidad en *Mitrocereus fulviceps*, bastaría con determinar el número total de semillas producido en un año por individuos de diferente tamaño y/o edad.

Esto, sin embargo, no es tan fácil como parece y además es poco informativo sobre el contexto biológico en el que tales fertilidades resultan. Dicho contexto es el de la biología reproductiva. A continuación describimos parte del estudio, en modo alguno completo, de la biología reproductiva de la especie.

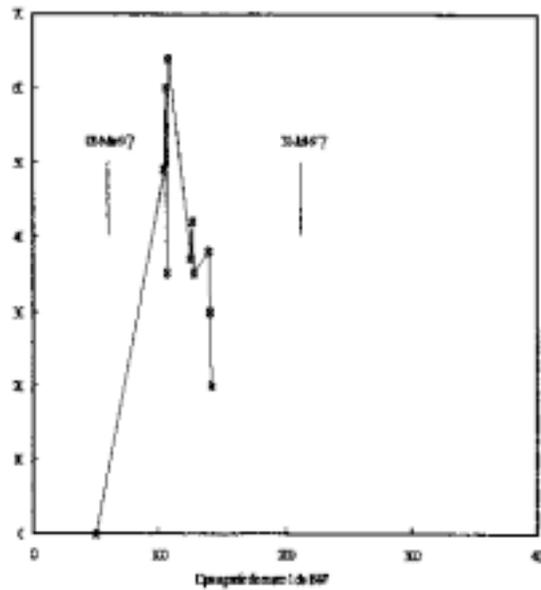
Biología reproductiva

Fenología

Un aspecto básico a desarrollar en un estudio sobre la biología reproductiva es el seguimiento temporal de los distintos eventos que componen el proceso. En plantas, este seguimiento comúnmente resulta en la descripción del tiempo de permanencia de determinadas estructuras o características fenotípicas y/o de la cantidad de dichas estructuras con respecto al tiempo, descripción a la que se denomina fenología. Para esta especie, el componente de la fenología reproductiva más fácil de tratar es sin duda la dinámica de la floración. Esto debido al relativamente poco tiempo que las flores permanecen abiertas (< 24 hrs.). En efecto, la apertura de las flores, o antesis, empieza entre las 20 y 21 hrs. (tiempo local en horario de verano), mientras que su cierre, entre la mañana y el medio día siguiente, es más variable, pues depende del grado

a) Flores abiertas por noche 85 inds. aprox.

b) Flores abiertas por noche 85 inds. aprox.



de exposición de las flores al sol. Dado lo anterior, la dinámica de la floración se determinó simplemente mediante el registro periódico del número total de flores abiertas por noche, para un número conocido de individuos real o potencialmente reproductivos.

En 1996 y 1997 hicimos el seguimiento de la floración de *Mitrocereus fulviceps* en el sitio permanente de observaciones. Tal seguimiento se basó en el número total de flores abiertas por noche para una muestra de unos 87 individuos potencialmente reproductivos (Figura 7).

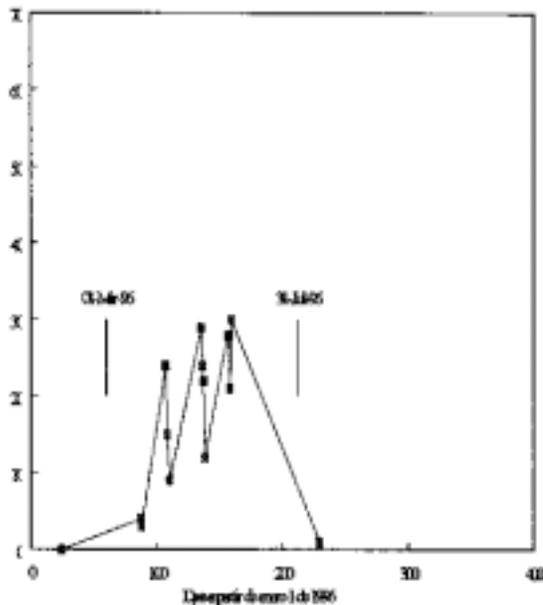


Figura 7. Número de flores abiertas por noche en 85 individuos de *Mitrocereus fulviceps* en un sitio permanente de observación en el valle de Zapotitlán, Puebla. (a) 1996 y (b) 1997.

Cuatro cosas son fácilmente observables. La primera es la forma de campana de las "funciones", la segunda, la alta variabilidad del fenómeno, como se observa de las grandes fluctuaciones, registradas incluso de día a día. La tercera y cuarta tienen que ver con la variación anual del fenómeno. Nótese que en 1997 la floración fue mayor y/o adelantada en tiempo, comparada con lo registrado para 1996. El primer aspecto es un simplificador, mientras que los otros tres tienen consecuencias de importancia en la determinación de la fertilidad.

Polinizadores

En relación a la biología floral de las cactáceas de la tribu Pachycereeae (a la que pertenece la especie en estudio), Valiente-Banuet et al. (1996) ha propuesto que éstas presentan el síndrome de quiropterofilia (anthesis nocturna, flores blanquecinas en forma de tazón, producción abundante de néctar, etc.); más aún, que este síndrome parece responder específicamente a murciélagos nectarívoros de la subfamilia Glossophaginae. Al margen de esto, en mayo de 1996 y abril de 1997, justo en el sitio permanente de estudio, no sólo observamos murciélagos visitando las flores, sino que entre los animales capturados, pertenecientes a tres especies: *Choeronycteris mexicana*, *Leptonycteris curasoae* y *L. nivalis*, era notable una gran cantidad de polen en el pelo del pecho y la cara.

