



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

## ANÁLISIS BIOGEOGRÁFICO DE CACTÁCEAS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL Y SU REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

**HAMLET OMAR SANTA ANNA**

**DEL CONDE JUÁREZ**



**FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM**

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. RAÚL CONTRERAS MEDINA

**2007**



FACULTAD DE CIENCIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

División de Estudios Profesionales

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:  
"Análisis biogeográfico de cactáceas de la Sierra Madre Oriental y su  
representatividad en áreas de conservación"

realizado por Hamlet Omar Santa Anna del Conde Juárez

con número de cuenta 08929836-1 , quien cubrió los créditos de la licenciatura en  
Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor (a)  
Propietario M. en C. Raúl Contreras Medina

Propietario Dra. Mercedes Isolda Luna Vega

Propietario M. en C. Carlos Gómez Hinostrosa

Suplente Dr. Héctor Manuel Hernández Macías

Suplente Biol. Othón Alcántara Ayala

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Universitaria, D.F., a 11 de octubre del 2006  
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE BIOLOGIA

Dr. Zenón Cano Santana



*Si quieres ver el valle,  
sube a la cima del monte;  
si quieres ver la cima del monte,  
elévate hasta las nubes;  
pero si quieres abarcar las nubes,  
cierra los ojos y piensa.*

Jalil Gibrán

*He aquí una razón  
para saber si tu labor  
en la tierra ha terminado:  
Si estas vivo,  
no ha terminado.*

R. Bach

*Para Marcela Villafranco,  
por todo su amor y comprensión  
Te quiero, Marcee.*

*A mi madre, Amanda Juárez.  
“...para cumplir promesas.”*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer término a mi asesor de tesis, el M. en C. Raúl Contreras Medina por su profunda paciencia y confianza, por su compañerismo y convivencia a lo largo del desarrollo de este escrito y por su interés, conocimiento y profesionalismo en las salidas de campo. Mi más sincero agradecimiento.

A la Dra. Isolda Luna Vega por el apoyo y disposición brindados durante la estructuración de este trabajo, además de sus atinados consejos y correcciones del manuscrito. Gracias doctora.

Deseo agradecer a dos distinguidos profesionales que repercutieron profundamente en mi formación, el Biol. Othón Alcántara Ayala quien me ha enseñado el manejo de gran parte de los programas necesarios para la realización de este trabajo, por sus comentarios y lectura del material y por su amistad; a el M. en C. Alberto González Zamora por compartir sus conocimientos y profesionalismo, por su amistad incondicional y por hacer alegre y divertida toda la serie de vicisitudes que pasamos juntos. Gracias.

Al Dr. Héctor Manuel Hernández Macías y al M. en C. Carlos Gómez Hinostrosa por sus valiosas críticas, sugerencias y correcciones principalmente relacionadas con la familia Cactaceae.

Mis sinceros agradecimientos a todos los que formaron y forman parte del grupo de trabajo del Departamento de Biología Evolutiva de la Dra. Isolda Luna con quienes he compartido momentos agradables, amenos e interesantes: Carlos Ruíz, Jorge Escutia, Ana Quintos, Armando Ponce, Mauricio Mora, Dafne Saavedra, Rogelio Aguilar y todos aquellos relacionados de alguna manera con este recinto.

Agradecimiento especial a mi esposa y compañera Marcela Villafranco por estar siempre junto a mí durante los momentos más difíciles de mi vida, por el amor, afecto, comprensión y apoyo que me ha dado a cada momento. Te amo.

Agradezco a mi hermana Jeaninne Santa Anna del Conde por la ayuda técnica suministrada durante el desarrollo de este trabajo.

A mi madre por alentarme y darme seguridad a cada momento.

A mi padre por sus oraciones.

De igual forma agradezco a los proyectos CONACYT-SEMARNAT 2004-C01-311 y PAPIIT IN206202 de DGAPA, UNAM por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

## RESUMEN

Se analizó la distribución de especies de la familia Cactaceae que habitan preferentemente en la provincia Sierra Madre Oriental (SMO). Se emplearon dos tamaños de gradilla ( $0.5^\circ$  latitud x  $0.5^\circ$  longitud y  $1^\circ$  latitud x  $1^\circ$  longitud) como unidades de estudio, aplicando el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE) basado en cuadrículas e índices para detectar áreas de endemismo, se determinaron áreas caracterizadas por especies que les son propias, con la finalidad de proponer y delimitar áreas para la conservación de las especies amenazadas de esta familia. Además, se evaluó el porcentaje de representatividad de estos taxones en las Áreas Naturales Protegidas (ANP), Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) existentes en la SMO.

La obtención de la información se basó en 1936 ejemplares de herbario, en la información disponible en la Red Mundial de Información Biótica y en algunas colectas realizadas en el sur de la SMO. Para la obtención de los mapas de distribución se empleó el sistema de información geográfica ArcView Ver. 3.2a y los programas de computación Winclada y Nona para el desarrollo de los análisis de parsimonia y de los cladogramas.

El PAE empleando la gradilla de  $1^\circ$  x  $1^\circ$  en general ofrece mejores resultados que con la gradilla de  $0.5^\circ$  x  $0.5^\circ$ , obteniéndose ocho áreas de endemismo y definiendo tres grandes clados: norte, centro y sur de la provincia. Las áreas resultantes con los índices para detectar endemismo son muy semejantes a las obtenidas mediante el PAE, pero difieren en la agrupación de los cuadros. Con respecto a los sistemas de conservación, se obtuvo que el número de ANP que tienen al menos una especie es bajo, con respecto a los resultados obtenidos para las RTP y AICAS.

