

Informe final* del Proyecto R166
Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán

Responsable:	Biol. Eduardo Peters Recagno
Institución:	Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Ecología
Dirección:	Apartado Postal 70-275, Copilco-Universidad, México, DF, 04510 , México
Correo electrónico:	epeters@miranda.ecologia.unam.mx
Teléfono/Fax:	622 9038 Fax: 622 8995, 616 1976
Fecha de inicio:	Octubre 30, 1998
Fecha de término:	Febrero 19, 2001
Principales resultados:	Informe final, Hoja de cálculo, cartografía
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Peters Recagno, E. y C. Martorell. 2001. Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R166. México D. F. (<i>Para las secciones de exploración y descripción de localidades</i>).
Forma de citar hoja de cálculo	Peters Recagno, E. y C. Martorell. 2001. Conocimiento y conservación de las mamilarias endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Ecología. Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. R166. México D. F. (<i>Para las secciones de exploración y descripción de localidades</i>).

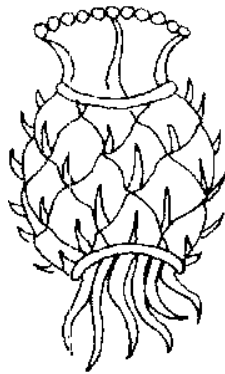
Resumen:

Muchas especies del género *Mammillaria* son consideradas como plantas "raras", dados sus restringidos rangos de distribución y poblaciones poco numerosas. El Valle de Tehuacán-Cuicatlán destaca por el elevado número de mamilarias endémicas. Si bien estas plantas están en la NOM 059, no existe información básica que apoye su inclusión en diferentes categorías, ni su clasificación como "raras" aporta información sobre su estado de conservación. El presente proyecto busca conocer el estado de conservación de estas plantas mediante dos fases: I Conocer la distribución real de las especies, y II describir las poblaciones y evaluar los factores que las amenazan, y modificar la NOM 059 en su caso. La zona se explorará con apoyo de especialistas y habitantes de la región, a fin de conocer lo mejor posible la distribución real de las mamilarias. La descripción de las poblaciones constará de la reseña de su medio físico y biótico, y de la medición de parámetros poblacionales básicos como número, densidad y estructura de tamaños. El grado de disturbio del hábitat se efectuará mediante un índice multivariado. Los resultados con que contamos a la fecha sugieren que nuestra percepción del estado de conservación de las mamilarias depende en gran medida de nuestro conocimiento sobre ellas, y que éste es por lo general muy deficiente. El panorama que se percibe antes y después de una exploración acuciosa es muy distinto. Por lo mismo se han distribuido ineficazmente los esfuerzos para conservarlas, prestando poca atención a las especies que quizá estén más amenazadas

-
- * 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.

Reporte Final del proyecto:

"Conocimiento y conservación de las
mamilarias
endémicas del Valle de Tehuacán -
Cuicatlán"



Proyecto no. R166, patrocinado por el Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998-2000

Responsables del Proyecto:

Eduardo Peters Recagno

Carlos Martorell Delgado Instituto de Ecología, UNAM

México, Octubre 2000

**Conocimiento y conservación de las
mamilarias endémicas del Valle de
Tehuacán - Cuicatlan**

Introducción

Las cactáceas son un recurso altamente amenazado por el comercio y modificación de su hábitat (CITES 1990, IUCN 1997, Oldfield 1997). Por ello es urgente evaluar el estado actual de sus poblaciones y dar recomendaciones para su protección y conservación. El Valle de Tehuacán-Cuicatlan es una zona de alta biodiversidad florística, en donde destacan las comunidades xéricas. En la zona se encuentran ochenta y una especies de cactáceas que representan el cinco por ciento de las especies existentes a escala mundial (Arias et al.1997). El grado de endemismo es alto, con 20 especies (25%) exclusivas del valle (Arias et al.1997). El endemismo es más notable dentro del género *Mammillaria*, con cuarenta por ciento. Además, en la región de Tehuacán se presentan más del diez por ciento de las especies del género *Mammillaria* en el mundo.

Si bien la mayoría de las especies endémicas del Valle se encuentran en la NOM 059 ECOL 1994 como plantas "raras", la información que dicho término proporciona acerca de su estado de conservación, así como sobre las acciones que se deben implementar para su protección es muy vaga. Nuestra experiencia con el género *Mammillaria* muestra que estas plantas "raras" están sujetas a muy distintos grados de amenaza. En un estudio más general, Gaston (1994) señala la debilidad existente en el nexo entre rareza y grado de amenaza. Es necesario aportar nuevos elementos a la discusión. Las mamilarias son un género en el cual los endemismos son muy frecuentes, y por tanto la rareza geográfica es la regla. Es importante estudiar la relación entre rareza y grado de amenaza en un grupo de tanto interés en el área de la conservación (Oldfield 1997).

A pesar de la importancia de las cactáceas, su distribución geográfica es muy poco conocida. El número de localidades donde las plantas se encuentran es prácticamente ignorado, conociéndose apenas unas cuantas, a menudo cerca de las carreteras. Este desconocimiento ha generado una apreciación errónea del grado de amenaza de dichas plantas. Es por lo tanto un objetivo central del presente estudio efectuar una búsqueda de posibles nuevas localidades de mamilarias endémicas para conformar un cuadro lo más realista posible de la situación que enfrentan actualmente. Un punto muy importante a considerar en dicho cuadro son los factores que representan alguna amenaza para las plantas.

La destrucción del hábitat es un fenómeno de gran envergadura en la zona de estudio. El resultado de ello ha sido **fa** desaparición o el diezmo de algunas poblaciones de mamilarias. La destrucción es consecuencia de diferentes factores tales como sobrepastoreo, erosión, cambios en el uso del suelo, etc. Es deseable poder cuantificar el disturbio de una forma sencilla y expedita:
El grado

de disturbio influye en la toma de decisiones tales como la definición de áreas protegidas, o la inclusión de especies en las "listas rojas". El grado de disturbio y la destrucción del medio nos proporcionan por sí mismo información valiosa para establecer planes de conservación de las plantas y evaluar su grado de amenaza. Sin embargo, diferentes especies reaccionan de modo distinto al disturbio, habiendo plantas susceptibles, tolerantes y hasta ruderales. No existe, sin embargo, una metodología adecuada para medir el grado de disturbio de forma instantánea. Uno de los objetivos prioritarios del presente proyecto fue ensayar un método nuevo para medir el grado de disturbio que ha sufrido una localidad.

El estudio de las amenazas a la vida silvestre también nos auxilia para prever las contingencias que las poblaciones naturales pueden enfrentar en el mediano plazo. Las herramientas más robustas para efectuar proyecciones al futuro, tales como la demografía, requieren estudios por tiempos prolongados de tiempo. Sin embargo, las decisiones en el área de la conservación deben tomarse las más de las veces en un plazo muy corto. Este proyecto busca establecer una metodología sólida, basada en la medición del disturbio, para efectuar proyecciones y establecer prioridades para la conservación.

El proyecto constó de dos etapas: Primero, la exploración del Valle de Tehuacán a fin de tener una perspectiva más realista de la situación de las especies. Segundo, la descripción de las poblaciones encontradas y de los factores que las amenazan. La información generada permitió replantear con más elementos su clasificación en la NOM 059 y otras listas rojas, así como hacer algunas propuestas para lograr un manejo y conservación adecuados.

Objetivo general

Avanzar en el conocimiento científico sobre la distribución, ecología, grado de amenaza y conservación de las mamilarias endémicas de el Valle de Tehuacán.

Objetivos específicos

1. Conocer la distribución geográfica de las mamilarias endémicas en una forma más completa y realista
2. Describir las poblaciones de las mamilarias endémicas, tanto en su tamaño, densidad, estructura de tamaños, como en las características de su entorno físico y biológico.
3. Ensayar una nueva metodología para medir el grado de disturbio y su efecto sobre los parámetros poblacionales arriba señalados. Jerarquizar los factores de disturbio que afectan a las mamilarias según su impacto.
4. Emitir recomendaciones para (en su caso) modificar la categoría de las plantas en la NOM 059 ECOL 1994 y en la lista de especies amenazadas de la IUCN, así como para conservar y/o manejar las poblaciones de mamilarias más adecuadamente.
5. Evaluar la información global del proyecto con el fin de proponer un marco teórico más amplio para el estudio y conservación de las cactáceas microendémicas o "raras".

Métodos

Especies bajo estudio

Existen trece especies endémicas a la región de Tehuacán-Cuicatlán. Dada la abundante sinonimia dentro del grupo, se empleó la nomenclatura de Arias, Gama y Guzmán (1997). La mayoría de estas especies se reconocen como plantas en algún grado de riesgo (Tabla 1). El presente proyecto abordó el estudio de nueve especies.

Tabla 1. Clasificación de las especies endémicas del Valle de Tehuacán -- Cuicatlán en las diferentes "listas rolas" nacionales e internacionales. Las categorías reconocidas por los diferentes autores son: Amenazada, Indeterminada, No Amenazada, **Rara**, y Vulnerable. Con asterisco se señalan las especies estudiadas en el presente proyecto.

Especie	NOM	CITES		
		Apnd	Hunt 92	IUCN 97
<i>M. crucigera</i> *	R	II	V	R
<i>M. dixanthocentron</i> *	R	II	V	R
<i>M. duoformis</i>	R	II	R	R
<i>M. hernandezii</i> *	R	II		R
<i>M. huitzilopochtli</i> *	R	II	V	V
<i>M. kraehenbuehlii</i> *	R	II	V	V
<i>M. napina</i> *	A	II	A	A
<i>M. pectinifera</i> *	A	I	A	A
<i>M. solisioides</i> *	A	I	A	A
<i>M. sphacelata</i>		II	NA	
<i>M. supertexta</i>		II	V	V
<i>M. tepexcensis</i>	R	II		R
<i>M. varieaculeata</i>	R	II	I	R

Exploración

Esta fase *del proyecto* consistió, en primer lugar, en reunir toda la información disponible sobre las especies estudiadas. La información se obtuvo mediante una revisión de la bibliografía existente, el estudio de los ejemplares del herbario nacional, el intercambio de información con los especialistas del grupo

taxonómico y entrevistas con personas que habitan en las áreas de interés. En segundo lugar se procedió a visitar (en ocasiones redescubrir) las poblaciones conocidas, el objetivo de estas visitas fue entender los requerimientos ecológicos, edáficos y geológicos de cada especie. La información anterior fue entonces el punto de partida para realizar propiamente la exploración, dicha exploración fue dirigida radiando los sitios conocidos pero acotando la búsqueda con los requerimientos ambientales de la especie buscada.

Descripción de las poblaciones

Las poblaciones estudiadas se georreferenciaron a grados, minutos y segundos. La superficie abarcada por las especies se midió. En el caso de las poblaciones pequeñas, se midieron en el campo las distancias desde el centro a la periferia en ocho direcciones, calculándose el área mediante triangulación. Para las poblaciones de mayor tamaño, se delimitaron las superficies sobre una carta topográfica sobre la que se midió posteriormente el área con ayuda de una computadora. En cada sitio se tiraron al azar transectos de 50x1 ó 50X2 m dependiendo de la densidad, tamaño y accesibilidad de las plantas. En cada transecto se efectuó un conteo directo de los individuos, y se les midió el diámetro y la altura. Con este método se pudo estimar tamaño de la población (número total de individuos), densidad (individuos por hectárea), y estructura de tamaños. Para cuantificar la estructura de tamaños se desarrolló un índice que toma valores de cero si no hay plantas pequeñas (indicadoras del reclutamiento), y tiende a uno si éstas son muy abundantes.

Para estimar el intervalo de confianza para la densidad se empleó el método convencional calculando el intervalo de confianza para la densidad promedio de todos los transectos en una localidad. Este método, basado en el cálculo del error estándar (Sokal y Roif 1969) asume que los datos se distribuyen normalmente. Esto no ocurre así, por lo que los datos se normalizaron mediante la transformación de Box-Cox (Krebs 1989) antes de calcular el intervalo de confianza, al cual se le aplicó posteriormente la transformación inversa. Para calcular el intervalo de confianza para los tamaños poblacionales, se multiplicaron los límites inferior y superior del intervalos correspondiente a la densidad por el área total ocupada por la población.

Medición del disturbio

El método que proponemos para la medición instantánea del disturbio puede tener varias aplicaciones en estudios de conservación. Éste se basa en la medición de varios parámetros que indican, cada uno de ellos, una mayor intensidad de disturbio. Se utilizan 15 parámetros resumidos en la caja 1. La información recabada se estandarizó para cada variable restándole su media y dividiéndola por su desviación estándar, y luego se analizó mediante componentes principales (Gauch 1982), resumiéndose toda la información en un solo eje o "componente principal. Con ello se concreta una medida única del grado de disturbio. El método se ha desarrollado en dos etapas: La primera

consistió en poner a prueba todas las variables en el campo, hacer un análisis preliminar de los datos, y probar si el índice resultante refleja la intensidad del disturbio de manera convincente. La segunda etapa consiste en aplicar el método a la totalidad de localidades estudiadas.