Dispersores

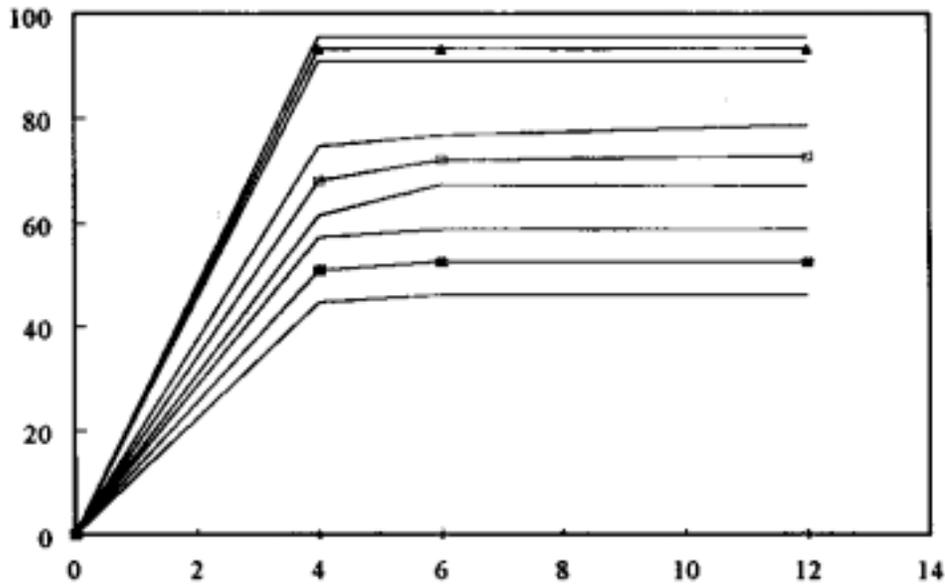
Al madurar el fruto, éste normalmente se abre en flor y, sin caer de la planta, deja expuestas las semillas. En un principio, nos parecía que esta apertura ocurría durante la noche; posteriormente, hemos observado murciélagos de las especies *Choeronycteris mexicana* y *Sturnira lilium* (especie netamente frugívora) visitando y comiendo de los frutos. En los frutos que se abren de esta manera, mismos a los que hemos llamado *dehiscentes*, todas o casi todas las semillas desaparecen en relativamente poco tiempo. En contraste, hay algunos frutos no abiertos en flor, pero que presentan un gran orificio lateral y retienen un número mayor de semillas. Coincidentemente, hemos también observado pájaros picoteando sobre las ramificaciones de la planta.

Desconocemos ya no sólo la importancia relativa y el efecto, sino incluso la identidad de muchos de los depredadores/dispersores de las semillas.

Germinación

Un componente importante de la biología reproductiva, así como de la probabilidad de transición de semilla a planta pequeña, es la tasa de germinación. En la Figura 8 se presentan las curvas de germinación para cuatro lotes de semillas pertenecientes a cuatro frutos, producidos por cuatro diferentes individuos. Para dos de los lotes se pusieron cinco réplicas de 50 semillas en cajas de Petri con agar, mientras que para los otros dos sólo fue posible hacer tres réplicas por lote. Las cajas se mantuvieron en cámaras de germinación, a una temperatura de 25° C y un fotoperíodo de 12 hrs.; no se aplicó pretratamiento alguno a las semillas.

Germinación



Días

Figura 8. Germinación de cuatro lotes de semillas pertenecientes a cuatro frutos provenientes de cuatro diferentes individuos de *Mitrocereus fulviceps*.

De acuerdo con la Figura 8, las semillas de uno de los lotes nunca germinaron, mientras que las de otro alcanzaron más de un 90% de germinación en sólo cuatro días. Aunque los otros dos lotes lograron únicamente entre un 50 y 75% de germinación final, este patrón de relativamente alta y rápida germinación es semejante al encontrado en otras cactáceas columnares (*Cephalocereus chrysacanthus*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Pachycereus hollianus*; Rojas-Aréchiga 1995). Más aún, el lote de semillas que no germinó es el producto de un experimento de exclusión de la flor para evitar la polinización cruzada. No es seguro, pero tal vez las semillas de este lote son producto de la autopolinización, y su no germinación refleja un alto grado de depresión por consanguinidad (inbreeding depression). De acuerdo con los anteriores resultados, nos atrevemos a afirmar que si algún problema de conservación tiene *Mitrocereus fulviceps* este problema no es, con toda seguridad, dificultades para la germinación de las semillas.

Modelo matricial

La demografía clásica se basó en la clasificación de los individuos con base en sus edades. Cuando no era posible determinar la edad, se recurría al tamaño y su posible relación con la edad. Actualmente se reconoce que el tamaño y/o las etapas del ciclo o historia de vida pueden tener un gran significado ecológico, y que por lo tanto son criterios válidos por sí mismos para los estudios demográficos.

Con base en lo anterior, hemos elaborado un modelo *matricial* para *Mitrocereus fulviceps*, partiendo de la siguiente clasificación de los individuos:

Etapas 1: Semillas

Etapas 2: Plantas < 5 cm de altura (incluye plántulas) Etapas 3: Individuos de 5 a 99 cm de altura

Etapas 4: Individuos de 100 a 199 cm de altura Etapas 5: Individuos de 200 a 299 cm de altura Etapas 6:

Individuos de 300 a 399 cm de altura Etapas 7: Individuos de 400 a 499 cm de altura Etapas 8:

Individuos de 500 a 599 cm de altura Etapas 9: Individuos de 600 a 699 cm de altura Etapas 10

Individuos de 700 a 799 cm de altura

Etapas 11 Individuos de 800 cm de altura en adelante.

Esta clasificación combina dos criterios: etapas del ciclo o historia de vida y tamaño. El primer criterio separa sólo a una de las etapas del resto (semillas vs todas las otras). Y si bien las etapas 2 a 11 se distinguen, ya no digamos por el tamaño, sino por algo tan arbitrario como la altura total de la planta (en intervalos principalmente de un metro), esta clasificación refleja de todos modos diferencias importantes entre individuos desde el punto de vista ecológico, tales como: vulnerabilidad a depredadores, capacidad reproductiva, etc. Por ello, aún cuando de la 2 a la 11 sean propiamente clases de altura, les llamaremos "etapas" (de ciclo o historia de vida).

Pasemos ahora a la definición de los parámetros que comunican a cada una de las etapas con alguna o algunas de las otras.