El análisis del PAE refleja patrones de endemismo que indican que el centro y sur de la SMO son las áreas donde se concentra la mayor cantidad de especies de distribución restringida. Los resultados obtenidos mediante los diferentes índices detectan más o menos las mismas áreas, sin embargo, debido a que el índice de endemismo ponderado corregido (EPC) no se relaciona con la riqueza de especies, se puede tomar como una medida confiable del endemismo. Se propone una regionalización de la SMO en tres subprovincias respaldadas por la presencia de taxones que les son propias y separadas entre sí por barreras naturales, las cuales pudieron haber favorecido eventos vicariantes. Los límites de las áreas de conservación ya propuestas deberían ser redefinidos para incluir hábitats donde se localizan las especies de distribución restringida de la familia Cactaceae.

## ABSTRACT

The distribution of the cacti species that inhabit in the Sierra Madre Oriental (SMO) was analyzed. Two sizes of grid-cells ( $0.5^{\circ}$  latitude x  $0.5^{\circ}$  longitude and  $1^{\circ}$  latitude x  $1^{\circ}$  longitude) were used, as study units applying the Parsimony Analysis of Endemicity (PAE) based on grid-cells and endemism indices. Areas characterized by their typical species were determined, in order to propose and to delimit areas for the conservation of threatened cacti species. Also, the percentage of representation of these taxa in the Protected Natural Areas (ANP), Terrestrial Priority Regions (RTP) and Important Areas for Bird Conservation (AICAS) located in the SMO was evaluated.

Distributional data were obtained from 1936 herbarium specimens, electronic information from the Red Mundial de Información Biótica (REMIB) and from some field collections in the southern portion of the SMO. The geographic information system ArcView was used for the construction of distribution maps; Winclada and Nona programs were used for the parsimony analysis and also for the construction of cladograms.

In general, grid-cells of  $1^{\circ}$  x  $1^{\circ}$  show best results than those of  $0.5^{\circ}$  x  $0.5^{\circ}$  in the PAE analysis; eight areas of endemism were obtained with the grid-cells of  $1^{\circ}$  x  $1^{\circ}$  and three main clades: northern, central and southern. The areas obtained from the endemism indices are very similar to those obtained in the PAE method, but differs in the association of grid-cells. In relation to the conservation systems, the ANP's that contain at least one species is low, with respect to the results obtained for the RTP's and AICAS's.

PAE method show endemism patterns, which indicate that the southern and central regions of the SMO province are the areas where more restricted species, are concentrated. Results obtained from the different endemism indices detect more or less the same areas, although the importance level is different among them. The corrected weighted endemism index can be considered as a reliable measure of endemism, due that this index is not related to the species richness. A regionalization of the SMO in three sub-provinces is proposed, supported by characteristic taxa and from natural barriers, which to favor vicariant events in some of the analyzed species. The limits of the current conservation areas must be redefined in order to include habitats where are located cacti species with restricted distributions.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>CONTENIDO</b>	ix
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO	1
LA PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL (SMO)	2
<b>Regionalización</b>	2
<b>Geología</b>	4
<b>Clima</b>	4
<b>Vegetación</b>	5
ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS (PAE)	5
ÍNDICES DE ENDEMISMO	6
<b>Endemismo de un límite máximo de distribución</b>	6
<b>Endemismo ponderado (EP)</b>	7
<b>Endemismo ponderado corregido (EPC)</b>	7
CONSERVACIÓN	7
<b>Áreas Naturales Protegidas (ANP)</b>	7
<b>Regiones Terrestres Prioritarias de México (RTP)</b>	9
<b>Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS)</b>	9
LA FAMILIA CACTACEAE	10
<b>HIPÓTESIS</b>	12
<b>OBJETIVOS</b>	12
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	13
<b>MÉTODO</b>	14
OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN	14
BASE DE DATOS	15
SIERRA MADRE ORIENTAL	15
ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS	18
ÍNDICES DE ENDEMISMO	21
REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN	22
<b>RESULTADOS</b>	26
DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES	26
ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS	45
<b>Cuadros de 0.5° x 0.5°</b>	45
<b>Cuadros de 1° x 1°</b>	49

ÍNDICES DE ENDEMISMO	53
<b>Cuadros de 0.5° x 0.5°</b>	53
<i>Riqueza de especies</i>	53
<i>Endemismo ponderado</i>	56
<i>Endemismo ponderado corregido</i>	59
<b>Cuadros de 1° x 1°</b>	63
<i>Riqueza de especies</i>	63
<i>Endemismo ponderado</i>	65
<i>Endemismo ponderado corregido</i>	67
REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN	70
<b>Áreas Naturales Protegidas</b>	70
<b>Regiones Terrestres Prioritarias</b>	70
<b>Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves</b>	71
<b>DISCUSIÓN</b>	75
DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	75
ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS	77
<b>Cuadros de 0.5° x 0.5°</b>	77
<b>Cuadros de 1° x 1°</b>	83
ÍNDICES DE ENDEMISMO	89
REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN	94
<b>Áreas Naturales Protegidas</b>	94
<b>Regiones Terrestres Prioritarias</b>	97
<b>Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves</b>	100
CONSIDERACIONES FINALES	101
<b>CONCLUSIONES</b>	105
<b>LITERATURA CITADA</b>	107
<b>APÉNDICE 1</b>	115
<b>APÉNDICE 2</b>	119
<b>APÉNDICE 3</b>	121
<b>APÉNDICE 4</b>	122

# INTRODUCCIÓN

## LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO

México ostenta el privilegio de poseer en su territorio un universo vegetal de excepcional diversidad y significación. Tan afortunada circunstancia se manifiesta en múltiples formas y niveles de organización, entre los que destacan la gran variedad de formas de vida y formas biológicas, particularmente en las zonas áridas, sólo comparable con Sudáfrica; además, también cuenta con un mosaico intrincado de elementos boreales y meridionales junto a elementos propios, que proporcionan una fisonomía característica del territorio mexicano (Rzedowski, 1991a).