La primera etapa se desarrolló en diez localidades donde crece *M. pectinifera*. Para poner a prueba el método se compararon los resultados del análisis con una ordenación a priori de los sitios de menor a mayor perturbación efectuada "a ojo". Para evaluar qué tanto se corresponden los resultados del método con la percepción del grado de disturbio que tenemos los biólogos se calculó la correlación mediante el coeficiente de Spearman. Cabe señalar que tras las pruebas en el campo se introdujeron algunos cambios sobre la propuesta inicial que se presentó a CONABIO. La variable saqueo se eliminó por la dificultad que representa su comprobación en el campo. Por el contrario, se añadieron las variables número de caminos humanos, presencia de "islas", adyacencia a sitios con cambio de uso del suelo y superficie totalmente modificada (caja 1).

Para la segunda etapa se utilizaron la totalidad de especies, lo que abarca los diferentes tipos de vegetación y climas que se encuentran en el Valle de Tehuacán. Esto metió ruido al estudio. Al seguir una aproximación semejante a la empleada en la primera etapa del análisis, en vez de perturbación los componentes principales detectaron dichas diferencias ambientales. Esto pudo deberse a que diferentes variables son importantes en los sitios donde crecen las diferentes especies. Por ejemplo, aún bajo intensidades de pastoreo comparables, se encuentran muchas excretas de cabra en los sitios donde crece *M. napina*, y prácticamente ninguna en donde hay *M. hernandezii*. Los datos se estandarizaron nuevamente restando a cada variable, ya no la media global, sino la media de la especie correspondiente a cada sitio. De este modo la media de la variable es cero, como lo requiere el análisis. Esta transformación corrigió el problema.

No todas las especies experimentan las tres diferentes formas de perturbación (Ganadería, actividades humanas y degradación del hábitat) en las mismas intensidades. Para recuperar esta información, se descompuso el disturbio en dichos componentes (Las variables que constituyen cada uno se señalan en la Caja 1), y se analizaron por separado. Se obtuvo un índice para cada forma de perturbación. Los tres índices se sumaron para obtener un índice total y único, tal como el que se obtuvo en la primera etapa. El índice resultante describió adecuadamente la intensidad de disturbio para la mayoría de las especies, según la correlación del índice con una ordenación *a priori*, de forma semejante a como se hizo en la primera etapa. Aún así, para cuatro especies la correlación era menor a 0.7, lo que se consideró inadecuado. Para incrementar la concordancia entre el valor del índice y lo observado en el campo, se asignaron pesos a las diferentes variables, dando más peso a aquellas que estuvieron más correlacionadas (y por lo tanto son mejores descriptores de la intensidad de la perturbación) con el índice desarrollado en la primera etapa. Tras esto la concordancia se incrementó sustancialmente. Dos sitios (Pala y Las Pilas) de 81

Caña 1: Variables medidas para estimar el disturbio. Se clasificaron las 15 variables de acuerdo a la naturaleza del disturbio en ganadería, actividades humanas y deterioro del hábitat.

Ganadería

- 1) *Densidad de excretas de cabras (CABR):* Se midió como la fracción de cuadros de 1 m^2 donde se encontraron excretas. Para ello se sortearon 10 cuadros sobre un transecto de 50 metros.
- 2) *Densidad de excretas de ganado (GANA):* Equivalente a la variable anterior, pero se cuantificaron las excretas de cualquier otro tipo de ganado. Las excretas de animales silvestres no se cuantificaron.
- 3) *Fracción de plantas ramoneadas (RAMO):* Se revisaron todas las plantas en una franja de 50 m^2 buscando evidencia de ramoneo. La fracción de plantas con dichas características del total de plantas revisadas es un indicador de la intensidad del forrajeo. El ramoneo se debe fundamentalmente al ganado, ya que casi no hay animales silvestres en la región.
- 4) *Caminos ganaderos (CLAN):* Se cuantificó el número de caminos hechos por el ganado por cada metro de un transecto paralelo a la pendiente.
- 5) *Compactación del suelo por ganado (COMP):* El pisoteo de los animales provoca la compactación del suelo. Ésta puede indicarnos la intensidad del tránsito en los caminos ganaderos. En un camino ganadero elegido al azar, y en un suelo que no mostrara signos de pisoteo se midió la tasa de infiltración de agua utilizando cilindros de PVC de 10.4 cm diámetro enterrados a 4 cm del suelo. Dentro de estos cilindros se vertieron 250 ml de agua y se midió el tiempo que tardaba en infiltrarse. La razón entre los tiempos de infiltración del camino y el suelo indica la compactación del suelo.

Actividades humanas

- 6) *Fracción de plantas macheteadas (MACH):* Indica la frecuencia de visita de personas a la zona, y la intensidad de la extracción de recursos maderables. Se midió igual que la fracción de plantas ramoneadas.
- 7) *Número de caminos humanos (CAHU):* Las zonas más utilizadas por los lugareños están bien comunicadas a través de una red de caminos. Éstos se midieron de igual forma que los caminos ganaderos.
- 8) *Cobertura de caminos humanos (CCHU):* Los caminos más utilizados por la gente son más anchos, y por lo tanto ocupan una mayor proporción de la superficie de una zona. Esta proporción se calculó dividiendo el ancho de los caminos medido a lo largo de un transecto, entre la longitud de dicho transecto.
- 9) *Cercanía a poblaciones (POBL):* Las zonas aledañas a los poblados reciben visitas más frecuentes y son el tránsito hacia los terrenos más distantes, por lo que la distancia a los pueblos puede indicar la intensidad de las actividades humanas y ganaderas. Como medida de cercanía se utilizó el inverso multiplicativo de la distancia en kilómetros a la población más cercana.

Caia 1 (Cont.) Variables medidas para estimar el disturbio.

- 10) Adyacencia a núcleos de *actividad (ADYA)*: Los núcleos de actividad humana fuera de los pueblos, tales como minas, milpas, carreteras, capillas, etc. , pueden funcionar como puntos a partir de los cuales el impacto humano radia. Se registró si las zonas de estudio estaban adyacentes a dichos núcleos.
- 11) *Cambio de uso del suelo (USOS)*: En varios estudios se emplea el porcentaje de suelo destinado a actividades humanas como indicador del disturbio. En este estudio contemplamos la fracción de suelo cuyo uso se ha modificado (zonas urbanas, milpas, minas, etc.) dentro de las zonas de estudio
- 12) *Evidencia de incendio (INCE)*: Las actividades agrícolas y los fuegos encendidos en el monte son causas de disturbio severo. Se registró si había evidencias de incendios recientes en las zonas de estudio

Deterioro del hábitat

- 13) *Erosión (EROS)*: La ganadería y las actividades humanas modifican la cobertura vegetal y le permeabilidad del suelo, resultando en la intensa erosión que se observa en las zonas de estudio. Se midió el porcentaje de la superficie que estaba erosionada. Sólo se consideraron las evidencias de erosión severa, tales como cauces donde se observaban huellas de arrastre de materiales, afloramientos de roca madre y erosión en caminos humanos.
- 14) Islas (ISLA): Los procesos erosivos severos, aunados a grandes densidades de caminos ganaderos, resultan en paisajes muy característicos en los cuales sólo se observan pequeños montículos de suelo cubiertos de vegetación en una matriz de suelo fuertemente erosionado y desnudo. Llamamos a esto "islas", y se registró su presencia.
- 15) *Superficie totalmente modificada (STOM)*: En algunos casos porciones de las zonas de estudio habían sido tan modificadas que era imposible o carente de significado realizar las mediciones anteriores en ellas. En tales casos se estimaba la proporción de superficie con tales características.

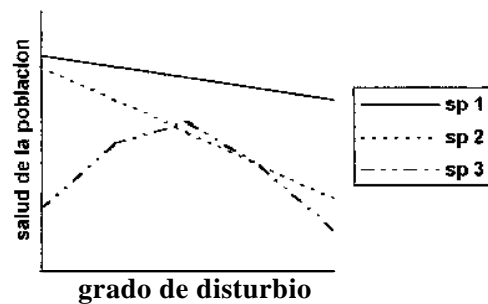
parecieron claramente mal ubicados por el índice, por lo que sus valores se interpolaron. La correlación final entre el índice y los valores esperados fue de 0.88 medida mediante el coeficiente de Spearman.

Susceptibilidad y ruderalidad.

La estimación del grado de susceptibilidad o tolerancia de las especies estudiadas ante el disturbio se efectuó evaluando cómo el grado de disturbio al que están sometidas las poblaciones silvestres afecta a la densidad y la estructura de las mismas. Se esperaba que en poblaciones saludables la densidad fuera elevada y el índice de estructura relativamente grande, indicando un vigoroso reclutamiento. Por lo tanto, se esperaba, en forma cualitativa, que ambos parámetros disminuyeran conforme el disturbio aumentaba, Las observaciones de campo sugirieron que muchas mamilarias medran en sitios

poco perturbados, es decir, que sus poblaciones debieran desempeñarse mejor conforme la perturbación aumenta, aunque cantidades demasiado fuertes de perturbación terminarían por afectarlas negativamente. A estas especies las denominamos **ruderales** (Figura 1).

Figura 1. Relación entre grado de disturbio y desempeño de tres especies hipotéticas. Las especies uno y dos se ven perjudicadas por el disturbio, a diferencia de la especie tres, que calificaría como ruderal. Por su pendiente, podemos decir que la especie dos es más susceptible que la uno.



Cuantitativamente hablando, esto implica estimar las pendientes de dichas rectas, y si una curva puede describir mejor los datos que una recta. La forma de lograr esto es mediante regresiones, evaluando tanto la significancia de la pendiente como de un término cuadrático, indicador de curvatura. Dado que consideramos la densidad y la estructura como variables independientes, hicimos una regresión para cada una. En el primer caso se utilizó un modelo log-lineal, que supone distribuciones Poisson, típicas de los conteos tales como la densidad. Para la estructura se normalizaron los datos mediante la transformación angular y se analizaron mediante ANOVA. En cada regresión se consideraron como variables independientes la especie y los valores de los tres componentes de la perturbación, así como las respectivas interacciones.

Una vez ajustados los modelos mediante regresión, y ya que se hubo determinado cuáles especies son ruderales se procedió a obtener indicadores que nos resumieran la información para cada especie. Se definieron cuatro parámetros importantes:

1. **Presión:** Es el disturbio promedio al que están sujetas todas las poblaciones de una especie.
2. **Ruderalidad:** Es el valor de disturbio en el cual la salud de la población es máxima. Para las especies no ruderales, este valor es cero. Puede visualizarse como el punto máximo de la curva de la especie 3 en la figura 1.

3. **Susceptibilidad.** Es el cambio porcentual promedio que experimentará la densidad de la especie si la presión se incrementa en 20% en todas sus poblaciones.

4. **Amenaza:** Es el componente del disturbio al cual la especie es más susceptible.

La susceptibilidad se definió así tomando en cuenta las siguientes consideraciones: Primero, que las densidades por sí mismas no son comparables entre especies; por ejemplo, el número de árboles en una hectárea de bosque es muy inferior a la del número de bacterias en la misma área. Por ello se optó por una escala porcentual. Segundo, se cree que las tasas de perturbación aumentan en forma exponencial (Singh 1998), por lo que en el mismo período de tiempo un sitio con 10 puntos de perturbación aumentará a 12, mientras que uno con 50 puntos aumentará a 60. Si bien el valor del incremento es bien distinto (dos y diez puntos respectivamente) el cambio en porcentaje es igual (20% en cada caso). Se calculó la susceptibilidad para cada uno de los tres componentes del disturbio.

Los cuatro parámetros anteriores se seleccionaron por que nos dan información primordial para la conservación. La presión nos indica qué tan golpeadas, por las actividades del hombre, han sido los sitios donde crece una especie. La ruderalidad nos da información para priorizar los esfuerzos de conservación, pues una especie no ruderal puede estar más amenazada que una ruderal, además de que una especie ruderal requiere de una estrategia totalmente diferente para su conservación. La susceptibilidad nos indica qué tanto se van a reducir (o crecer, en algunas ruderales) los tamaños poblacionales en el futuro si los agentes que están provocando el disturbio siguen activos. La amenaza nos indica cuáles son los factores que pueden provocar una reducción más intensa en el número de individuos.

Nodricismo

Para evaluar la tendencia de una especie a presentar o no nodricismo se evaluó comparando la frecuencia con que las plantas se presentan o no nodriciadas respecto a la frecuencia esperada al azar. Ésta se determinó eligiendo puntos al azar mediante transectos, y determinando si una planta que hubiera estado ahí se consideraría nodriciada o no. Se tomó en cuenta el nodricismo clásico, donde las plantas crecen bajo arbustos, y el nodricismo abiótico, donde la asociación es con piedras.