Los parámetros que por excelencia caracterizan un modelo matricial son las probabilidades de paso de una categoría a la siguiente, de ahí el nombre matriz de "transición". En organismos en los que la edad es la variable más adecuada para clasificar a los individuos de la población, las probabilidades de transición de una categoría a la siguiente son las probabilidades de sobrevivencia. Esto es, un individuo sólo puede pasar de una edad a la siguiente si sobrevive, y a la inversa, si sobrevive, está forzado a pasar de una determinada categoría de edad a la siguiente. En organismos en los que la clasificación por etapas racionaliza mejor las diferencias entre individuos en cuanto a crecimiento, sobrevivencia y reproducción, las probabilidades de transición de una categoría a otras (no necesariamente sólo la siguiente), está determinado por el desarrollo u otros procesos fisiológicos, el crecimiento, etc.

En el modelo matricial para *Mitrocereus fulviceps*, una de las probabilidades de transición es esencialmente distinta a las otras, y requiere asimismo de una explicación algo detallada. Este parámetro es la probabilidad de que una semilla (Etapas 1) pase a ser una a planta menor de 5 cm de altura (Etapas 2). Tal probabilidad, a la que denotaremos T(1), está definida del siguiente modo:

$$T(1) = S G \quad r.(2)$$

dónde

S: Probabilidad de que una semilla sobreviva hasta llegar a un sitio potencialmente "adecuado" para la germinación.

G: Tasa de germinación en condiciones naturales.

S y G son a su vez parámetros complejos y/o difíciles de determinar. S debe resumir la probabilidad de sobrevivencia a una serie de depredadores: dentro del fruto, al abrir el fruto sobre

la planta, y una vez que ha sobrevivido al paso del tracto digestivo de un depredador/dispersor, etc. Para la estimación de G se debe tomar en cuenta el nivel de viabilidad de las semillas, la tasa de germinación en condiciones, digamos óptimas, así como las modificaciones a dicha tasa en condiciones naturales y, finalmente, la proporción de sitios "adecuados" para la germinación en el hábitat, principalmente. A la fecha no contamos con información detallada para dar valores a estos parámetros. Con respecto al factor 5, la información sobre depredadores/dispersores de las semillas son las observaciones descritas en la sección correspondiente de la *Biología reproductiva* de la especie. Con respecto al factor G, al presente sólo contamos el porcentaje de germinación en condiciones de laboratorio.

Hemos supuesto un valor de 0.00005, es decir de 5 en 100,000 para T(1). Si sobrevivieran a la depredación un centésimo de las semillas de un fruto abierto (digamos sólo 8 de 800), y si germinara sólo la mitad de dichos sobrevivientes, T(1) valdría 0.005. Tal vez la desaparición de semillas del fruto abierto no debiera conceptualizarse propiamente como mortalidad, sino simplemente como el inicio del proceso de dispersión, puesto que, desde un punto de vista adaptacionista, no sería explicable por qué la planta expone durante la noche sus semillas en lo alto de la planta, si esto no es en respuesta a un posible mutualista con ella, específicamente murciélagos frugívoros. Pero lo cierto es que, inversamente, la depredación debe ocurrir en otros momentos, o bien que el proceso de dispersión no es ciento por ciento exitoso o sin riesgo. Tampoco es fácil de evaluar la proporción de sitios adecuados para la germinación dentro del hábitat. El factor por el que hemos multiplicado 0.005 para obtener 0.00005, es decir 0.001, si bien arbitrario, refleja una situación que de hecho nos obligó a hacer todas estas estimaciones: el no haber visto nunca plántulas o individuos menores de 5 cm de altura *de*

Mitrocereus fulviceps en el campo.

Una suposición importante del modelo es la no existencia de un banco de semillas en el suelo (de hecho en ningún otro "depósito" menos común, como sucede en el caso de *Mammillaria pectinifera*). En aparente paradoja, semillas colectadas en 1996, germinaron abundante, rápida, y fácilmente en 1997, sugiriendo con ello que pierden poco nada de su viabilidad después de un año de producidas, ¿por qué entonces no forman banco de semillas? Los suelos en los que vive la planta son someros, pero además, un banco formado por semillas en las que éstas germinan tan fácilmente, estaría seguramente en grave riesgo.

La probabilidad de transición de la Etapa 2 a la Etapa 3 (individuos de 5 a 99 cm. de altura) también nos es completamente desconocida, ya que nunca hemos visto una planta

de la especie menor a los 5 cm de altura. Así, el valor de $T(2) = 0.0001$ es totalmente especulativo. Finalmente, las probabilidades $T(3)$ a $T(10)$, que explican el paso de las Etapas 3 a 11 se estimaron dividiendo la tasa de incremento en altura total sobre el intervalo de altura que define a cada etapa. Una alternativa a esto sería calcular cuantos individuos de una determinada clase de altura pasaron a la siguiente durante el período de observaciones. Esto tiene el problema del tamaño de muestra. Así, en la Figura 9 se muestran las dos posibles formas de estimar $T(i)$ para las etapas 3 a 10. Aquella a la que denominamos "cruda" puede tener el problema de resultar en ceros si el tamaño de muestra es pequeño y si, por azar, ningún individuo pasa a la siguiente etapa. La denominada curva "teórica" suaviza los cambios en los valores. Nótese no obstante, que' ambas curvas muestran hasta cierto punto las mismas "tendencias".

Probabilidad de transición

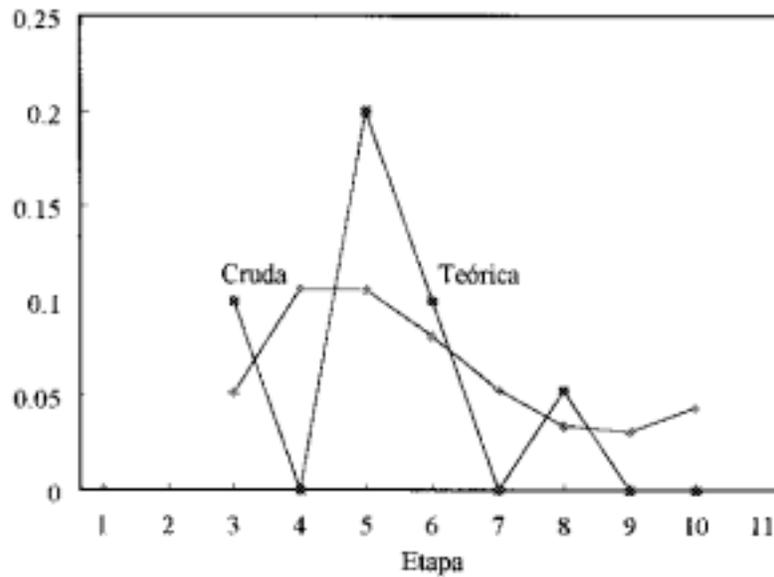


Figura 9. Probabilidad de transición cruda y teórica entre las etapas 3 a 10 en *Mitrocereus fulviceps*. Ver texto para explicación.