La biodiversidad no se distribuye de manera homogénea en el planeta, sino que se concentra principalmente en las regiones tropicales y si se toma como indicador para comparar la biodiversidad biológica entre países, se encontraría que un grupo reducido de estos, tiene representado hasta el 70% de las especies conocidas en el planeta. A estos países se les ha denominado megadiversos y México se encuentra entre ellos junto con Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, República del Congo, Madagascar, Sudáfrica, China, India, Filipinas, Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea, Australia y Estados Unidos (Mittermeier y Goettsch de Mittermeier, 1997).

La alta diversidad biológica del país se debe, entre otras cosas, a su compleja topografía, variaciones altimétricas, su situación latitudinal con relación a los cinturones de vientos y los regímenes térmicos de las corrientes marinas. Esto hace que el país contenga prácticamente todos los grupos y subgrupos de climas existentes y que se presenten variaciones de climas secos a húmedos en distancias de pocos kilómetros (CONABIO, 1998).

México posee cerca del 10% de la biodiversidad mundial en cuanto a plantas vasculares y vertebrados se refiere, ocupando los primeros lugares en todas las listas de diversidad biológica. Ejemplo de esto es que nuestro país ocupa el primer lugar en reptiles, segundo en mamíferos y cuarto en anfibios y plantas vasculares (Mittermeier y Goettsch de Mittermeier, 1992).

México también se caracteriza por un alto índice de endemismos y gran parte de estos se encuentran en las zonas áridas y semiáridas, las cuales ocupan más de la mitad del territorio nacional y donde la vegetación ha estado bajo un profundo proceso evolutivo que ha dado como resultado una gran variedad de formas de vida especializada. En términos

de vinculación ecológica general, la abundancia de endemismos a nivel de familia y género es considerable y está notablemente correlacionada y concentrada en este hábitat (Rzedowski, 1991b).

La profusión del endemismo en la flora de México, asociada a su diversidad, son indicadores de que el territorio ha sido lugar de origen y desarrollo de un gran número de grupos de plantas. El fenómeno es particularmente espectacular en las zonas áridas y semiáridas, donde el endemismo no solo atañe a grupos taxonómicos de rango elevado, sino también a formas biológicas, siendo así el responsable de la singularidad de su flora. En este sentido, la familia Cactaceae presenta en el país su máxima diversidad, abundancia e importancia, contando 669 especies, de las cuales 518 son de distribución restringida a México (Guzmán *et al.*, 2003).

Al ser México un país megadiverso, se debería garantizar la permanencia de las especies existentes en su territorio. Los recursos naturales son patrimonio de la nación que los posee y, por ello, los mexicanos debemos ser los primeros interesados en su protección; no es viable ni deseable el crecimiento económico que se basa en la depredación de los recursos naturales, por lo que es necesario conciliar desarrollo y medio ambiente (Sarukhán y Dirzo, 1992). Es necesario contribuir a la conservación del medio ambiente, realizando investigaciones que den la pauta para desarrollar e implementar programas y proyectos que puedan ser incluidos en la creación de áreas protegidas que cumplan con lo necesario para operar legalmente teniendo además, programas de manejo adecuados para las necesidades de cada región.

## **LA PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL (SMO)**

### **Regionalización**

Desde hace casi dos siglos, los criterios que se han empleado para regionalizar al país, han sido diversos y numerosos, además de que se han aplicado diferentes métodos para cada propuesta. En general, los temas considerados para la regionalización del país pueden dividirse en dos grupos: los bióticos, que toman en cuenta los patrones de distribución de diferentes organismos y los abióticos, que se basan en factores geológicos, rasgos tectónicos, relieve, características topográficas, clima y suelo (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004).

La Sierra Madre Oriental (SMO) es una región que se ubica hacia el noreste de México y puede abarcar porciones de diversos estados de la república tales como Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Veracruz, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. Esta provincia colinda hacia el este con la Planicie Costera del Golfo de México, al sur con la Faja Volcánica Transmexicana, al oeste con el Altiplano Mexicano y hacia el norte los límites llegan al sur o hasta el norte del estado de Coahuila y a la parte oeste del estado de Nuevo León.