Para comparar las frecuencias observadas y las esperadas al azar se aplicó una prueba de G de heterogeneidad. Esta es una prueba de bondad de ajuste que permite el uso de réplicas, siendo cada localidad una réplica para la especie. Esta técnica evalúa si las mamilarias de una especie crecen preferentemente en ciertas condiciones, y si el nivel de asociación con dichas condiciones es heterogéneo, es decir, que varía entre réplicas (Sokal y Rohlf 1969).

Cuando se encontró que las plantas no seguían una distribución aleatoria, se aplicaron dos pruebas equivalentes, evaluando la frecuencia con que las plantas se presentaron asociadas a nodriza biótica o no, y asociadas o piedra o no. Con

ello se evaluó la significancia de la asociación con cada tipo de nodriza. Si la prueba no resultaba significativa, se concluyó que no hay asociación entre plantas y nodrizas. De lo contrario, se comparaban las frecuencias esperadas y observadas. Si había más plantas de las esperadas asociadas a nodriza, se consideraba que la asociación era positiva (que las plantas tienden a estar asociadas a la nodriza). Si había menos plantas de las esperadas, se consideraba que la asociación era negativa (las plantas tienden a ocurrir lejos de las nodrizas).

Resultados

Exploración

Gracias a la información que amablemente nos proporcionaron algunos estudiosos de las cactáceas, se incrementó sustancialmente el número de localidades conocidas, pero que no se encuentran publicadas. En términos generales se puede decir que la exploración rindió resultados muy superiores a los que se esperaban, localizándose 62 sitios nuevos para la distribución de mamilarias endémicas. Esto significa, en promedio, un incremento del 168% en el número de sitios conocidos por especie. De las localidades previamente conocidas, seis no se visitaron, una por lo remoto del sitio, tres no se localizaron debido a referencias deficientes, y dos presentan problemas taxonómicos por lo que no estamos seguros de su validez (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la exploración. Se registra el número de localidades que se conocían previamente, cuántas de ellas han sido ubicadas en el presente estudio, y cuántas se han descubierto como resultado de la exploración.

Especie	Localidades previamente conocidas	Localidades previamente conocidas visitadas	Localidades nuevas descubiertas	Total
<i>M. crucigera</i>	5	5	4	9
<i>M. dixanthocentron</i>	10	8	11	21
<i>M. hemandezii</i>	3	3	8	11
<i>M. huitzilopochtli</i>	3	3	4	7
<i>M. kraehenbuehlii</i>	7	6	6	13
<i>M. napina</i>	3	2	8	11
<i>M. pectinifera</i>	12	10	7	19
<i>M. supertexta</i>	2	2	3	5
<i>M. solisioides</i>	3	3	11	14
Total	48	42	62	110

En la hoja de cálculo "ubicación de localidades.xls" se reportan las georreferencias para ciento diez localidades de mamilarias endémicas, incluyendo *cuatro de la muy amenazada, aunque no endémica, M. zephyranthooides*. Dicha información debe permanecer bajo la categoría de confidencial debido a la

amenaza que representan los saqueadores para algunas de estas especies. En la misma hoja de cálculo se reporta información sobre algunas características relevantes de la ecología de las especies estudiadas como son la altitud, el hábitat y el tipo de vegetación. A cada localidad se le asignó un nombre relativo a la población humana más cercana, en ocasiones se toman nombres de ríos o componentes topográficos conspicuos.

El mapa 1 muestra la ubicación de dichas localidades, por lo que es importante que también permanezca confidencial. Como se ve en este mapa y en el mapa 2, hay dos zonas donde se concentran gran cantidad de localidades, endemismos y especies: La porción norte de la Mixteca Alta, la porción sudeste de *La Cañada*, cada una con cuatro especies. Las montañas que rodean a la ciudad de Tehuacán destacan más por el endemismo de dos especies (*M. pectinifera* y *M. napina*) que por su riqueza. Por último, en una región aparte, al noroeste de Huajuapán de León, solo aparece *Mammillaria solisioides*. En los mapas también podemos observar áreas vacías, los resultados en estas áreas deben tomarse con cierto cuidado ya que pueden ser reflejo de la falta de exploración.

Las especies estudiadas presentan diversos grados de endemismo (Tabla 3), en general todas se presentan en áreas reducidas, teniendo como caso *extremo* a *M. hernandezii* donde su área de ocupación es de 40 ha y su extensión de presencia tan solo de 17,1 km². Por el otro lado tenemos a *M. dixanthocentron* con un área de ocupación de 1021 has y una extensión de presencia de 3795.9 km². En la misma tabla podemos comparar las extensión de presencia función de las localidades previamente conocidas y las descubiertas. Como resultado de la exploración, estas superficies se incrementaron en forma importante, en un 419% en promedio,

Tabla 3. Extensión de presencia. Se comparan las áreas de extensión de presencia formadas por las localidades conocidas antes y después del estudio. Las unidades son kilómetros cuadrados.

Especie	Antes	Después
<i>M. crucigera</i>	116.7	132.3
<i>M. dixanthocentron</i>	1392.7	3795.9
<i>M. hernandezii</i>	6.3	17.1
<i>M. huitzilopochtli</i>	11.5	40.0
<i>M. kraehenbuehfi</i>	653.1	715.8
<i>M. napina</i>	22.5	438.2
<i>M. pectinifera</i>	620.1	1438.9
<i>M. solisioides</i>	34.8	211.9
<i>M. supertexta</i>	45.8	349.9

Descripción de localidades

La descripción de las localidades fue la actividad que más tiempo y recursos consumió en el presente proyecto. Un total de 81 sitios fueron descritos. Los resultados de esto se reportan en la Tabla 4 o bien en la hoja de cálculo "descripción localidades.xls". La descripción de las localidades consistió en estimar el área de las poblaciones, registrar la altitud, calcular la orientación y pendiente media, así como el tipo de vegetación. Por otro lado se calcularon parámetros demográficos como son el tamaño poblacional (número de individuos), con sus respectivos intervalos de confianza, la densidad y la estructura poblacional. En la hoja de cálculo citada también podemos observar los resultados referentes al índice de disturbio que se puede dividir en tres causas principales de modificación del medio: La degradación física del medio, la ganadería extensiva y las actividades humanas.

Para un mejor entendimiento a nivel de especie los descriptores antes mencionados se resumen y se presentan en la Tabla 5 y en la hoja de cálculo "descripción de especies.xls". El área de ocupación (suma del área de todas las poblaciones por especie), la altitud media (en metros), la pendiente media (en grados) y la orientación media (en grados) son los descriptores utilizados para reseñar el ambiente físico prevaleciente por especie. También se ponen a las especies en un contexto ecológico anotando el tipo de vegetación donde ocurren, sus requerimientos de nodriza y su hábitat. Cuando se habla de nodriza biótica nos referimos al tipo de asociación de las mamilarias estudiadas con la vegetación perenne y cuando hablamos de nodriza abiótica nos referimos al tipo de asociación que las mamilarias pueden tener con las rocas. En los dos casos se entiende como efecto nodriza a un proceso de facilitación que provee dicha asociación en algún momento del ciclo de vida de las plantas estudiadas. En esta hoja también se resume el tamaño poblacional total (suma del número de individuos estimados de todas las localidades) por especie con sus intervalos de confianza correspondientes. La especie que resultó ser la más numerosa es *M. hultzilopochtli* con 1.8 millones de individuos, en el extremo opuesto aparece *M. kraehenbuehlii* con 63 mil individuos. En esta misma hoja de cálculo se presentan los resultados de la presión, susceptibilidad, amenaza y ruderalidad a las que están sujetas las distintas especies, el análisis de estos resultados se presentan más adelante.

Tabla 4 Descriptores de las localidades estudiadas. El área se reporta en hectáreas, y la densidad en individuos por hectárea, excepto para *M. Crucigera* donde la densidad es por metro lineal de acantilado. El tamaño es el número de individuos totales en cada localidad. El índice estructural indica la abundancia de individuos pequeños en la población, donde los valores cercanos a uno indican que hay una elevada cantidad de plantas chicas. El disturbio se mide con un índice multivariado. (Tilapa es la unión de Cerro Agujerado y Nanahuatipan).

Especie	Localidad	Área	Altitud	Tamaño poblacional	Densidad	Estructura de tamaños	Disturbio total
<i>M. crucigera</i>	Ayotla	1166	940	5050	5	0.72	40
	Cerro Agujerado				30	0.89	31
	Cerro Blanco	7.04	1000	1181	2	0.84	63
	El Mesón	21.13	880	11183	10.33	0.70	5
	Malinala	37.78	880	24756	12	0.83	37
	Nanahuatipan				16	0.76	58
	Tecomavaca	9.32	730	15333	13.33	0.49	25
	Teotitlán	5.09	980	5709	13	0.78	67
	Tilapa	740.96	1020	229x84			
Toxpalan	3.30	980	823	3	0.70	28	
<i>M. dioxanthocentron</i>	Ayotla	0.48	900	779	1622	0.74	46
	Buenavista	33.18	2200	32135	966	0.78	52
	Cerro Gordo	47.50	2480	60923	1282	0.81	28
	Los Cúes	2.90	920	1125	3B6	0.66	56
	Mittepec	56.00	2000	79600	1425	0.67	31
	Pala	48.72	2500	46727	1000	0.78	28
	Pápalo	637.00	1920	196562	308	0.66	31
	Tecomavaca	14.05	640	36400	2600	0.59	31
	Teokitlón	172.00	1860	1394,37	808	0.72	31
	Tepelmeme	9.28	2140	2164	233	0.63	90
<i>M. hemandezii</i>	Buenavista	0.60	2150	2962	4969	0.61	39
	Cerro Agujerado	1.68	2290	4064	2422	0.61	62
	Chilacayota	1.26	2270	6071	4800	0.58	42
	El Gavilán	3.34	2200	5047	1511	0.67	100
	El Plan	0.79	2260	330	420	0.59	55
	El Pulpito	4.32	2=	bit-3	1567	0.63	35
	El Sotolín	2_10	2170	3725	1778	0.59	94
	Llano de la Estrella	11.30	2270	6267	555	0.58	59
	Mogote Blanco	12.02	2190	82264	6844	0.62	57
	Nadenda	2.36	2270	13494	5667	0.59	42
<i>M. huitzilopochtli</i>	Cacahuatal	85-00	760	36250	450	0.67	22
	Cuicadán	337.64	760	485196	1467	0.63	42
	El Chile	104.00	900	153029	1471	0.48	10
	Los Cúes	69.69	720	439053	6300	0.86	29
	Quiotepec	392.36	560	6513019	1664	0.49	52
	Sendo	69.00	760	37950	550	0.48	33
	Tecomavaca	0.57	880	2470	4503	0.57	6