Con respecto a las probabilidades de sobrevivencia en una determinada etapa, fuera del caso S(2), es decir el de la sobrevivencia de las plantas menores a 5 cm, en el que se asignó una probabilidad relativamente baja dada la posible vulnerabilidad de los individuos en este tamaño (del 50%), para el resto de los casos se asignó una sobrevivencia del 99%. Este es un valor arbitrario, pero de algún modo refleja el hecho de que, después de 2 años de observaciones, sólo hemos visto morir a uno de unos 150 individuos.

Finalmente, la fertilidad, $F(i)$, se determinó como producto de los siguientes factores:

$$F(i) = R F S \quad (3)$$

en dónde:

R = número de ramificaciones reproductivas

F = número promedio de frutos por ramificación reproductiva

S = número de semillas por fruto

De estos tres parámetros, sólo R es función de la altura del individuo (Figura 10), F y S se estimaron en 5 y 800 a partir de conteos y expresando en números redondos los valores.

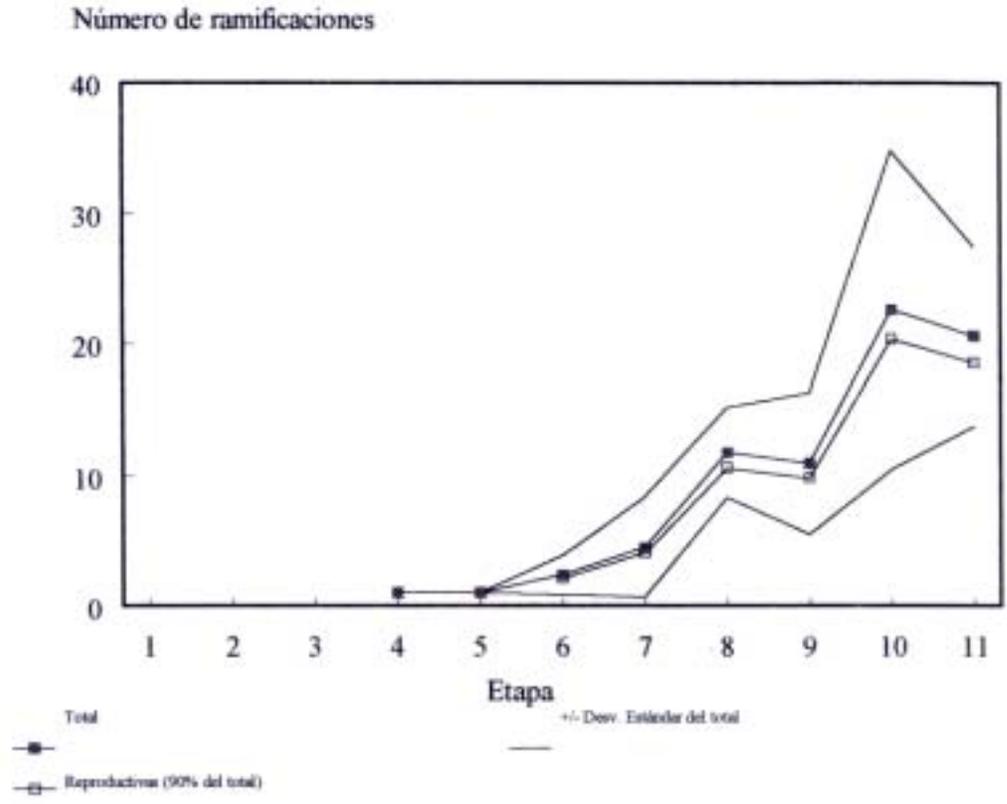


Figura 10. Número de ramificaciones total y de ramas reproductivas por individuo en *Mitrocereus fulviceps*.

Con los parámetros definidos y sus valores, elaboramos la siguiente modelo matricial:

0	0	0	0	0	8400	16200	42400	39300	81450	74160
0.00005	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.0001	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.05165	0.99	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.10642	0.99	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.10589	0.99	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.08137	0.99	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.05298	0.99	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.03403	0.99	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.03105	0.99	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04379	0.99

Análisis e interpretación del modelo

Para el análisis del modelo matricial empleamos STAGECOACH versión 2.3, un programa en Fortran 77 elaborado por Cochran (1992) para calcular de los métodos propuestos por Cochran y Ellner (1992). Este programa no sólo produce los resultados para el análisis de una matriz clasificada por etapas, sino que además calcula algunos de los parámetros clásicos de los modelos basados en edades. En el Apéndice 2 se presentan los resultados del programa aplicado al modelo matricial elaborado para *Mitrocereus fulviceps*.

En la Figura 11 se presenta la edad media para cada una de las etapas. Si consideramos que las etapas 4 a 10 representan clases de altura de 1 metro exactamente, es posible revelar la posible edad de un individuo al punto medio de estas clases. Por ejemplo, un individuo de 3.5 metros de altura (Etapa 4) tiene unos 100 años de edad, mientras que otro de

7.5 metros (Etapa 10) alcanza un poco más de 200 años. Esta información, por si misma interesante, puede además servir para: a) en un contexto de divulgación en pro de la conservación, crear conciencia sobre el tiempo requerido por una planta de este tipo para alcanzar las dimensiones típicas de sus individuos, b) ubicar en una escala de tiempo correcta cualquier proyección de persistencia y/o probabilidades de extinción futura de las poblaciones.