Algunos de los sistemas más representativos que reflejan el esfuerzo por delimitar a México son: provincias bióticas, propuesto por Ferrusquía-Villafranca (1990). Este autor toma en cuenta para la delimitación principalmente rasgos fisiográficos y geológico-tectónicos; provincias fisiográficas, realizado por Cervantes-Zamora *et al.* (1990) quienes se basaron en criterios climáticos y formas del relieve; divisiones florísticas, este sistema propuesto por Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990) se basa en afinidades geográficas de la flora del país y en las áreas de distribución general de las plantas vasculares; provincias herpetofaunísticas, propuesto por Casas-Andreu y Reyna-Trujillo (1990). Ellos dividen al país en provincias basándose en la presencia de reptiles y anfibios; provincias mastofaunísticas, realizado por Ramírez-Pulido y Castro-Campillo (1990). Estos autores utilizaron como unidades de estudio 121 cuadrantes de escala 1:250 000, donde se registraron la presencia o ausencia de cada una de las 449 especies de mamíferos conocidas desde 1758 hasta 1988; ecorregiones de México, realizado por CONABIO (1999) donde participaron los investigadores Casas-Andreu, Escalante, Ferrusquía-Villafranca, Pozo, Ramírez-Pulido y Rzedowski donde la delimitación se basó en caracteres topográficos y en tipos de vegetación predominantes obteniéndose 47 ecorregiones para el país; provincias biogeográficas, realizado por CONABIO (1997) en el cual participaron investigadores de instituciones nacionales y extranjeras, con el propósito de llevar a cabo un sistema estándar de regiones naturales de México basándose en cuatro sistemas previos de regionalización: plantas vasculares (Rzedowski, 1978), anfibios y reptiles (Casas-Andreu y Reyna Trujillo, 1990), mamíferos (Ramírez-Pulido y Castro-Campillo, 1990) y rasgos morfotectónicos (Ferrusquía-Villafranca, 1990).

En cada uno de estos sistemas de regionalización el número y límites de las diferentes provincias en que dividen al país son variables, de manera que el porcentaje que puede ocupar la SMO varía desde menos del 0.5% hasta cerca del 4% del territorio nacional (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004). Cabe resaltar que en las provincias fisiográficas (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990) se obtienen regiones diferentes a los demás sistemas, de modo que

de las 87 provincias resultantes para México algunas corresponden a la SMO y el número de éstas, equivalentes a la provincia, dependerá de los diferentes criterios que emplee cada autor para la delimitación (ver Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004).

## **Geología**

Con relación a la evolución tectónica la SMO se considera, durante el Fanerozoico, como una plataforma, que sólo fue afectada por cantidades menores de vulcanismo cenozoico. En esta provincia principalmente afloran las rocas del cinturón de pliegues y cabalgaduras laramídico que fueron deformadas durante el Cretácico Tardío y Terciario Temprano.

La SMO abarca parte de tres terrenos tectono-estratigráficos de los 16 caracterizados para México y norte de América Central por el Instituto de Geología de la UNAM y se localiza en gran parte de los terrenos Coahuiltecano y Guachichil, mientras que sólo una pequeña parte de esta, se presenta en el terreno Tepehuano (Ortega *et al.*, 2000).

## **Clima**

El clima en la SMO es muy variado y se presentan casi todas las modalidades existentes, lo cual genera una gran riqueza biológica. Esta diversidad de climas se debe, entre otros factores, a la compleja heterogeneidad de la fisiografía de la región (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004).

De manera general, la provincia se ve afectada por los vientos alisios del norte y los ciclones tropicales del Océano Atlántico durante la época cálida del año, lo cual provoca precipitaciones que disminuyen hacia la región de sotavento de la sierra y, en la temporada fría repercuten las masas de aire polar que pueden ocasionar nevadas aisladas en las regiones áridas y algunas precipitaciones en las zonas altas.

En más del 60% del área de la SMO existen tipos climáticos secos que se presentan a todo lo largo de la provincia que se ve influenciada por la sombra orográfica que crea la propia sierra, de manera que la precipitación media anual en esta región es inferior a 600 mm; las lluvias son irregulares presentándose entre seis y 10 e incluso hasta 12 meses secos al año. Por el contrario, en la vertiente hacia el Golfo de México y en el sureste de la SMO, la precipitación es mayor a 1200 mm llegando a más de 4000 mm en las sierras de Puebla donde se presentan menos de dos meses secos al año. Con respecto a la temperatura máxima anual, esta oscila entre 26° y 30° presentándose en casi toda la

superficie de la provincia excepto en las partes altas, mientras que la temperatura mínima anual es inferior a 12° registrándose hacia las partes altas de la provincia (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004).

## **Vegetación**

En la SMO, existen diversos tipos de vegetación y de acuerdo al criterio que se tome para su delimitación, la dominancia de algunos sobre otros es notorio (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004). No obstante, la diversidad de los bosques de encino así como el bosque mesófilo de montaña encuentran aquí un hábitat idóneo en relación a otras provincias del país. Sin embargo, otros tipos de vegetación tales como aquellos característicos de climas áridos tienen representación importante en esta provincia sobre todo en aquellos criterios que toman en cuenta para su delimitación áreas hacia el interior del territorio nacional.

## **ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS (PAE)**

El análisis de parsimonia de endemismos o PAE (por sus siglas en inglés) es un método de la biogeografía histórica que principalmente detecta patrones de distribución de los organismos (Rosen, 1988) y puede clasificar localidades o bien áreas que se presentan de manera inclusiva o anidada en los cladogramas resultantes, de manera que las unidades menores obtenidas incluyen a los taxones que les son propios y a los de distribuciones más amplias (Crisci *et al.* 2000). Este método originalmente fue propuesto por B. R. Rosen (1988) enfocado al estudio de los fósiles basándose en localidades puntuales de un horizonte geológico en particular.

Craw (1988) y Cracraft (1991) presentaron una variante de la metodología empleada por Rosen (1988) al usar áreas de endemismo como unidades de estudio en lugar de localidades puntuales agregando información de clados monofiléticos. Porzecanski y Cracraft (2005) denominan esta metodología CADE y señalan que difiere del PAE por el hecho de emplear como unidades básicas para el análisis áreas de endemismo previamente determinadas, además de que se incluye información de taxones supraespecíficos.