Tabla 4 (Cont.) Descriptores de las localidades estudiadas

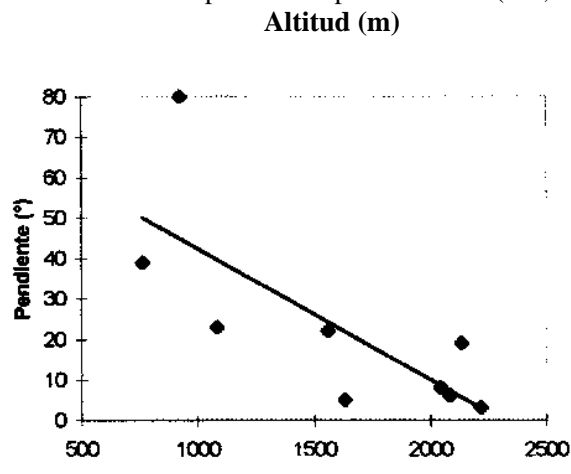
Especie	Localidad	Area	Altitud	Tamaño poblacional	Densidad	Estructura de tamaños	Disturbio total
<i>M. kraehenbuehli</i>	Buenavista	1.55	2100	815	527	0.86	66
	El Tigre	1.20	2220	116	96	0.70	36
	Ixcatlán	14.35	2250	15656	1091	0.75	37
	La Luz	2.33	2100	1114	477	0.76	46
	Las Pilas	0.24	2180	74	307	0.62	36
	Palo Solo	28.00	2210	26939	175	0.78	66
	Plata	3.68	2060	16183	4400	0.82	55
	Tamazulapan	4.06	2130	1144	218	0.77	47
	Tepelmeme	1.65	2040	1288	777	0.83	77
	Yuyuzá	0.21	2150	70	325	0.77	64
<i>M. napina</i>	Azumbilla	122.00	2300	155166	1266	0.34	21
	Conucoa	0.26	1890	224	861	0.41	43
	El Riego	0.27	1910	119	417	0.42	65
	Mezrluite	0.14	2100	307	2275	0.39	29
	Mirador	1.32	1930	57	43	0.36	22
	Raya	0.39	2060	206	521	0.38	30
	San Juanico	0.08	2240	59	716	0.42	54
	Teloxtoc	1.38	2040	749	543	0.41	71
	Xochiltepec	0.30	2300	1048	3527	0.44	50
	Zapotitlán	0.28	2080	96	350	0.37	31
	<i>M. pectinifera</i>	Azumbilla	40.00	2180	5800	145	0.39
Coapan		1.05	1740	77	2225	0.52	73
El Riego		1.81	1940	7608	4200	0.54	61
Frontera		4.73	2000	4191	886	0.49	19
Nopala		1.54	2280	5530	3600	0.58	28
Tecamachalco		13.46	2200	21262	1580	0.53	72
Teontepec		400	2000	7730	1933	0.52	66
Teteletitlán		4.36	2220	2037	1000	0.44	60
Texcala		22.81	1900	168465	4889	0.53	63
Zapotitlán		2.17	2100	8281	3620	0.56	38
<i>M. sofisioides</i>	Agua Dulce	0.19	1740	854	4400	0.43	50
	Ahuehuetitlán	0.52	1720	1589	3040	0.53	65
	Ayú	0.19	1780	1483	7967	0.50	65
	Guacamayo	1.20	1750	1712	1629	0.49	50
	Huajuapán	8.15	1720	14668	914	0.66	70
	Ixitián	2.51	1700	20800	8300	0.54	67
	La Virgen	2.86	1720	11503	4035	0.58	58
	Petlalcingo 1	2.16	1400	18845	8714	0.57	72
	Petlalcingo 2	0.06	1380	1206	20800	0.44	64
	Reyes	0.20	1750	322	1644	0.45	32
<i>M. supertexta</i>	Calapa	62.00	1100	395422	6378	0.66	0
	Los Cúes Norte	21.00	900	6300	300	0.74	48
	Los Cúes Sur	11.43	860	1827	153	0.75	30
	Quiotepec	334.8	680	145715	614	0.56	20
	Santa Lucía	22.00	1880	19345	879	0.56	22

Tabla 5. Descriptorios de las especies estudiadas. Se presentan los valores promedio de la altitud, pendiente y azimut donde habitan las especies en estudio. La vegetación típica es aquella que presentan tres o más localidades, el área total es la suma de las áreas de cada población y el tamaño es el número total de individuos de cada especie. El tipo de vegetación es aquella que ocurre en el 33% de las localidades o más.

Especie	Altitud	Pendiente	Azimut	Vegetación típica	Área total (Ha)	Tamaño
	media (m)	(°)	(°)			
<i>M. crucigera</i>	926	80	249	Bosque tropical caducifolio	836.28	293,521
<i>M. dixanthocentron</i>	1560	22	143	Bosque tropical caducifolio y Bosque de <i>Quercus</i>	1021.11	598,052
<i>M. hernandezii</i>	2219	3	224	Pastizal de <i>Boutefoa</i>	39.78	131,015
<i>M. huitzilopochtli</i>	763	39	183	Bosque tropical caducifolio	1058.25	1,818,969
<i>M. kraehenbuehlii</i>	2137	19	108	Matorral submontano	57.29	63,397
<i>M. napina</i>	2085	6	138	Matorral submontano	126.42	158,033
<i>M. pectinifera</i>	2046	8	194	Matorral submontano	95.93	233,236
<i>M. solisiodes</i>	1633	5	163	Transición bosque tropical caducifolio chaparral	18_04	72,982
<i>M. supertexta</i>	1084	23	246	Bosque tropical caducifolio	451.32	568.609

Podemos clasificar a las especies en mamilarias de altura ; *M. hernandezii*, *M. kraehenbuehlii*, *M. napina*, *M. pectinifera* y *M. dixanthocentron* y mamilarias de tierra caliente; *M. crucigera*, *M. dixanthocentron*, *M. huitzilopochtli*, *M. supertexta* y *M. solisiodes*. *M. dixanthocentron* aparece en las dos categorías ya que se distribuye por un lado entre los 600 y 900m, encontrándose una discontinuidad de 1000m pues no hay localidades sino hasta los 1900 y 2500m. Por pendiente también podemos agrupar a las especies en dos grupos : las que ocurren en zonas planas ; *M. hernandezii*, *M. kraehenbuehlii*, *M. napina*, *M. pectinifera* y *M. solisiodes*. y las que prefieren pendientes fuertes o acantilados ; *M. crucigera*, *M. dixanthocentron*, *M. huitzilopochtli* y *M. supertexta*. Hay una relación entre pendiente y altitud. Las plantas de altura prefieren las zonas planas mientras que las de tierra caliente prefieren los terrenos inclinados (Figura 2, F=8.76, p=0.021). *M. solisiodes* rompe la reglas aunque se podría decir que esta especie ocurre en sitios de transición. En algunos casos *M. kraehenbuehlii* prefiere paredes. En relación al azimut no hay preferencias marcadas.

Figura 2. Relación entre pendiente y altitud. Las especies que crecen en zonas bajas tienden a presentarse en zonas de pendientes pronunciadas ($R^2_{ajust}=0.49$)



Medición de disturbio

Primera etapa:

De las 15 variables medidas en el campo, la variable incendio se descartó pues sólo se observaron evidencias en un sitio. Ésa información no era útil para el análisis de componentes principales. Las demás variables, a excepción de GANA y COMP están correlacionadas positivamente entre sí. Ya que cada una indica disturbio por si misma, y que el índice resultante es la suma ponderada de todas ellas, el primer componente principal puede interpretarse como un eje de perturbación. Este primer componente comprende el 29.6% de la variación total.

Se observó una amplia variación en los valores de disturbio (Tabla 6), correspondiendo con el gradiente observado en la naturaleza, que abarca desde sitios relativamente conservados hasta basureros. La correlación de Spearman con la ordenación a priori fue de 0.96. Esto significa que el método de medición de disturbio concuerda cercanamente con el grado de deterioro que se percibe "a ojo", validándose el método. La escala de medición es de razón, por lo que el valor "cero" es arbitrario.

Para calcular los puntos de disturbio se emplea la ecuación (1), obtenida del análisis de componentes principales. Las abreviaturas de dicha ecuación corresponden a la caja 1.

$$\begin{aligned} \text{Puntos de Disturbio} = & 54.9 \text{ CABR} + 110.4 \text{ GANA} + 70.3 \text{ RAMO} + 182.2 \text{ CLAN} + 8.5 \text{ UMP} + \\ & 2813.7 \text{ MACH} - 722.4 \text{ CAHU} + 575.4 \text{ CCHU} + 87.8 \text{ POBL} + 25.2 \text{ ADYA} + 128.9 \text{ USOS} + \\ & 152.7 \text{ EROS} + 15.9 \text{ ISLA} + 108.2 \text{ STOM} + 103.9 \end{aligned} \quad (1)$$

Tabla 6. Puntos de disturbio asignados a las poblaciones de *M. pectinifera* tras la primera etapa de medición de disturbio. Para el cálculo se empleó la ecuación (1).

LOCALIDAD	PUNTOS DE DISTURBIO
Frontera	57
Azumbilla	175
Zapotitián	187
Nopala	187
Texcala	247
Teteletitlán	283
El Riego	286
Teontepec	308
Coapan	365
Tecamachalco	404

Segunda etapa:

Los resultados del análisis señalaron que Calapa es la localidad más conservada, donde no se encontraron evidencias de actividades humanas, y El Gavilán es la más perturbada, tratándose de una zona donde prácticamente no queda ni suelo ni vegetación como resultado de la perturbación. Los coeficientes extraídos mediante el método se multiplicaron todos por una constante de modo tal que a Calapa se le asignara un valor de cero perturbación y a El Gavilán un valor de 100. La fórmula final es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Puntos de Disturbio} = & 3.41CABR - 1.37GANA + 27.62RAMO + 49.2000AN - 1.03COMP + \\ & 41.01 MACH + 0.12 CCHU - 24.17 POBL + 8.98 ADYA + 8.98 USOS - 0.49INC.E + \\ & 26.94 EROS + 17.97 ISLA + 26.97 STOM + 0.2 \end{aligned} \quad (2)$$

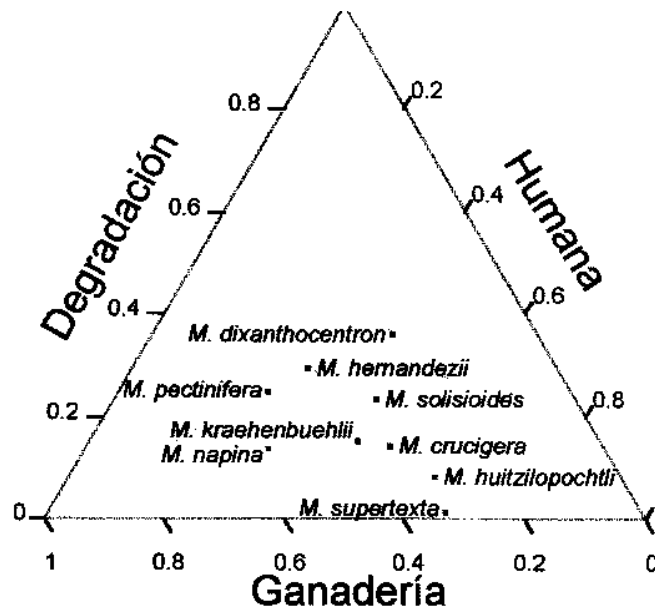
Esta fórmula es válida para todas las especies y ecosistemas del Valle de Tehuacán. La suma de los cinco primeros términos mide la perturbación por ganadería, los siguientes seis las actividades humanas y los últimos tres la degradación.

Efectos de/ disturbio en las mamilarias endémicas

Se encontró que todas las mamilarias estudiadas están sujetas a presiones desde moderadas (24 puntos en *M. supertexta*) hasta muy elevadas (59 puntos en *M. solisioides*). Las especies de La Cañada muestran en general las presiones más bajas, mientras que los máximos se registran en la Mixteca (Mapa 3). Los componentes de la perturbación varían entre especies y localidades. En la región de Tehuacán se observa un fuerte predominio de la ganadería. Aunque este factor es importante en todos lados, es menor en La Cañada, donde las actividades humanas resultan de relativa importancia. Hacia la Mixteca la degradación del hábitat alcanza sus máximos valores, con cantidades

equivalentes de perturbación humana y ganadería (figura 3). Estos datos deben considerarse como tendencias, pues varias especies como *M. díxanthocentron*, *M. hernandezii*, *M. kraehenbuehlii*, *M. pectinifera* y *M. solisioides* están sujetas a muy variadas combinaciones de factores (figura 4).

Figura 3. Aporte relativo de las diferentes formas de perturbación a la presión de cada especie. Puesto que la presión total es igual a la suma de las presiones de cada forma de perturbación, es posible expresarlas en forma de tres fracciones que sumadas dan la unidad.



Se encontró que para muchas especies el índice de estructura se incrementa con el disturbio. Esto significa que bajo condiciones de mayor perturbación las poblaciones están dominadas por plantas jóvenes. Esto nos muestra que no hay una reducción en el reclutamiento, o bien que hay mortalidad de adultos. Como la interpretación es equívoca y las alternativas tienen implicaciones muy distintas en términos de conservación, se optó por no utilizar las estructuras como indicadores del desempeño poblacional. Consecuentemente, tampoco estamos utilizando el parámetro "salud" que se había reportado anteriormente, pues depende de las estructuras poblacionales. De todas formas, para cada localidad se reporta el índice de estructura (tabla 4, hoja de cálculo "descripción de localidades.xls").

La regresión log-lineal nos muestra que las tres formas de perturbación tienen un efecto sobre la densidad poblacional. Se encontró que el efecto de la degradación es igual para todas las especies, mientras que diferentes taxa responden en forma distinta a la ganadería y las actividades humanas. Se encontró evidencia de que hay ruderalidad. Sin embargo, hay cierta inestabilidad en los resultados. Si se ajusta un término de interacción cuadrático para la ganadería, entonces no resulta significativo para las actividades humanas, y

viceversa. Esto implica que sí hay un efecto cuadrático, pero, como ambas variables están relacionadas, no se puede decidir cuál de ellas tiene Figura 4. Aporte relativo de las diferentes formas de perturbación a la perturbación total de cada localidad. Puesto que el disturbio total es igual a la suma de *cada forma* de perturbación, es posible expresarlo en forma de tres fracciones que sumadas dan la unidad.