Uno de los resultados básicos del análisis de un modelo matricial es el eigenvector (o vector característico) derecho dominante, el cual representa la estructura estable de etapas (Figura 12). Un vistazo a gran escala (Figura 12 a) muestra a la población enteramente formada por individuos de la Etapa 1 (semillas), mientras que con las Figuras 12b y 12c tenemos mayor oportunidad de comparar lo predicho por el modelo con la estructura observada. En el primer caso, se espera una alta proporción de individuos de la Etapa 2, es decir, individuos extremadamente pequeños, desde plántulas recién germinadas hasta individuos menores a 5 cm de altura. Nosotros nunca hemos observado en el campo individuos pertenecientes a esta Etapa. Las alternativas son: o estas altas proporciones de individuos de la Etapa 2 realmente ocurren, pero no son fácilmente detectables por el tamaño de los individuos y su escasa duración (quizá restringida a la época de lluvias), o bien realmente hay problemas en el reclutamiento actual de nuevos individuos. Este es un problema aún no resuelto. Con respecto a la Figura 12c, es notable su semejanza con la de la

distribución de tamaños observada (Figura 5). Caswell (1989) ha señalado que una distribución estable de etapas o tamaños no tiene porque ser monótona decreciente, como el caso de una distribución estable de edades. Considerando sólo individuos, digamos de 2 m en adelante, en el caso de la Figura 5c, hay una sobreabundancia de individuos de la Etapa 8 (individuos de 5 a 5.99 m de altura), mientras que en la distribución de tamaños observada son los individuos de 6 a 6.99 m de altura los más abundantes. ¿Cómo interpretar esto?. Una posibilidad es que el modelo sea deficiente, dado que una de sus predicciones no se cumple. Pero la otra, más parsimoniosa, es que la población no necesariamente se halla en una estructura estable de etapas.

Un parámetro poblacional fundamental derivado del análisis es la tasa finita de incremento de la población (λ), con un valor de 1.0306. Este valor indica que la población de *Mitrocereus fulviceps* se encuentra en crecimiento y, con ello, *que pudiéramos calificar su estatus ecológico como bueno*. Desde luego que esta conclusión debe entenderse en un sentido amplio. Esto es, no debe interpretarse literalmente que, *de acuerdo con el modelo, la población está ahora, realmente*, creciendo de acuerdo con dicha tasa (y por lo mismo, de forma *exponencial*). *Más bien, si bajo ciertas condiciones tenemos* una λ mayor que uno, podemos diagnosticar cierta salud demográfica de la población en estudio. En tal sentido, Caswell (1989) ha enumerado la utilidad amplia y/o aplicaciones del análisis de un modelo matricial.

Un aspecto importante del análisis del modelo es aquel de las sensibilidades y elasticidades. En el Apéndice 2 se presentan ambas matrices, pero dado que las elasticidades, por su carácter relativo y adimensional, muestran de manera más clara a qué parámetros de la matriz es más sensible λ , hemos elegido ilustrar dichos valores. Así, en la Figura 13 se presentan las elasticidades para las probabilidades de sobrevivir dentro de una determinada categoría, las elasticidades de las probabilidades de pasar de una etapa a la siguiente, y las elasticidades de las fertilidades. Debe ser notable que las elasticidades de las probabilidades de sobrevivencia tienen valores varios veces mayores a los de los otros parámetros. Así, estos parámetros, cuya estimación es bastante confiable, son los más importantes en determinar λ , mientras que otros más especulativos tienen relativamente menos efecto.

Finalmente, en la Figura 14 se presentan los valores reproductivos por etapas. El mayor valor reproductivo es el de los individuos de 5 a 99 cm. Esto podría parecer absurdo a la luz de la simple observación de campo de que la reproducción empieza en individuos mayores de 3 o al menos 2 metros. Sin embargo, recuérdese que el valor reproductivo tiene dos componentes: la fertilidad actual y el valor reproductivo residual o contribución futura esperada en progenie producida por individuos de determinada etapa o edad. Así, podemos concluir que las etapas de individuos no muy altos, normalmente columnares, jóvenes, son cruciales en la viabilidad de las poblaciones de la especie.

Edad media (años)

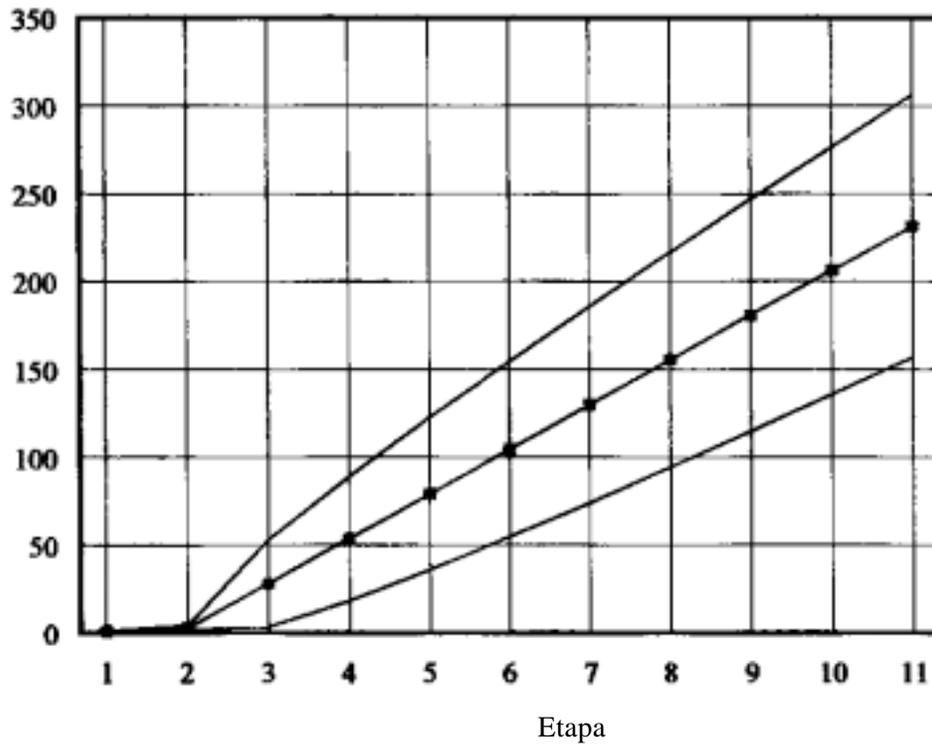
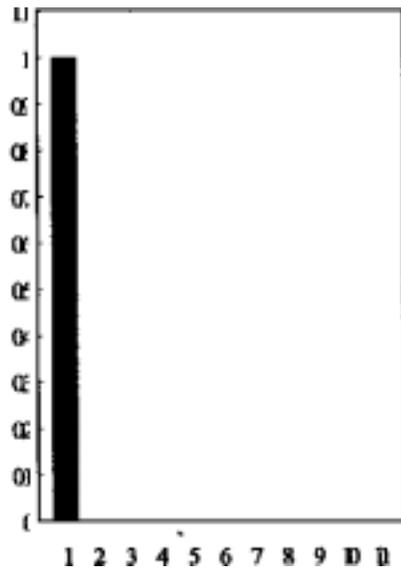