Morrone (1994) propuso una variante de la metodología propuesta por Rosen (1988) donde el objetivo es delimitar áreas de endemismo denominándolo PAE basado en cuadrículas y comprende ciertos pasos para el análisis.

## ÍNDICES DE ENDEMISMO

En muchos estudios de biogeografía histórica, se utiliza como unidad de análisis al área de endemismo, la cual constituye la unidad operacional en diversas metodologías empleadas en la biogeografía histórica y su importancia ha sido destacada por varios autores asignándoles un papel central en la biogeografía.

La delimitación de estas áreas es un tema controvertido y existen diversos criterios al respecto (Crisci *et al.*, 2000). Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001), proponen un método mediante el uso de “índices” y sugieren que con el índice apropiado, se pueden detectar dichas áreas de endemismo. Hasta el momento, el único trabajo que ha empleado el uso de estos índices para detectar riqueza de especies y áreas de endemismo en México es el de Luna *et al.* (2004).

No obstante, Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001), llevaron a cabo este método para África tropical y Australia, respectivamente, empleando una gradilla dividida en cuadrantes tomando como referencia a las coordenadas geográficas, si bien la mayoría de los mapas y bases de datos emplean estas coordenadas, también se encuentran disponibles otros sistemas cartográficos (McAllister *et al.*, 1986).

En sus análisis, detectaron diferentes áreas de endemismo definidas por valores altos de acuerdo a la mayor concentración de especies con distribuciones restringidas. También evaluaron la riqueza cuantificando las especies en cada cuadro de la gradilla. Esta medida sirvió de comparación, con la finalidad de determinar que índice de endemismo se relaciona menos a la riqueza y poder distinguir estos dos conceptos en la práctica.

### **Endemismo de un límite máximo de distribución**

Para medir el endemismo, un método sencillo es contar las especies con rango de distribución restringida en cada cuadro especificando un límite máximo de distribución tales como uno, dos o un número pequeño de cuadros (Kirkpatrick y Brown, 1984; Usher, 1986; Long *et al.*, 1996), sin embargo este límite es subjetivo, arbitrario y depende enteramente de la escala y tamaño del área de estudio. Linder (2001) Crisp *et al.* (2001) señalan que en sus análisis esta medida se relaciona positivamente con la riqueza de especies.

### **Endemismo ponderado (EP)**

Algunos autores han evitado estos límites arbitrarios contando todos los taxones en cada uno de los cuadros, sin importar que tan amplia sea su distribución, luego ponderan a cada uno, por el inverso de su distribución (Dony y Denholm, 1985; Usher, 1986; Williams y Humphries, 1994; Williams *et al.*, 1994), de tal forma que un taxón que exista sólo en un cuadro, tiene un valor máximo de 1; si se distribuye en dos cuadros, se le asigna un valor de 0.5 y si se encuentra en 10 cuadros el valor es de 0.1. Para obtener un valor de endemismo para cada cuadro, se suman los valores de los taxones existentes en ese cuadrante. Este índice se denominó “endemismo ponderado” (EP) (Crisp *et al.*, 2001). Sin embargo, esta medida también se relaciona con la riqueza de especies por el hecho de que se toma en cuenta a cada taxón en los cuadros de la gradilla independientemente de su intervalo de distribución.

### **Endemismo ponderado corregido (EPC)**

Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001) definieron una medida del endemismo que no se relacionara con la riqueza, para lo cual dividieron el EP entre el total de especies contadas para cada cuadro de la gradilla, resultando un nuevo índice llamado “endemismo ponderado corregido” (EPC) (Linder, 2001). Este índice, “corrige” el efecto de la riqueza según sea la proporción de endemismo dado en un cuadro de la gradilla, por lo que la correlación entre estas variables es muy baja.

## **CONSERVACIÓN**

### **Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

La amplia diversidad biológica que existe en México es una de sus mayores riquezas y representa un gran reto en cuanto a conservación se refiere. En el mundo se han creado áreas naturales sujetas a regímenes especiales de protección. Teóricamente, estas áreas son porciones del planeta, en las que el ambiente original no ha sido perturbado intensamente por la acción del hombre (Vélez-Tirado, 1991).

En México, las áreas naturales protegidas, han estado sujetas a problemas, indecisiones y errores a lo largo de su historia. Hasta 1991, existían en nuestro país gran

número de categorías de áreas naturales protegidas cuya nomenclatura, formas de manejo y objetivos, eran confusos al mismo tiempo que padecían deficiencias que las descartaban como tales (Vélez-Tirado, 1991).

La presión demográfica, urbanización, industrialización, contaminación, prácticas inadecuadas de uso de suelo, turismo mal planificado, falta de conciencia y educación ambiental, inadecuada legislación, falta de planeación y de recursos económicos, son causas que han llevado a que la mayor parte de nuestras áreas naturales protegidas se encuentren en condiciones precarias. Sin embargo, a pesar de estos impedimentos, algunas cuentan con el mínimo para operar integralmente (Vélez-Tirado, 1991).

En la actualidad, el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) se encarga de regir, establecer y proteger a la biota de nuestro país, y constituye un reconocimiento de que el área natural protegida está cumpliendo con los objetivos para los cuales fue creada y por lo tanto está contribuyendo a conservar la biodiversidad en el ámbito nacional, además, también se encarga de las Regiones Prioritarias para la Conservación (RTP) (Arriaga *et al.*, 2000), zonas que aun no cuentan con un decreto de protección ([www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)).