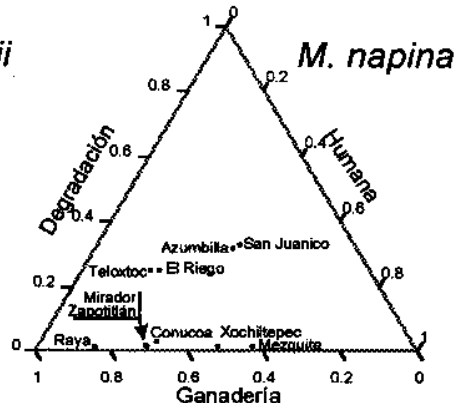
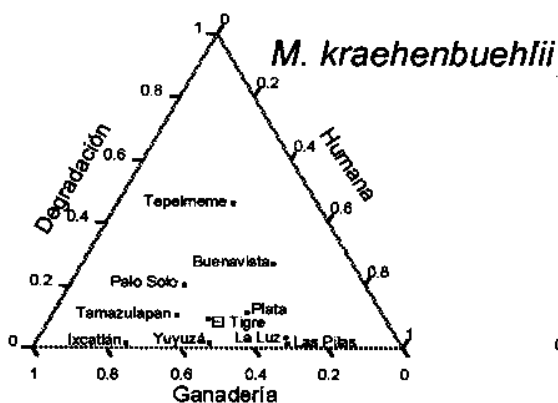
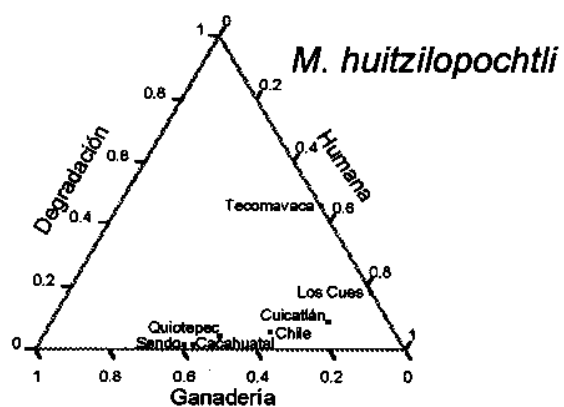
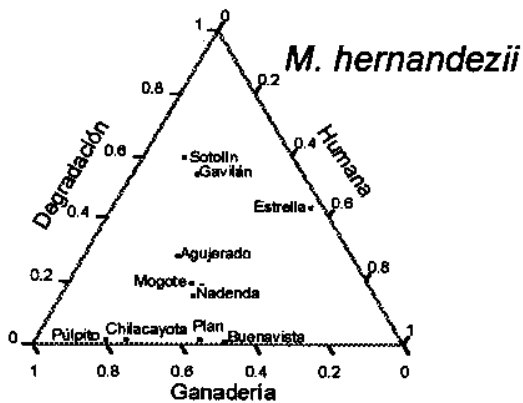
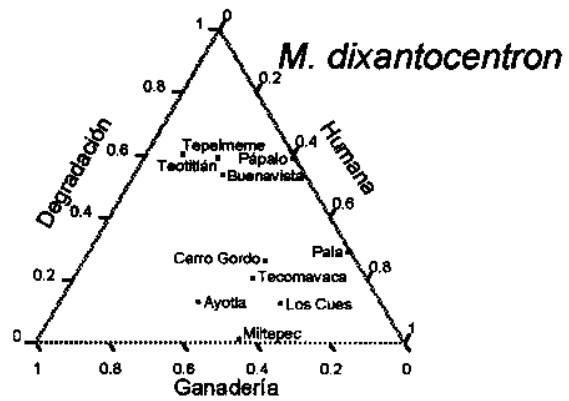
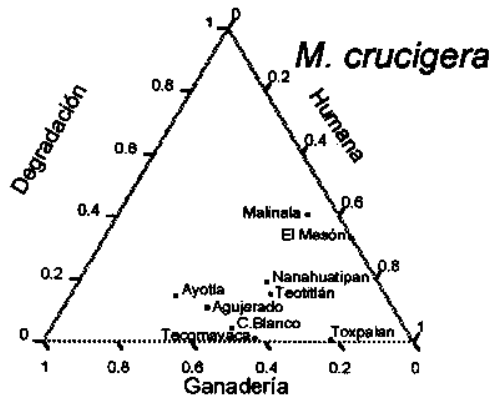
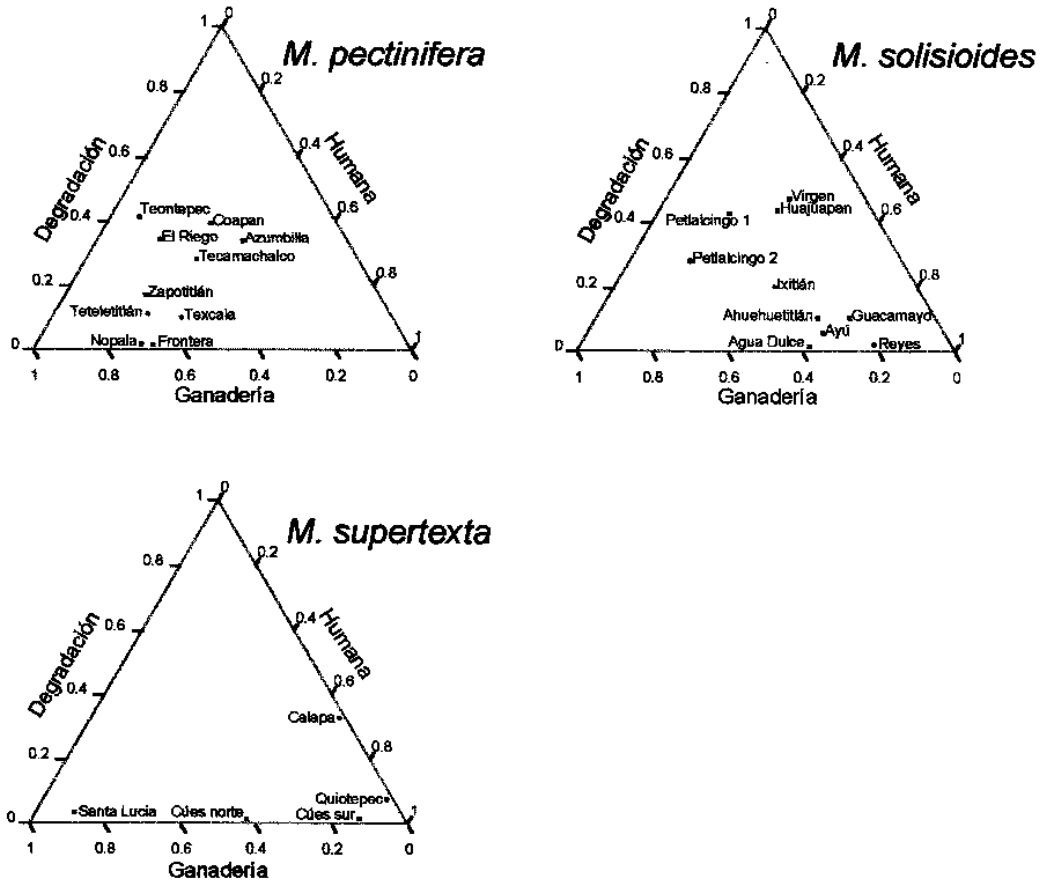


Figura 4 (Cont.). Aporte relativo de las diferentes formas de perturbación a la perturbación total de cada localidad.



efectivamente un comportamiento curvilíneo (Tabla 7). En el caso en el que se ajusta una interacción de especies con ganadería al cuadrado, se encontró evidencia de ruderalidad para *M. hernandezii*, *M. kraehenbuehlii*, *M. pectinifera*, *M. solisioides* y *M. dixanthocentron*. Si se ajustan términos cuadráticos para las actividades humanas, se encuentra que las especies *M. pectinifera*, *M. hernandezii*, y *M. kraehenbuehlii* siguen siendo ruderales, pero *M. solisioides* y *M. dixanthocentron* ya no lo son. *M. napina* resultó ser ruderal dentro de este modelo, aunque no lo fuera para ganadería. Para el caso de *M. hernandezii*, que resultó ruderal en ambos modelos, se encontró que la ruderalidad era muy cercana a cero o negativa, lo que indica que, aunque los términos cuadráticos para esta especie fueron significativos, la especie no es ruderal.

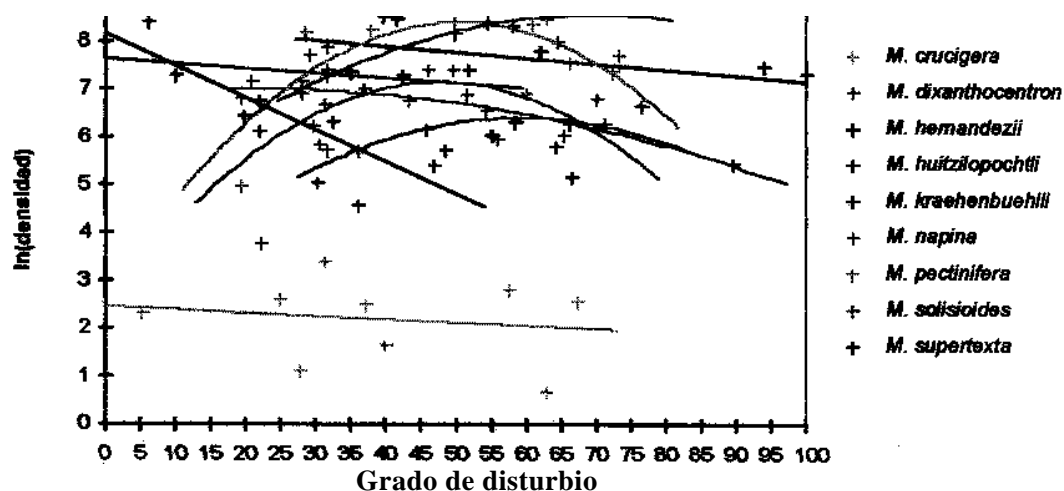
De las nueve especies estudiadas, *M. kraehenbuehlii* y *M. dixanthocentron* son más susceptibles a la degradación que a otros factores, *M. supertexta* está amenazada por las actividades humanas, mientras que la ganadería es el que amenaza a más especies, con ***M. napina***, ***M. pectinifera***, ***M. hernandezii*** y

Tabla 8. Resumen *del efecto* del disturbio sobre las nueve especies estudiadas.

Especie	Presión	Ruderalidad	Susceptibilidad	Amenaza
<i>M. crucigera</i>	39.3	0.0	5.33%	Actividad Humana
<i>M. dixanthocentron</i>	42.5	22.7	13.52%	Degradación
<i>M. hernandezii</i>	58.5	0.0	13.29%	Ganadería
<i>M. huiztilopochtli</i>	27.7	0.0	5.61%	Ganadería
<i>M. kraehenbuehli</i>	52.9	60.2	-2.07%	Degradación
<i>M. napina</i>	41.6	47.6	-1.51%	Ganadería
<i>M. pectinifera</i>	50.1	49.7	21.44%	Ganadería
<i>M. solisioides</i>	59.2	68.6	-4.12%	Degradación y ganadería
<i>M. supertexta</i>	24.0	0.0	26.02%	Actividad Humana

Figura 5. Efecto del disturbio sobre la densidad de nueve especies de mamíferias. Las líneas rectas corresponden a especies susceptibles a cualquier intensidad de perturbación. Las curvas se refieren a especies ruderales

OF



Para tres especies la susceptibilidad es negativa. Esto significa que, de incrementarse la perturbación su densidad será mayor. Se trata de especies ruderales. Las especies no ruderales, con excepción de *M. hernandezii*, en general se presentan en sitios más conservados.

Nodricismo

En todas las especies se encontraron variaciones poblacionales en el nivel de asociación de las plantas con microhábitats en el medio (Gheterogeneidad > SO en todos los casos, $p < 0,0001$). Aún así, para todas las especies se encontraron

M. huitzilopochtli. *M. solisioides* resultó ser igualmente susceptible tanto a ganadería como a degradación, con un impacto menor de las actividades humanas (tabla 8).

Tabla 7. Efecto de distintas formas de disturbio sobre la densidad de mamilarias. Los resultados para los términos cuadráticos son inestables, por lo que sólo uno de los términos marcados con § son significativos, dependiendo del orden en que se determine su significancia. \$ Sólo es significativo si no se ajusta primero el término Especie x ganadería². t Sólo es significativo si no se ajusta primero el término Especie x humana².