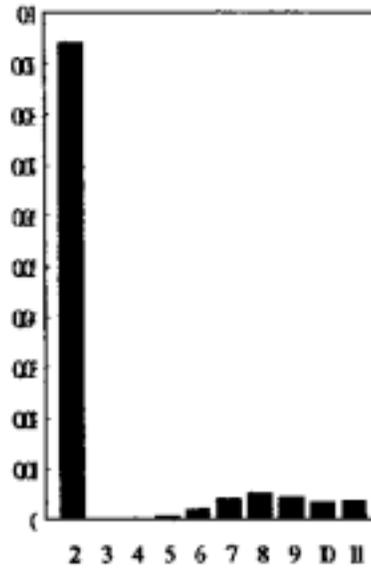
Figura 11. Edad media de cada una de las etapas estimadas a partir de la matriz de transición elaborada para *Mitrocereus fulviceps*.

a) Frecuencia



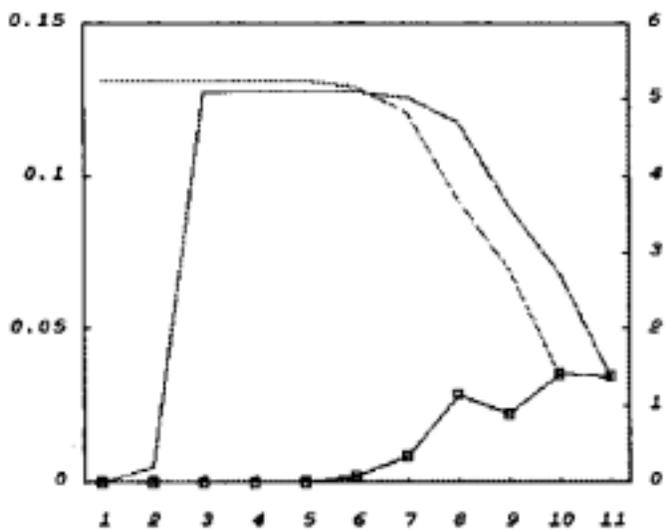
Hijos

b) Frecuencia(miles)



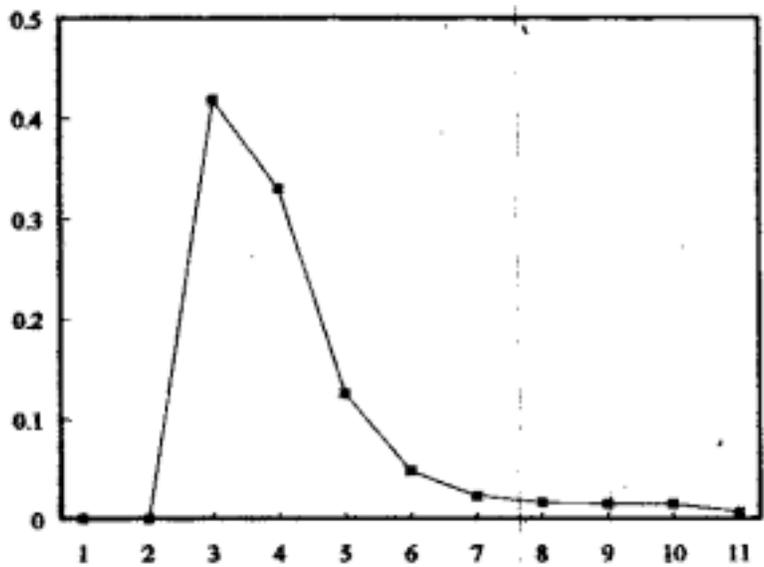
Hijos

Figura 12. Estructura estable de etapas a partir de la matriz de transición elaborada para *Mitrocereus fulviceps*. Dadas las grandes desproporciones entre las Etapa 1 y las demás y entre la Etapa 2 y las restantes, para mayor claridad: (a) Todas las etapas, (b) Etapas 2 en adelante.



Etapas

Figura 13. Elasticidades de las probabilidades de sobrevivencia, de transición de una etapa a la siguiente y de fertilidades de la matriz transición elaborada para *Mitrocereus fulviceps*.



Etapas

Figura 14. Valor reproductivo por etapas (la mayor parte clases de altura) obtenido a partir del modelo matricial elaborado para *Mitrocereus fulviceps*.

Patrones de distribución y abundancia

Considerando sólo el área de distribución en la zona de Tehuacán-Zapotitlán, Puebla (en los municipios con los mismos nombres), hicimos el levantamiento de coordenadas geográficas para el mayor número posible de individuos mayores de la especie, mayores de 2 m de altura. El método seguido para ello fue el siguiente.

1) Se elegía un área relativamente grande dentro o en los límites de la distribución de la especie y caracterizaba de manera general, por ejemplo, como "ladera de cerro en el 'centro' de la distribución", "zona en el límite noreste", etc.

2) Definíamos si los individuos más cercanos formaban un "manchón" o están "aislados". Esta definición desde luego es arbitraria, pero la regla empleada era: dos o más individuos pueden formar un manchón si se encuentran dentro de un círculo virtual de 10 m de radio, cuyo centro será también el centro aproximado del manchón. En contraste, un individuo está aislado cuando la distancia que lo separa de otro individuo cualquiera es mayor de 20 metros.

3) Se obtenían las coordenadas geográficas de un individuo o manchón dado. En cualquier caso, marcábamos con lápiz craso a todos y cada uno de los individuos con un número consecutivo.

4) Para cada determinación de coordenadas, se anotaba el número de la memoria del GPS en la que se almacenaba el dato, el número de individuos georeferenciados y los intervalos de números con los que se marcaba a los individuos.