Asimismo, con la publicación más reciente del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (2003) (LGEEPA) en materia de Áreas Naturales Protegidas, se establecieron los criterios para que se incorporen al registro del SINAP, aquellas áreas que presenten especial relevancia en algunas de las siguientes características: riqueza de especies, presencia de endemismos, especies en riesgo y de distribución restringida, diferencia de especies con respecto a otras áreas protegidas previamente incorporadas al SINAP, diversidad de ecosistemas relictuales y de distribución restringida, presencia de fenómenos naturales importantes o frágiles, integridad funcional de los ecosistemas, importancia de los servicios ambientales generados y viabilidad social para su preservación ([www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), administra actualmente 148 áreas naturales de carácter federal, que representan más de 17 millones de hectáreas. En la Sierra Madre Oriental se encuentran 15 Áreas Naturales Protegidas: tres Reservas de la Biosfera, nueve Parques Nacionales, un Monumento Natural y dos Áreas de Protección de Flora y Fauna.

## **Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)**

El proyecto Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), tiene como objetivo general, determinar unidades ambientalmente estables en la parte continental del territorio nacional donde destaquen ecosistemas y riqueza de especies comparativamente mayor que en el resto del país, una integridad ecológica funcional significativa y donde se tenga una oportunidad real de conservación ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)).

El programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la CONABIO se orienta a la detección de áreas, cuyas características físicas, favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad. Este proyecto contó con el apoyo del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Agencia Internacional para el desarrollo de la Embajada de los Estados Unidos de América (USAID), The Nature Conservancy (TNC) y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), así como con la participación del Instituto Nacional de Ecología (INE) como autoridad normativa del gobierno federal. La identificación de las regiones prioritarias, es el resultado del trabajo de expertos de la comunidad científica nacional, coordinados por la CONABIO ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)).

De este proyecto se obtuvieron 152 regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad en México cubriendo una superficie de 515, 558 km<sup>2</sup> que corresponde a poco más de la cuarta parte del territorio nacional. De estas regiones, 30 se ubican total o parcialmente en la Sierra Madre Oriental.

Con esta regionalización, la CONABIO pretende contribuir a integrar una agenda que proporcione dirección a la inversión que las agencias nacionales e internacionales aportan para las actividades de conservación. De igual forma, este trabajo se orienta como marco de referencia para la toma de decisiones encaminadas a definir programas que ejecuten los diferentes sectores y niveles de gobierno, particularmente para que la CONANP considere la incorporación de nuevas áreas de protección natural dentro del SINAP (Arriaga *et al.* 2000).

## **Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS)**

El programa de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) surgió como una idea conjunta de la Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las aves (CIPAMEX) y Bird Life International (Cipamex-Conabio, 1999;

Arizmendi y Márquez, 2000). Inició con apoyo de la Comisión para la Cooperación Ambiental de Norteamérica (CCA), para crear una red regional de áreas para la conservación de las aves.

Se contó con la participación de especialistas en la conservación de las aves para proponer, regionalizar y digitalizar áreas de importancia para su conservación concluyendo un total de 230. De estas áreas, 26 tienen sus límites total o parcialmente en la Sierra Madre Oriental.

En estas áreas, existe el 96.3% del total de especies de aves para México (en al menos un área), el 90.2% de las especies listadas como amenazadas por la ley mexicana (306 de 339 especies) y las 95 especies endémicas de México registradas en al menos un área ([www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)).

## **LA FAMILIA CACTACEAE**

Dentro de las seis familias de plantas vasculares más diversas en México, la familia Cactaceae ocupa el quinto lugar y junto con las familias Compositae y Gramineae, está mejor representada en el norte y centro del país (Rzedowski, 1991a).

La familia Cactaceae Juss. constituye un grupo de origen americano que se distribuye desde Canadá hasta La Patagonia prevaleciendo en ambientes áridos y algunas especies se desarrollan en ambientes húmedos (Sánchez-Mejorada, 1982). Según las clasificaciones más recientes, este grupo se ubica en las Eudicotiledóneas (Tricolpadas), en el orden Caryophyllales junto a Nyctaginaceae, Phytolaccaceae, Aizoaceae, Portulacaceae, Caryophyllaceae y Amaranthaceae (Judd *et al.*, 2002). La familia se divide en tres subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae, cada una de ellas monofilética (Buxbaum, 1958).

El diagnóstico de la familia está apoyado por caracteres morfológicos tales como el engrosamiento del tallo para almacenar agua, la reducción de los entrenudos para reducir la transpiración, el engrosamiento de la cutícula, la pruinosidad o excrecencias cerosas de la epidermis, la disposición hundida de los estomas, la atrofia del limbo de las hojas o su transformación en espinas o escamas, desaparición del pecíolo, hipertrofia de la base de la hoja dando origen a podarios si estos se encuentran aislados o costillas si se encuentran asociados en hileras, ovario ínfero, placentación parietal, sistema radicular poco profundo pero abarcando gran área además, el verdadero sistema de absorción sólo se desarrolla en la temporada de lluvias, representación de las yemas axilares por aréolas

que pueden producir nuevos brotes, flores, espinas, cerdas, glóquidas, tricomas, pelos y raíces adventicias, semillas con embrión curvo con tendencia a reducción de los cotiledones e hipocotilo suculento en el cual existe una tendencia a almacenar las reservas, además de que existe una tendencia a la eliminación del perisperma (Bravo-Hollis, 1978). No obstante, representantes de la familia considerados como primitivos retienen caracteres tales como tallos suculentos, hojas persistentes y bien desarrolladas, inflorescencia cimosa, varios estilos y en algunas especies ovario súpero y placentación basal (Judd *et al.*, 2002).