Fuente	z	g.l.	p
Especie	X	8	<0.0001
	197.60		
Degradación	7.03	1	0.0080
Ganadería	0.13	1	n.s.
Humanas	0.15	1	n.s.
Especie x ganadería	44.98	8	<0.0001
Especie x humanas	31.20	8	0.0001
Ganadería ²	3.864	1	0.0495*
Especie x ganadería ²	30.11	8	0.0002§
Humanas ^e	4.57	1	0.0325t
Especie x humanas ^e	29.09	8	0.0003§
Residuo	46.28	44	R ² =0.88
Total	385.95	80	

Las regresiones indican que cinco de las especies estudiadas pueden ser ruderales. Sin embargo, aunque las regresiones predicen con cierta exactitud (R²=0.88) los valores actuales de densidad, las extrapolaciones efectuadas para un incremento de 20% en el disturbio producen algunos resultados que parecen poco realistas. En consecuencia las estimaciones de susceptibilidad no son confiables. Además, debido a la inestabilidad de los términos cuadráticos, los dos modelos dan estimaciones bastante diferentes para la ruderalidad y tolerancia de dichas especies. Debido a estos problemas, se ajustaron curvas individualmente para cada especie utilizando sólo el disturbio total como variable independiente. La consecuente pérdida de poder estadístico en estas regresiones no las hace adecuadas para pruebas de hipótesis, por lo que se ajustaron términos cuadráticos para las cinco especies que resultaron ruderales en los análisis previos sin tomar en cuenta la significancia de los mismos (figura 5). Con las nuevas curvas las extrapolaciones parecieron más adecuadas a la realidad, por lo que se les empleó en el cálculo de la susceptibilidad y ruderalidad. Para estimar la amenaza, necesariamente se utilizaron las regresiones originales, donde se desglosan los tres tipos de disturbio (Tabla 8).

patrones generales para todas las mamilarias. El fenómeno del nodricismo clásico *resultó muy raro* en el grupo. *Sólo M. kraehenbuehlii resultó requerir de nodrizas*, aunque aparentemente estas puedan ser bióticas o abióticas indistintamente. Por el contrario, cinco de las nueve especies estudiadas se encuentran preferentemente a cielo abierto, no bajo otras plantas. La asociación con piedras es mucho más común, encontrándose tres especies que muestran este fenómeno (Tabla 9)

Tabla 9 Evaluación de la asociación de las mamilarias con diferentes microhábitats.

Se muestran los valores de la prueba G y las significancias observadas. El primer valor de G se obtuvo bajo la hipótesis nula de que las plantas se distribuyen al azar en un paisaje donde hay nodrizas bióticas, rocas y sitios sin ninguna de las anteriores. Las siguientes pruebas muestran el grado de asociación con nodrizas bióticas y con piedras. Un signo de + representa una asociación positiva, y un signo de - asociación negativa, El valor 0 significa que no hay asociación.

Especie	Distribución al azar			Asociación con				
	G	p	Arbustos	G	p	Piedras	G	p
<i>M. dixanthocentron</i>	114.52	<0.0001	0	0.94	0.3318	+	92.22	<0.0001
<i>M. hernandezii</i>	461.46	<0.0001		83.80	<0.0001		367.79	<0.0001
<i>M. huitzilopochtli</i>	192.40	<0.0001		52.20	<0.0001		102.79	<0.0001
<i>M. kraehenbuehfü</i>	336.49	<0.0001		20.70	<0.0001	+	147.73	<0.0001
<i>M. napina</i>	36.91	<0.0001		24.18	<0.0001	0	3.17	0.0749
<i>M. pectinifera</i>	12.70	0.0018	0	0.07	0.7919	+	10.85	0.0010
<i>M. solisoides</i>	265.91	<0.0001		202.22	<0.0001		35.30	<0.0001
<i>M. supertexta</i>	172.86	<0.0001		109.56	X0.0001	0	8.9s	0.0027

Discusión

Exploración

En el presente por lo general es poco atendida la necesidad de explorar. A menudo, al platicar con los especialistas, pareciera que se tiene la idea de que ya conocemos muy bien la distribución de las cactáceas, y que solo falta ir a las fuentes bibliográficas, a los herbarios, o bien obtener fotografías aéreas o de satélite. Sin embargo la exploración no debería quedar en la historia. Los resultados obtenidos en el presente trabajo lo atestiguan fehacientemente. Por otro lado, información sobre la distribución de las especies de esta familia, si existe, se encuentra celosamente guardada. Lo anterior se debe a experiencias de saqueo que llevaron a la extinción a varias poblaciones y se dice que también a algunas especies. Es muy probable que varios de los sitios descubiertos por nosotros ya sean conocidos por *algún estudioso* del grupo. La duplicación de

esfuerzos no será abatida hasta que se garantice el buen uso de la información sobre la distribución de estas especies. De ahí que reiteramos a CONABIO nuestra preocupación de limitar el acceso a estos datos, pero creemos que se debe implementar alguna política que permita el acceso irrestricto a los mismos por parte de personas que hagan un uso adecuado de ella.

Es importante mencionar que debido a su talla, las mamilarias requieren de una exploración minuciosa. En ocasiones hay que estar prácticamente pisando a algunas para notar su presencia. Aunque la escala de estas plantas representa una dificultad, seis de las nueve especies estudiadas tienen una asociación fuerte con el sustrato donde habitan, lo que facilitó su exploración; a *M. hernandezii* la encontramos en zonas planas de tobas volcánicas de la pequeña región de la Mixteca Alta donde habitan, a *M. huitzilopochtli* en conglomerados rojizos con pendientes pronunciadas, a *M. kraehenbuehlii* en afloramientos de caliza, a *M. pectinifera* y *M. napina* en suelos tipo rendzina y *M. crucigera* en las paredes de afloramientos sedimentarios muy característicos de la región donde vive esta especie. Por otro lado, siguiendo la metodología propuesta para la exploración no se puede negar el "efecto tentacular" que producen las vías de acceso a la región. Si bien un número importante de sitios están retirados de los caminos, muchos sitios se encontraron cerca de éstos. Aunque el efecto de los caminos parece muy intenso en la Cañada (Mapa 1), en realidad la disposición de las localidades a lo largo de una línea es el resultado de la disposición de los sustratos adecuados para las plantas. Hay que hacer notar que varias localidades que descubrimos se encuentran lejos de los caminos, confirmando el sesgo que existía en los datos debido a las vías de comunicación.

Es relevante mencionar que las áreas de los mapas que aparecen sin presencia de especies (mapa 1 y 2), requieran de mayor exploración. En esas zonas es posible la existencia de algunas de las especies que presentaron distribuciones más amplias y que no están asociadas a un sustrato en particular como es el caso de *M. dixanthocentron*.

Los trabajos de exploración también pueden poner en relieve la complejidad taxonómica. Este es el caso de *M. crucigera*, *M. dixanthocentron*, *M. huitzilopochtli* y *M. supertexta*. Estas cuatro especies pertenecientes a la serie *Supertextae* están muy emparentadas y en ocasiones no se puede distinguir entre ellas ya que hay poblaciones donde las características diagnósticas están mezcladas. Lo anterior apunta hacia posibles procesos de hibridación o bien de especiación, o bien que el concepto de especie no es el más adecuado para tratar a estos taxa. El extremo de esta situación es *M. supertexta*, un grupo que tal vez no se pueda manejar como una especie. La exploración para este "taxón" fue la que más dificultades presentó, pues en realidad son muy contados los casos en los que los ejemplares reúnen todas las características para considerarse *M. supertexta*. Esto debe tomarse en cuenta al momento de plantear alguna posición en las listas rojas para esta especie.

Descripción de las localidades

La mayoría de los trabajos que existen sobre el grupo en estudio no han generado la información básica como plataforma para realizar estudios en el área de conservación de estas especies. La información disponible es muy pobre. De ahí que se requirió, para lograr los objetivos de este proyecto, prácticamente comenzar desde cero. Se comenzó por definir la distribución de las especies, en segundo lugar se describieron los aspectos más básicos de dichas plantas y por último se pudo evaluar el estado de conservación de las especies y sus hábitats.

La descripción de localidades nos provee de información básica para conocer los rangos de distribución, los requerimientos ecológicos y biológicos de cada especie. También nos ofrecen datos útiles para evaluar el grado de amenaza de las especies (IUCN 1994) y posibles estrategias de conservación. Por otro lado nos ofrece datos para tener una aproximación de las condiciones demográficas generales de las especies. La fuerte asociación de las especies estudiadas con el substrato sugiere que es importante estudiar formalmente la geología y edafología donde habitan estas plantas. En el presente estudio estos aspectos fueron abordados revisando cartas geológicas y edafológicas, pero resultaron deficientes ya que no reflejaban lo que se observaba en el campo.

La descripción de especies que viven en hábitats contrastantes como es el caso de las mamilarias redundante en complicaciones metodológicas para obtener la información. En particular fue complicado obtener los datos para aquellas especies que viven en paredes o pendientes muy pronunciadas, teniendo como herramienta equipo de alpinismo y técnicas de ascenso y descenso de pendientes.

La información generada en este apartado del proyecto pensamos pueda ser muy útil como base de futuros trabajos más específicos que requieran un respaldo de las condiciones generales de las especies en estudio.

Ahora bien, revisando los resultados de este apartado y en relación a las variables descritas para las localidades (Tablas 4 y 5) podemos observar que las áreas de las poblaciones son muy distintas en tamaño, hay poblaciones que tienen tamaños que van de unos cuantos cientos de metros cuadrados a menos de dos hectáreas, esto ocurre en varias poblaciones de *M. napina* (9), *M. solisiodes* (6), *M. kraehenbuehlii* (5) y *M. hernandezii*. Este atributo analizado de esta forma no es considerado en los criterios de las "listas rojas", la IUCN considera la suma de las áreas de todas las poblaciones, sin prestar atención de cómo esta área está repartida. Es ampliamente aceptado que las poblaciones con áreas muy pequeñas están potencialmente más amenazadas que aquellas con superficies más grandes. Este aumento en la amenaza puede deberse a eventos de cambio de uso del suelo como podría ser la apertura de un campo para cultivo o bien a una catástrofe natural que podrían acabar por completo con la población, situación que difícilmente ocurriría con una población de cientos de hectáreas.

En relación a la altitud (Tablas 4 y 5) mostramos en los resultados que existen dos grupos de plantas- aquellas de altitudes elevadas que llamamos mamilarias de altura y aquellas de altitudes bajas que nombramos como

mamilarias de tierra caliente. También mostramos la relación significativa que existe entre altitud y pendiente donde conforme va aumentando la altitud va disminuyendo la pendiente donde habitan las plantas estudiadas, en el presente estamos estudiando esta relación para entender sus causas y consecuencias ecológicas.

El tipo de vegetación donde habitan estas plantas (Tablas 4 y 5) como se ve es muy variado, si esto lo unimos a los distintos climas se puede observar que las mamilarias son un grupo dentro de las cactáceas que ha diversificado y se ha adaptado a un gran número de ambientes que van más allá del característico de la familia.

Para los parámetros demográficos (Tablas 4 y 5) podemos observar que para el tamaño poblacional hay poblaciones de dos especies que tienen menos de cien individuos: *M. kraehenbuehlii* (2) y *M. napina* (3), estos casos son importantes considerarlos en términos de conservación, manejo y otros aspectos de importancia biológica como la posible depresión endogámica. Por otro lado existen poblaciones por el orden de los cientos de miles que se podrían recomendar para extraer germoplasma para estudios que lo requirieran o bien para su explotación comercial mediante su propagación en viveros a partir de la extracción de unas decenas de individuos como plantas madre o un número modesto de frutos que seguramente no afectaría a estas poblaciones tan numerosas. Para la densidad también hay todo un gradiente teniendo poblaciones que tienen menos de 50 individuos por hectárea hasta aquella que tiene poco más de 20000. Dado que *M. crucigera* no es comparable ya que su densidad se expresa como número de plantas por metro lineal de acantilado entonces *M. kraehenbuehlii* resultó ser la especie que en promedio presenta menor densidad de individuos por hectárea, en el otro lado se encuentra *M. solisiodes* que en promedio presenta más de 6100 individuos por hectárea.

El índice de estructura de tamaños resultó muy variado de manera interespecífica e intraespecífica, la especie que en promedio y de manera relativa mostró menor reclutamiento fue *M. napina* en el otro extremo esta *M. dixanthocentron*, en esta comparación no incluimos a las plantas que ramifican (*M. crucigera* y *M. kraehenbuehlii*) ya que los valores del índice no son comparables al menos de manera directa. Por último, también en relación a la estructura de tamaños, sería útil comentar que nos llamó la atención que mientras el disturbio aumenta el número de plantas pequeñas aumenta este proceso debe estudiarse con detenimiento ya que puede significar al menos dos cosas: que el disturbio está favoreciendo el reclutamiento o está provocando una mortalidad en los adultos. El primer caso sería una evidencia que apoyaría la ruderalidad para aquellas plantas ruderales, en el segundo caso, habría un problema serio ya que al tener una mortalidad diferencial de adultos esto provocaría un descenso en el número de individuos reproductivos y a la larga, de seguir la tendencia, una desaparición de la población.