Los datos se vaciaron sobre la carta digitalizada de la región (Carta topográfica Tehuacán E 14 B 75 escala 1:50000,

INEGI Sin fecha). Los sistemas de información geográfica empleados en diferentes momentos fueron ILWIS (ITC 1993), Idrisi y ArcView.

En un momento dado, la intención era georeferenciar a todos y cada uno de los individuos de la especie en la región. Esto es factible pero tan laborioso que no aún no ha sido concluido. En la Figura 15 se presenta el mapa de distribución de *Mitrocereus fulviceps* en la región de Tehuacán-Teixcala, Puebla. Los puntos negros sobre el área de distribución representan más de 500 puntos de geolocalización de poco menos de 1000 individuos aislados y en manchones. Si bien el barrido no es completo, el mapa es útil en el siguiente sentido.

Primeramente, la amiba trazada sobre el mapa, y que representa *el área aproximada de* distribución en la región, es pro83

ducto del análisis e interpretación de los puntos de georeferenciación. Los puntos en la periferia, por ejemplo, representan efectivamente individuos en el límite de la distribución (los puntos en los extremos superior derecho e inferior izquierdo son particularmente claros y precisos en este sentido).

El otro aspecto de utilidad del levantamiento, fue en la estimación de la densidad y tamaño absoluto de la población. Así, en dos áreas de barrido particularmente completo tenemos:

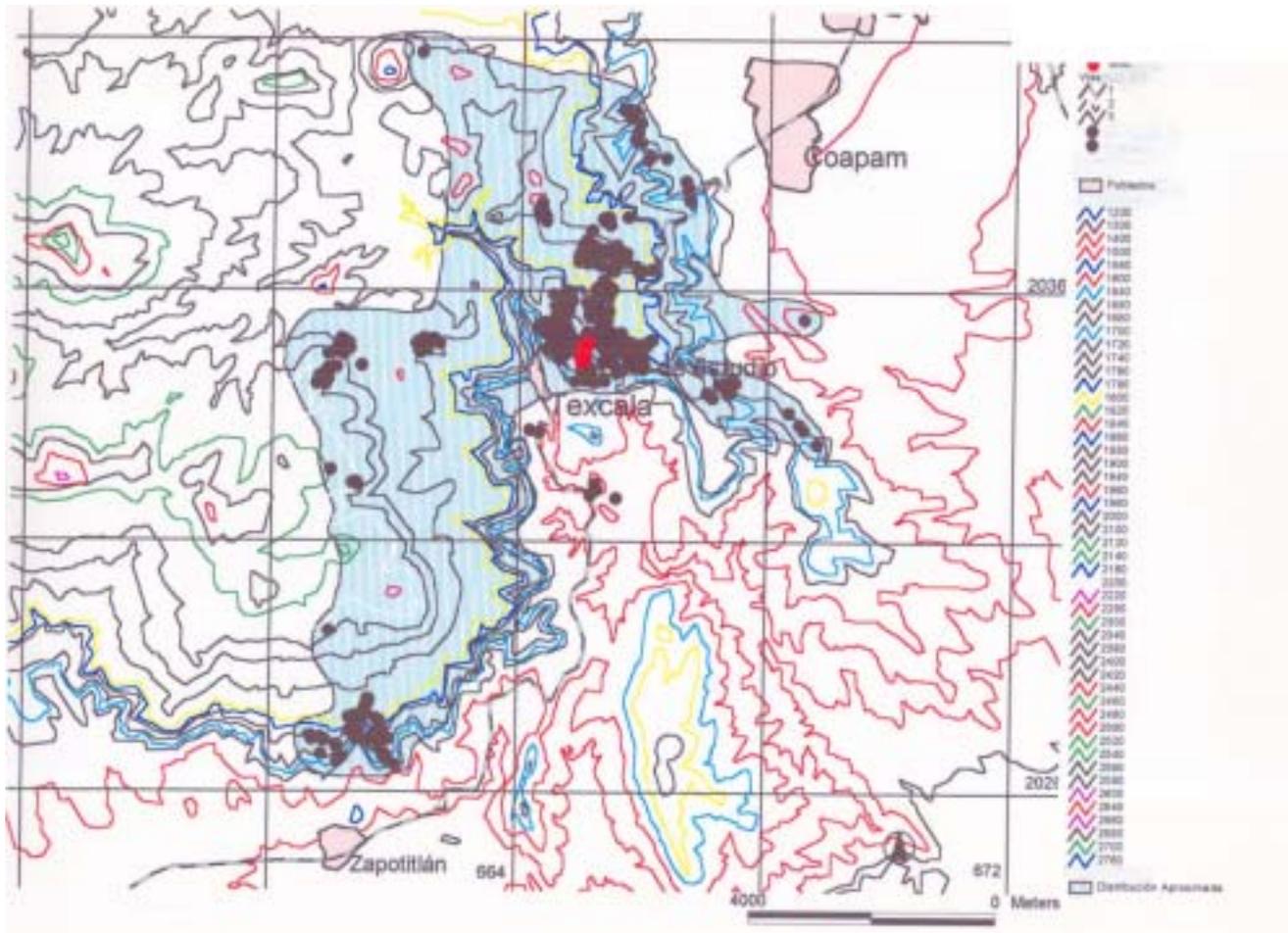
Área 1: 238 inds./1.8695 km² = 127.31 inds./ km² Área 2: 535 inds./2.2683 km² = 235.85 inds./ km²

Si consideramos el cuadrado formado por las coordenadas XY (unidades UTM, en Km) mínimas y máximas registradas en este estudio, el área total de distribución de *Mitrocereus fulviceps* en la región es 8.3 x 11.365 Km = 92.397 Km². Si extrapolamos cada una de las densidades anteriores, el tamaño absoluto de la población se estima en 11,763 y 21,792 individuos, respectivamente. Seguramente estos números sobrestiman en tamaño absoluto, pero son una buena aproximación al momento de tener que calificar el estado de conservación de una especie (Mace & Lande 1991)

Figura 15. Distribución tentativa de *Mitrocereus fulviceps* en el valle de apotitlán, Puebla sobre la carta obtenida a partir de la digitalización de la carta topográfica Tehuacán E14B75, escala 1:50000 del Instituto Nacional de Geografía e Informática. Los puntos negros son más de 500 puntos de geocalización de poco menos de 1000 individuos aislados o en manchón. La escala de los ejes X y Y está dada en coordenadas UTM

UAM-Iztapalapa Depto. Biología

DISTRIBUCIÓN DE *Mitrocereus fulviceps*



Conclusiones sobre el estatus ecológico de *Mitrocereus fulviceps* y recomendaciones para su conservación

Mitrocereus fulviceps es una especie de distribución geográfica restringida, relativamente abundante en los alrededores de San Antonio Texcala, aunque también presente, al menos, en el Cerro Pizarro (Camino a Los Reyes Metzontla), Puebla, San Francisco Xochiltepec, Puebla y en la Cañada, cerca del Cañón de Tomellín, Oaxaca, además de las localidades mencionadas por Bravo-Hollis (1978), citadas al principio de este informe. En general, puede considerarse endémica a la Provincia Florística de Tehuacán-Cuicatlán (Rzedowski 1973).