La mayoría de los géneros están incluidos en la subfamilia Cactoideae, los cuales forman un clado basado en caracteres tales como la presencia de flores solitarias en el ápice de los tallos, ovario ínfero y placentación parietal, caracteres que también se presentan en algunas especies de *Pereskia*, pudiendo ser éstas actualmente el clado basal de este grupo (Nyffeler, 2002).

La monofilia de la subfamilia Cactoideae se caracteriza por la extrema reducción o pérdida de las hojas así como una delección en el *rpoC1* del genoma del cloroplasto (Wallace y Forquer, 1995; Nyffeler, 2002) el cual muestra un fragmento más corto que el observado en Pereskioideae, Opuntioideae y miembros pertenecientes a familias del mismo orden. Esta unidad se ha perdido evolutivamente en los miembros de esta subfamilia (Cota y Wallace, 1996) por lo que representa un carácter sinapomórfico y evidencia molecular de su monofilia (Fig. 1).

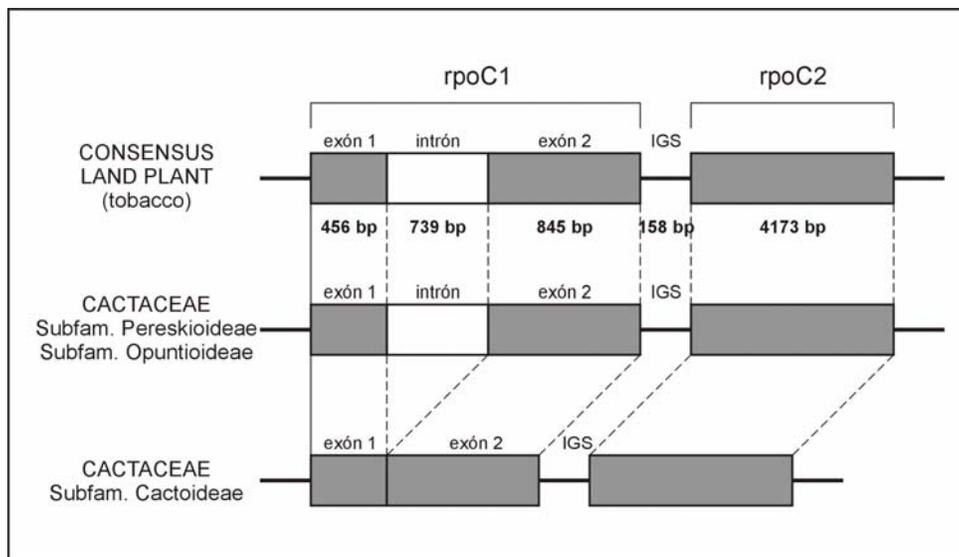


Figura 1. Representación de la pérdida del intrón en el gene *rpoC1* (Downie y Palmer, 1994).

## **HIPÓTESIS**

En este estudio se espera reconocer áreas de endemismo definidas por la coexistencia de dos o más especies de cactáceas, principalmente en las regiones de clima árido de la Sierra Madre Oriental, donde la mayor parte de las especies de esta familia han encontrado el principal centro de diversidad, a diferencia de otros tipos de vegetación con climas más templados y más húmedos.

## **OBJETIVOS**

1. Realizar un análisis biogeográfico de especies de la familia Cactaceae endémicas o cuasiendémicas de la Sierra Madre Oriental (SMO) y con problemas de conservación, con la finalidad de encontrar áreas de endemismo a dos diferentes escalas.
2. Evaluar su representatividad en las Áreas Naturales Protegidas (ANP), Regiones Terrestres Prioritarias de México (RTP) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) de estas especies y hacer sugerencias sobre su manejo y conservación.

## JUSTIFICACIÓN

Algunos de los estudios que se han realizado sobre cactáceas en algunas regiones de la SMO han sido tratamientos florísticos (Sánchez-Mejorada, 1978; Pinkava, 1984; Wehbe y Elizondo, 1986; Martínez-Ávalos y Jiménez, 1993; Moeller-Villar, 1993; Hernández, 1998) y en algunos de estos trabajos se ha destacado la importancia de numerosas zonas en esta provincia por su diversidad o por la distribución geográfica de las especies (Hernández y Bárcenas, 1995, Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000), sugiriendo incluso que dichas regiones puedan ser consideradas para su conservación (Hernández *et al.*, 2001). Sin embargo, no hacen énfasis en la búsqueda o definición de áreas de endemismo aunque sí mencionan la importancia de esas áreas por las especies de distribución restringida que ahí habitan para una de las familias que, junto con Asteraceae y Gramineae, son de las más importantes y diversas en México, mismas que están mejor representadas en el norte y centro del país (Rzedowski, 1991a).

El reconocimiento de áreas de endemismo mediante la aplicación de diversos métodos (e. g. PAE e índices de endemismo) se ha venido utilizando recientemente, ya que permite conocer y seleccionar áreas que requieren de acciones prioritarias encaminadas a la protección de taxones. Estas áreas resultantes pueden ser combinadas y/o comparadas con otras donde se hayan empleado diferentes metodologías y/o organismos, con la finalidad de conjuntar esta información y determinar si dichas regiones pueden ser conservadas por contener taxones de distribución restringida, que se encuentren con problemas de conservación o por contener una riqueza de especies comparativamente mayor que en otras regiones del país.