Medición de disturbio

A menudo, el biólogo de campo puede detectar diferencias en el grado de perturbación entre dos zonas. Sin embargo, lograr una buena apreciación depende en gran medida de la experiencia y la observación crítica de una gran cantidad de sitios. Además, diferentes personas pueden mostrar diferentes opiniones. El método que se ensayó en este proyecto resultó adecuado para la cuantificación del disturbio. Utilizando la ecuación (2) se puede obtener un valor para la perturbación, y, al menos en una escala ordinal, coincide en gran medida con lo que un biólogo percibe en el campo. Las especies que mostraron una mayor divergencia con la ordenación *a priori* fueron aquellas que crecen en sitios muy distintos entre sí, tales como *M. dixanthocentron*, que abarca el gradiente altitudinal más amplio, desde selvas bajas hasta bosques de pino, o *M. kraehenbuehlii* que crece en zonas planas, acantilados, y en distintos tipos de vegetación, como bosques de enebro, de encino y chaparrales. Esta variación pudo resultar en una mala estandarización de los datos. Esto se hizo restando a cada variable la media para cada especie, suponiendo que ello implicaba cierta homogeneidad en las condiciones ambientales. Por otro lado, en estas especies resultó muy difícil establecer una ordenación *a priori* por las mismas razones, lo que pudo resultar en errores que redujeron la concordancia.

La cuantificación del disturbio es una herramienta que puede tener varias aplicaciones. Aquí se empleó en estudios poblacionales, pero puede aplicarse a nivel comunitario para evaluar cómo se modifica la diversidad, la composición de especies o la estructura de una comunidad bajo diferentes formas e intensidades de perturbación. Igualmente puede tener aplicaciones dentro de la ecofisiología.

Actualmente una porción enorme del país se encuentra sujeta a diferentes niveles de perturbación. Una parte muy importante de la biodiversidad se encuentra en dichas condiciones. Un ejemplo de ello son las mamilarias de Tehuacán. Entre los esquemas tradicionales para conservar esta biodiversidad está el retirar todas las fuentes de perturbación relacionada con el hombre. En México, ya se ha discutido (Toledo 1988), este esquema no siempre es adecuado, y en muchos casos, es imposible de aplicar. Tomando en cuenta estas consideraciones, es fundamental comprender cabalmente cómo es que la perturbación antropogénica afecta a la biodiversidad a todos sus niveles. El método que estamos planteando es una propuesta para abordar este estudio.

De las trece variables empleadas, GANA, COMP, e INCE tienen coeficientes negativos. Esto es, dichas variables son indicadores de conservación más que de perturbación. Si bien esto parece contrario a lo intuitivo, las observaciones en el campo nos proporcionan una explicación. En los sitios más perturbados hay poca vegetación, por lo que el ganado se puede mover sin obstáculos, convirtiendo a toda la zona en un gran camino ganadero. Por el contrario, en sitios conservados, el tránsito se efectúa a través de unos pocos caminos, concentrando el pisoteo en una superficie reducida e incrementando la compactación. En todo el valle de Tehuacán se encuentra ganado, con muy escasas excepciones. En los sitios más perturbados el ganado bovino no resulta rentable, pues el ecosistema ya no proporciona recursos suficientes, y sólo las

cabras son capaces de prosperar en ellos. De ahí que GANA esté relacionado con sitios preservados. El componente incendio no está tan claro, pero es posible que los incendios de zonas cercanas a los pueblos, y por lo tanto más perturbadas, sean apagados pronto. Las zonas alejadas reciben atención tardíamente, como ocurrió en el incendio de San Bartolo Teontepec en 1998.

Nodricismo

Para sólo una especie se encontró evidencia de nodricismo por arbustos. Este resultado pone en tela de juicio la generalización poco crítica que se ha hecho del fenómeno del nodricismo clásico a todas las cactáceas. Este concepto se generó en los desiertos más cálidos del norte del país, así como en las zonas más cálidas y secas de algunos desiertos sureños. Valiente y Ezcurra (1991) demuestran que en gran medida el efecto nodriza se debe a la reducción de la temperatura bajo los arbustos. En zonas más frescas y húmedas, tales como las montañas alrededor de Tehuacán y la Mixteca Alta, los arbustos pueden representar más un inconveniente para las cactáceas. La sombra reduce la cantidad de luz disponible, ya de por sí reducida para las plantas suculentas (Nobel 1988), sin aportar grandes beneficios.

Por otro lado, cuatro de las especies estudiadas (*M. hernandezii*, *M. napina*, *M. pectinifera* y *M. solisoides*) tienen un hábito hemigeofítico. Todas estas especies crecen preferentemente en sitios soleados, y si llegan a crecer bajo la sombra entonces sus tallos no se entierran. Esto es evidencia de que el hábito hemigeofítico, al reducir sustancialmente la superficie fotosintética, puede ser un impedimento para el nodricismo.

Vivir junto a una roca permite utilizar toda el agua que cae sobre ella y escurre al suelo, a la vez que reduce las temperaturas del mismo (Nobel 1992). En este sentido, las rocas funcionan en forma parecida a los arbustos, y pueden servir por lo tanto como nodrizas. Poca atención se ha prestado a este fenómeno. Las rocas pueden ser los sitios idóneos para crecer en un ambiente perturbado, donde la radiación y las temperaturas se incrementan y la humedad se reduce (Barradas 1988), y no hay buenos arbustos bajo los que cobijarse. La perturbación puede ser, por lo tanto, un promotor de la asociación con rocas. Sin embargo, creemos que la causa de esta asociación puede ser más bien evolutiva. Muchas de las plantas que estudiamos crecen en ambientes más húmedos que los desiertos, y que las cactáceas encontraron un lugar libre de competencia en ellos sobre las rocas, donde hay aridez edáfica. Lo mismo se ha propuesto para las cactáceas epífitas de las selvas tropicales. De hecho, *M. dixanthocentron* suele ser epífita en los bosques de encino. En **las** zonas templadas menos perturbadas, sólo encontramos a las mamilarias creciendo sobre rocas, o bien en los bordes pedregosos de los cortes de los ríos, donde otras plantas no se establecen.

Efecto del disturbio en las mamilarias endémicas

Nuestros datos confirman que la perturbación dentro del Valle de Tehuacán es bastante intensa, y que el factor de mayor importancia es la ganadería (figuras 3 y 4). Este factor está presente en forma importante *en toda la* región. Aún cuando varias especies resultaron ruderales para este factor, como lo muestran las regresiones (tabla 7), también es cierto que éste es el factor que más amenaza representa para muchas mamilarias (tabla 8). Dado que la variable GANA (excretas de ganado no caprino) tiene un coeficiente de signo negativo, y por lo tanto los sitios con ganado no caprino están más conservados, podemos afirmar que el sobrepastoreo de cabras representa una seria amenaza para la conservación de las mamilarias endémicas de Tehuacán, especialmente para aquellas que crecen en la porción norte del valle y en la Mixteca Alta. Es muy probable que estos resultados puedan aplicarse a otros taxa.

La degradación del medio ambiente afecta igualmente a la densidad de todas las especies (Tabla 7). Esto es el resultado de que la erosión severa (medida como EROS e ISLA), así como otras alteraciones que dejan el suelo inadecuado para el crecimiento de las plantas (STOM), dejan superficies yermas donde ninguna planta puede crecer, sea cual sea la especie. Si un porcentaje dado de la superficie sufre estas alteraciones, un porcentaje equivalente de las plantas que viven en la zona deberían morir, reduciéndose la densidad.

Los procesos de ganadería y actividades humanas no alteran necesariamente el medio ambiente en forma tan severa. De hecho, dichos procesos reducen la cobertura vegetal y pueden ser benéficos para las mamilarias que no presentan nodricismo abiótico o que están negativamente asociadas a la copa de los arbustos. También, al producir erosión (no necesariamente tan intensa como la medida mediante *EROS*) pueden dejar rocas al descubierto favoreciendo a las mamilarias. Todas las especies donde se estudió nodricismo se pueden ver beneficiadas por la erosión y/o la reducción de la cobertura vegetal. Aquí pueden estar las bases para la ruderalidad que se

detectó mediante el ajuste significativo de términos cuadráticos (Tabla 7). De hecho, ninguna planta no ruderal resultó estar asociada a rocas, mientras que el 60% de las ruderales lo está.

La ruderalidad es un fenómeno extendido en las especies estudiadas (56% de los taxa). Algunas especies se encuentran preferentemente en sitios muy severamente perturbados, ya sea por actividades humanas o naturales, tales como *M. kraehenbuehlii* y *M. solísioídes*. Al recorrer las localidades de estas plantas se vuelve evidente que sólo se encuentran en las partes más perturbadas del paisaje, y que tan pronto se entra en una zona donde el disturbio se reduce dejan de encontrarse mamilarias.

Muchas de estas especies se encuentran sujetas a presiones menores a su ruderalidad. De ahí que sea posible que, conforme se incremente la presión, estas especies incrementen sus tamaños poblacionales. Así lo confirman las susceptibilidades negativas (Tabla 8). Si bien esto nos muestra que estas especies están fuera de peligro en el mediano plazo, no debemos descuidarlas. De hecho, estas especies pueden convertirse en las más amenazadas. Un

ejemplo de ello es *M. pectinifera*, una especie ruderal que ya está a sujeta a una presión mayor a su ruderalidad, y que es la segunda especie más susceptible entre las estudiadas. Las razones para que las especies ruderales deban comportarse así son dos: En primer término, ya señalamos que el disturbio

antropogénico crece en forma exponencial. Los sitios donde crecen actualmente las plantas ruderales muestran una cantidad de disturbio apropiada para éstas, pero van a deteriorarse muy rápidamente en el futuro, dejando de ser adecuados. Esto ocurriría más lentamente en los sitios más conservados donde crecen las plantas no ruderales. *M. dixanthocentron* es, al igual que *M. pectinifera*, una ruderal que ya quedó rebasada por la presión. Sin embargo, al ser menos ruderal, es menos susceptible. De ser así, *M. solisioides*, que actualmente es la especie menos susceptible, puede volverse enormemente vulnerable una vez que su ruderalidad (la mayor de todas) sea rebasada por la presión. En segundo término, las tasas a las que la perturbación ocurre hoy son mucho mayores a las que habían en el pasado, y es probable que las cactáceas ruderales no sean capaces de colonizar nuevos sitios antes de que aquellos donde crecen hoy se vuelvan adversos. En este sentido, se cumple que la perturbación crónica que se vive en las zonas rurales del tercer mundo tenga efectos mucho más negativos que las perturbaciones de gran escala pero puntuales en el tiempo (Singh 1998).

De entre las plantas no ruderales, *M. crucigera* y *M. huitzilopochtli* muestran las menores susceptibilidades. Esto se puede deber a que son plantas que crecen en acantilados, donde la perturbación puede afectarlas poco. *M. supertexta* y *M. hernandezii* deben recibir atención inmediata por su elevada susceptibilidad. *M. pectinifera* se verá severamente afectada en el futuro de continuar el sobrepastoreo de cabras en las inmediaciones de la ciudad de Tehuacán.

Modificaciones a las listas rojas

El tipo de datos que tenemos se ajusta en gran medida a los criterios cuantitativos de la IUCN para clasificar especies según el grado de amenaza que experimentan. Sobre estas bases se pueden construir las equivalencias con la NOM. La clasificación de la IUCN se basa en el cumplimiento de conjuntos de condiciones. En la tabla 10 se reporta la clasificación de las nueve especies, junto con los criterios para llegar a dicha clasificación. Así B₁₂ quiere decir que se aplicó el criterio B pues se cumplieron los incisos 1 y 2 del mismo (IUCN 1994). Para las especies en las que se obtuvo una susceptibilidad positiva se consideró que hay una declinación continua en el número de individuos, excepto en *M. crucigera* y *M. huitzilopochtli*. En estas especies es previsible una reducción pequeña, y es probable que el hecho de vivir en acantilados les proporcione protección.

Tabla 10. Clasificación de las especies estudiadas de acuerdo con las categorías cuantitativas de la IUCN (1994). Las siglas son PC Peligro crítico, P peligro de extinción, V vulnerable y mr menor riesgo. Las siglas anotadas en cada columna indican que el valor anexo, tomado por

separado, corresponde a ese nivel de amenaza. La última columna corresponde a la clasificación definitiva basada en varios atributos. Los criterios utilizados se indican entre paréntesis. Estos son: A₂: Reducción poblacional proyectada. B12-Área de ocupación, número de localidades y declinación continua. D₂- Rareza geográfica.