Aunque las plantas son conspicuas dado el gran tamaño que llegan a alcanzar, así como a la relativa sobreabundancia de individuos de 6 a 7 metros (Figura 5), las poblaciones de la especie no alcanzan las densidades de otras cactáceas columnares (menos masivas) en la región, por ejemplo *Cephalocereus columna-trajani* y *Neobuxbaumia tetetzo*. Ello sin embargo, no debe necesariamente interpretarse como un problema para su conservación. Aunque especulativo,

esto podría explicarse por la relación inversa entre densidad y biomasa, fenómeno ampliamente documentado en la ecología vegetal.

Con respecto a la estructura de tamaños, el número de individuos de 5 a 99 cm de altura es bastante mayor a lo que podría suponerse a partir de un simple vistazo a la población desde la carretera. Este número de individuos, pero sobre todo el de individuos desde plántulas a plantas de menos de 5 cm de altura, es, de todos modos, bastante bajo si lo comparamos con lo esperado por el modelo demográfico elaborado para la especie. Por esto, es recomendable continuar con la investigación de lo que ocurre en estas etapas particularmente importantes y vulnerables.

La especie no parece tener problemas en la reproducción, como llegó a decirse entre algunos cactólogos clásicos. La producción de flores puede estimarse en unas 1,422 entre unos 85 individuos en 1996, y aún en un número aún mayor para 1997 (3,273 hasta el 7 junio). Los polinizadores y dispersores (al menos cuatro

especies de murciélagos) pueden encontrarse alimentándose de la planta en la estación reproductiva. Se produce un buen número de semillas viables y con una alta capacidad germinativa.

La sobrevivencia de los individuos mayores de 5 cm parece ser muy alta. En nuestro estudio, en

poco más de dos años, testificamos la muerte de sólo dos individuos entre unos 150. Coincidentemente con esto, es raro constatar la presencia de cadáveres de individuos de la especie, situación que no ocurre con *Cephalocereus columna-trajani* y *Neobuxbaumia tetetzo*, especies que, como ya se mencionó, alcanzan mucho mayores densidades en la región.

Pese a la poca mortalidad observada, son notables una serie de daños en los individuos. Algunos de ellos son difíciles de diagnosticar, por ejemplo en algunos casos de amarillamientos, descortezamientos, enegrecimientos, etc. En otros quizá influyan la presencia de hormigueros dentro de la planta.

* *Mitrocereus fulviceps* mantiene relaciones con una gran cantidad de especies animales, las cuales valdría la pena investigar a detalle.

Recomendamos no exagerar el estado de peligro en el que se encuentra la especie. Debe conservarse en el Apéndice II de Cites (Hernández y Godínez 1994), pero salir de la lista de especies en peligro de extinción en el Proyecto de Norma Oficial (SEDESOL 1993). Desde nuestro punto de vista, sólo eventos catastróficos impredecibles o desmontes intensos podrían poner realmente el peligro a las poblaciones de la especie. Consideramos que la especie podría estar a salvo simplemente dentro de planes de manejo adecuados para la reserva de la Biosfera del Valle de Tehucán-Cuicatlán. Si se auspician más proyectos de investigación de ecología básica de esta y otras especies de flora y fauna silvestre, tanto el conocimiento como la vigilancia de su estatus estarán garantizados.

Bibliografía

Anderson, F.E.; Arias, M. S. & Taylor, N.P. 1994. Threatened cacti of Mexico. Royal Botanic Gardens Kew. England. 135 pp

Arias, S.; Gama, S.; Guzmán, U. 1997. Las cactáceas del valle de Tehuacán-Cuicatlán. En: Dávila, P. et al. (eds) La flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F.

Baker, R.J. y J.A. Nelder. 1978. The GLIM system. Release 3. Numerical Algorithms Group. Oxford.

Boke, N.H. 1960. Anatomy and development in *Solisia*. *American Journal of Botany* 47: 59-65.

Bravo-Hollis, H. 1978. *Las cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México.*

Bravo-Hollis, H. & Sánchez-Mejorada, H. 1991. *Las cactáceas de México. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México.*

Caswell, H. 1989. *Matrix population models*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.

Cochran, M. E. 1992. STAGECOACH, ver. 2.3. User Manual. ESA Supplementary Publication Service Document No. 9202. The Ecological Society of America. Ithaca, N.Y.

Cochran, M.E. & Ellner, S. 1992. Simple methods for calculating age-based life history parameters for stage-structured populations. *Ecological Monographs* (62) 3: 345-364.

Ferriere, R., F. Sarrazin, S. Legendre y J-P Baron. 1996. Matrix population models applied Depto viability analysis and conservation: theory and practice with ULM software, *Acta Oecologica* 17

Hernández, H.M. & Godínez, H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana No. 26*: 33-52.

INEGI Sin fecha. *Carta topográfica 1:50 000 Tehuacán E14B75*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México, D.F., México.

ITC 1993. ILWIS 1.4. *The Integrated Land and Water Information System*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands.

Lacy, R.C. 1996. *VORTEX. Simulation modelo of population dynamics and viability*. User manual. Chicago Zoological Society. Brookfield, IL, USA.

Mace, G.M. & Lande, R. 1991. Assessing extinction threats: toward a reevaluation of IUCN threatened species categories. *Conservation Biology* 5:148-157.