Especie	Extensión de presencia	Área de Ocupación	Número de adultos	Número de poblaciones	Clasificación
<i>M. crucigera</i>	132P	8.36 PC	206,390	9 V	Vulnerable (D2)
<i>M. dixanthocentron</i>	>5.000 V	10.21 P	> 348,646	21 mr	Vulnerable (D2)
<i>M. hernandezii</i>	17 PC	0.40 PC	43,822 mr	11 mr	Vulnerable (D2)
<i>M. huitzilopochtli</i>	40 PC	110.58P	761,582	7 V	Vulnerable (D2)
<i>M. kraehenbuehlii</i>	716P	0.57 PC	58,123 mr	13 mr	Vulnerable (D2)
<i>M. napina</i>	438P	1.26 PC	87,530 mr	11 mr	Vulnerable (D2)
<i>M. pectinifera</i>	1439P	0.96 PC	198,738	19 mr	Vulnerable (A2)
<i>M. solisioides</i>	212P	0.18 PC	26,810 mr	14 mr	Vulnerable (D2)
<i>M. supertexta</i>	350P	4.51 PC	469,953	5 P	Peligro (B ₂)

Para las especies *M. pectinifera* y *M. supertexta* se detectó una elevada susceptibilidad. Esto significa que es previsible una importante reducción en el número de individuos. En tales casos es aplicable también el criterio A₂. La clasificación depende del tiempo generacional y de la tasa de perturbación. No contamos con datos sólidos para evaluar ninguno de ambos parámetros, pero pareciera que un incremento de 20% en la perturbación debe requerir unos 50 años o más, lo que equivaldría aproximadamente a 3 generaciones de mamilarias o más (Quijas 1999, Contreras 2000, Peters y Martorell slf). Bajo estas condiciones, ambas especies serían clasificadas como vulnerables (*M. supertexta* queda clasificada como en peligro con base a otros criterios).

El criterio que más influencia tiene sobre la clasificación de las especies es el área de ocupación, ya que ninguna especie rebasa los 100 km² que se consideran necesarios para considerar a las mamilarias como plantas totalmente fuera de peligro. De este modo todas las especies estudiadas deben ser consideradas especies vulnerables (IUCN 1994). Otro criterio relevante es el número de localidades, ya que *M. supertexta* se consideran en peligro debido a que se presenta en menos de 5 localidades. Ambos aspectos, área y número de localidades, dependen de la exploración y el conocimiento preciso de la distribución de las cactáceas. Al parecer el patrón que observamos, donde las poblaciones de cactáceas cuentan con muchos individuos, pero están restringidas a zonas pequeñas, puede ser relativamente común. Martínez y Jurado (1999) encuentran una situación semejante para *Astrophytum asterias* y *Ariocarpus agavoides*, ambas plantas consideradas altamente amenazadas. Para este tipo de especies pequeñas es fácil cometer errores importantes cuando se trata de describir la distribución geográfica.

Las categorías de clasificación de la Norma Oficial Mexicana no son totalmente concordantes con la IUCN. Sólo la NOM reconoce la categoría "Rara", mientras que "Vulnerable" sólo está presente en la IUCN. Recurriendo a las definiciones, encontramos que para la NOM "especie amenazada es equivalente

a especie vulnerable". Por otro lado, algunas de las especies se clasificaron como *vulnerables por el criterio D₂ de la IUCN, al tener un área de ocupación menor a 100 km². Este es un criterio corresponde a "Rara" en la NOM, pues "es biológicamente viable pero escasa de manera natural, pudiendo estar restringida a un área de distribución reducida o a hábitats muy específicos". Tales consideraciones resultan en la modificación del estado de tres especies respecto a su clasificación actual (Tabla 11)*

Tabla 11. Clasificación de las especies estudiadas en la Norma Oficial Mexicana. Bajo categoría actual se enlista el estado de cada especie tal como se publicó en 1994. La propuesta es la adecuación de los criterios e la IUCN a las categorías mexicanas.

Especie	Categoría actual	Propuesta
<i>M. crucigera</i>	R	R
<i>M. dixanthocentron</i>	R	R
<i>M. hernandezii</i>	R	R
<i>M. huitzifopochtli</i>	R	R
<i>M. kraehenbuehlli</i>	R	R
<i>M. napina</i>	A	R
<i>M. pectinifera</i>	A	A
<i>M. sorisioides</i>	A	R
<i>M. supertexta</i>		p

Es interesante notar cómo estos resultados fueron cambiando a lo largo del proyecto. Los datos actuales señalan que *M. solisioides* se trata de una especie cuyas poblaciones pueden crecer vigorosamente con la perturbación que experimentan hoy, e incluso en el futuro. En la versión anterior se le consideraba susceptible, y antes incluso se proyectaba su extinción, esto se debe seguramente a que las localidades conocidas previamente son algunas de las más deterioradas. El modelo que se ajustó con los datos completos aún prevé una reducción importante en esos sitios. Una exploración detenida cambia completamente el panorama, como lo muestra nuestro estudio. Esto es una evidencia adicional de que una exploración deficiente brinda una percepción sesgada.

La propuesta de la tabla 11 está basada en una serie de criterios que se procuró fuesen lo más universales posibles. Aún así, su aplicabilidad a los datos actuales merece una discusión cuidadosa. Las clasificaciones de *M. hernandezii* y *M. napina* no parecen correctas, y ambas quizá merezcan la categoría de amenazadas. *M. napina* se presenta en poblaciones excesivamente pequeñas (Tabla 4), y por lo tanto, aún cuando tiene 11 localidades, el número efectivo de éstas puede ser menor. Para *M. hernandezii* es preciso evaluar las tasas de erosión, aspecto que no se cubrió en este estudio. La erosión en la zona deja la roca madre descubierta, y rodea por completo a la mayoría de las poblaciones de esta especie.

Recomendaciones para la conservación

Las propuestas para la modificación de la NOM que presentamos, si bien de carácter provisional, concuerdan con las observaciones de las que partió este estudio. El grado de amenaza de las mamilarias de Tehuacán es inferior al que se pensaba inicialmente. Con la información que existía antes de este estudio, todas las especies, con una o dos excepciones, debieran clasificarse mediante los

criterios cuantitativos aquí empleados como especies al menos amenazadas, con algunas en peligro e incluso peligro crítico. El hecho de que muchas de estas especies resultaran ruderales introduce una nueva dimensión en su estudio, así como en cualquier plan

para su conservación. Una especie ruderal puede convivir con actividades humanas de gran impacto, Hasta el momento, puede decirse que el hombre ha favorecido al menos a tres de ellas.

Todo lo anterior nos puede mover a un optimismo excesivo. Ya señalamos que el comportamiento exponencial del disturbio puede poner repentinamente en un gran peligro a las especies ruderales. Otras especies que hoy están bajo un riesgo moderado, tales como las que crecen en acantilados, pudieran verse sumamente afectadas por procesos erosivos moderados provocaran la caída de las plantas que crecen en las paredes. En ambos casos existe la posibilidad de cambios súbitos en la categoría de amenaza en la que se encuentran las diferentes especies.

Hay en el Valle de Tehuacán dos especies de mamilarias endémicas más, que no pudieron estudiarse por motivos de tiempo y presupuesto. Se trata de *M. fepexicensis* y *M. varieaculeafa*. Actualmente se conocen sólo una y dos localidades, respectivamente, donde crecen dichas plantas, Se trata de las mamilarias más raras de la zona, aún para los estándares de lo que se sabía del grupo antes del presente estudio. Según los criterios de la IUCN, basados en el número de localidades conocidas, estas especies se encontrarían en peligro crítico y en peligro. Sin embargo, no existen estudios ni esfuerzos para conservarlas, mientras que todavía se está dedicando actualmente mucha atención en las especies que abordamos en este proyecto. La razón es probablemente una errónea clasificación en todas las listas rojas, que consignan a *de M. tepexicensis* y *M. varieaculeata* como especies "raras", o de plano ni las mencionan, mientras que plantas ruderales como *M. napina*, *M. solisoides* y *M. pectinifera* constan como cactáceas amenazadas. Es fundamental contar con listas rojas más realistas que nos ayuden a destinar esfuerzos a las especies que más lo requieran.

La magnitud del impacto del disturbio es enorme. Nuestros datos revelan que en las próximas décadas pueden morir por esta causa más de 400,000 individuos tan sólo en las localidades que estudiamos. El ganado caprino es uno de los factores de mayor impacto en este proceso. Mientras tanto, seguimos mirando hacia el exterior de nuestro país en busca de las amenazas a nuestras

cactáceas. Si deseamos conservar este recurso, así como otros de las zonas áridas, es preciso frenar la destrucción del hábitat. Hay que poner especial atención en la ganadería. Este es, por supuesto, sumamente complejo. Los ambientes áridos imponen grandes limitaciones a quienes las habitan, y no es fácil encontrar alternativas. Las cactáceas pueden constituir por si mismas una solución modesta al problema que enfrentan. Nuestros resultados demuestran que viven en poblaciones muy numerosas, y que es posible extraer pequeñas cantidades de germoplasma (semillas o algunas decenas de plantas madres) sin tener un impacto perceptible en el número poblacional. Con ellas es factible establecer viveros que ofrezcan alternativas a los habitantes de las zonas secas. El número de viveros debiera ser, en cualquier caso reducido. Puede parecer ilógico en primera instancia, pero una de las formas de conservar a nuestras cactáceas puede ser el retirar algunas de las prohibiciones en torno a su venta, permitiendo a grupos campesinos su explotación racional.

Al contemplar a la perturbación humana en toda su magnitud, desde los terrenos vírgenes hasta los cerros de roca madre, aprendemos a contemplar los procesos en escalas de tiempo muy grandes. Lo que ayer era una planta creciendo en parches perturbados hoy abarca ambientes más extensos y mañana puede estar extinta. Algunas plantas rupícolas crecen cada vez en sitios más inaccesibles, a los cuales las tendencias que observamos actualmente no pueden extrapolarse porque son cualitativamente distintos. Existen diferentes formas de disturbio antropogénico, con diferentes efectos en la flora. Todo esto constituye un panorama sumamente complejo y dinámico. De nuestra comprensión adecuada de la mecánica de la perturbación humana depende en gran medida el éxito que tengamos para conservar a diversidad biológica.

Otros resultados

Durante el presente proyecto se trabajó con 32 estudiantes de licenciatura, ya sea como arte de una materia que se impartió durante dos semestres en la facultad de ciencias -UNAM, o como servicios sociales. Estas personas recibieron información y capacitación sobre aspectos de biología de la conservación.

Como resultado del trabajo realizado en la Mixteca, actualmente estamos dando inicio a un proyecto para eliminar los factores de disturbio en ciertas localidades de mamilarias, así como de su explotación racional para beneficio de grupos campesinos.

Propiedad intelectual

En caso de citarse el presente trabajo, debe acreditarse a:

Peters, E. y Martorell, C. Instituto de Ecología, UNAM (Para las secciones de exploración y descripción de localidades)

Martorell, C. y Peters, E. Instituto de Ecología, UNAM
martorelc@iranda.ecología.unam.mx (Para todo lo referente a disturbio, susceptibilidad y
ruderalidad)

Referencias

- Arias, S., Gama, S. y Guzmán-Cruz, LU. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. 14: Cactaceae. Instituto de Biología, UNAM. México. 146pp.
- Contreras, C. 2000. Dinámica poblacional de *Mammillaria crucigera* (Cactaceae), una especie rara de la región de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. 93pp
- Freund JE y Walpole RE 1987. Mathematical statistics 4^a ed. Prentice Hall. EUA 608p
- Gaston, KJ. 1994. Rarity. Chapman & Hall. GB. 205pp
- Gauch, HG. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, EUA. 298p
- Greig-smith P. 1983. Quantitative plant ecology. 3^{ra} ed. University of California Press. EUA. 359 pp
- Hutchings M. J. 1996. The structure of plant populations En: Crawley J. (ed.) Plant Ecology Blackwell EUA p. 97-136.
- IUCN 1994 Categorías de las listas rolas de is IUCN. Documento en Internet. Gland, Suiza.
- Krebs, C.J. 1989. Ecological methodology. Harper & Row, Nueva York.
- Martínez Ávalos JG y Jurado Ybarra E. 1999. Estado actual de las poblaciones de Anocarpus agavoides y *Astrophytum asterias* en el noreste de México. Memorias del II congreso mexicano de cactáceas y otras plantas suculentas. Sociedad Mexicana de Cactología. Oaxaca.
- Nobel P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nobel P.S., Miller, P. y Graham E. 1992. Influence of rocks on soil temperature, soil water potential and rooting patterns for desert succulents. Oecologia 92:90-96
- Oldfield, S. 1997. Status survey and conservation action plan: Cactus and Succulent plants. IUCN, Gland, Suiza. 213pp.
- Peters, E. M, y C. Martorell s/f. Determinación de edades de *Mammillaria pectinifera*. Manuscrito no publicado.
- Quijas S. 1999. Análisis demográfico por edades de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae), en el Pedregal de San Angel, México, D.F.. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. 87pp
- Singh, S.P. 1998. Chronic disturbance: a principal cause of environmental degradation in developing countries. Environmental conservation. 25:1-2
- Sokal R.R. y Rohlf F.J. 1969. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. Freeman, Nueva York.
- Toledo, V.M. 1988. Diversidad biológica de México. Ciencia y desarrollo 14:17-30
- Valiente-Banuet, A. y Ezcurra, E. 1991. Shade as a cause of the association between the *cactus Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. Journal of ecology 79:961-972