Las ANP necesitan ser evaluadas con el propósito de confirmar qué porcentaje de especies se están considerando para su conservación, de manera que la creación de nuevas áreas o bien la redefinición de los límites de las ya existentes podría cubrir un mayor porcentaje de especies de esta familia y de otras más. Asimismo, otros sistemas de conservación (e. g. RTP, AICAS) pueden ofrecer áreas alternativas a las ANP que, en función del porcentaje de las especies que se encuentran dentro de sus límites, pudieran ser consideradas para la conservación de la riqueza existente del país.

## MÉTODO

### OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los criterios para la selección de las especies en este trabajo fueron que: 1) Estuvieran incluidas en la lista de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002) o en la lista roja de la UICN ([www.redlist.org](http://www.redlist.org), 2002), las cuales consideran a las especies con problemas de conservación dentro de alguna categoría de riesgo y que deben ser protegidas y 2) Que se distribuyeran preferentemente dentro de los límites de la Sierra Madre Oriental (SMO).

Se revisó la literatura especializada con la finalidad de obtener información sobre hábitat, distribución geográfica general y por estados de las especies consideradas (Benson, 1982; Bravo-Hollis, 1978, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991a, b; Buxbaum, 1958; Guzmán *et al.*, 2003). Se excluyó el uso de numerosos tratamientos florísticos disponibles para algunas regiones o municipios de la SMO debido a que no cuentan con referencias geográficas y la determinación de la ubicación tendería a ser ambigua, y aunque pudo haberse perdido información valiosa, el análisis se basó principalmente en las localidades de distribución derivadas de los ejemplares de herbario. No obstante, se emplearon algunos listados de manera general para tener una idea de la cantidad de información no existente en los herbarios.

Se elaboró una lista de las cactáceas que habitan preferentemente en la SMO donde se incluye el nombre científico de cada especie (Apéndice 1) según Guzmán *et al.* (2003), misma que sirvió de base para la revisión de los ejemplares de herbario. Los nombres de los autores se abreviaron de acuerdo a Brummitt y Powell (1992) y Villaseñor (2001).

Se revisaron 1936 ejemplares de las colecciones siguientes: Herbario Nacional, Instituto de Biología, UNAM (MEXU); Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME); Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (ENCB); Herbario del Instituto de Ecología A.C. en Pátzcuaro (IEB) y Herbario Nacional Forestal (INIF). Se consultó la información disponible de los siguientes herbarios existentes en la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB): Herbario XAL del Instituto de Ecología, A. C., México (IE-XAL); Herbario de la Universidad de Texas-Austin, EUA (LL, TEX); Herbario del Jardín Botánico de Nueva York, EUA (NY); w<sup>3</sup> Trópicos, Jardín Botánico de Missouri (MO) y Herbario de la Universidad de Arizona, EUA (ARIZ). Además, se realizaron salidas de campo a los estados de Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y

Veracruz para corroborar referencias geográficas, cotejar la distribución y aumentar el número de registros de algunas especies. Los ejemplares colectados fueron depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME).

## **BASE DE DATOS**

La información obtenida de los ejemplares fue incorporada a una base de datos con la finalidad de tener acceso rápido y generar consultas para los diferentes análisis. Se georreferenciaron algunos ejemplares provenientes de herbarios y de la REMIB cuyos datos de distribución se consideraron relevantes pero que no contaban con coordenadas geográficas, respaldándose en las cartas topográficas editadas por INEGI a escalas 1: 250 000 y 1: 50 000 (1981, 1982, 1991a, b, 1993, 1995, 1998a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, 2001). La información contenida en el presente estudio pertenece a 88 especies ubicadas en 25 géneros comprendidos en la subfamilia Cactoideae (Apéndice 1).

## **SIERRA MADRE ORIENTAL**

Determinar los límites de la provincia es un tanto subjetivo y hasta cierto punto arbitrario. En este sentido, Ruiz-Jiménez *et al.* (2004) mencionan que las provincias biogeográficas propuestas por CONABIO (1994), aun basándose en cuatro criterios de regionalización para determinar los límites de las provincias de México, no constituyen una división natural y al igual que el resto de las propuestas existentes, los límites de este sistema de regionalización no son determinantes.

En base a esto, se decidió conjuntar cuatro criterios de regionalización con la finalidad de que el área final tuviera representados a diversos tipos de vegetación donde las cactáceas se desarrollan (Fig. 2).

La SMO de las provincias biogeográficas, propuesta por CONABIO (1997), añade la parte más al sur de la SMO, en el estado de Veracruz. (Fig. 2).

La SMO de las divisiones florísticas realizada por Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990), contribuye con la Sierra de Tamaulipas, la región circundante al Parque Nacional El Gogorrón en la frontera de Guanajuato y San Luis Potosí, una porción al noroeste de la SMO en Coahuila y la región meridional de la misma en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz (Fig. 2).

De la regionalización propuesta por Cervantes-Zamora et al. (1990) se eligieron a nueve provincias que se consideran equivalentes a la SMO propuesta por otros autores. Cabe destacar que este sistema de regionalización es la base del área final que se consideró para este trabajo (Fig. 2)

Finalmente, la SMO de las provincias morfotectónicas propuesta por Ferrusquía-Villafranca (1990), aporta una parte del centro de Querétaro, la zona correspondiente a la Sierra de San Carlos en Tamaulipas y cinco áreas pequeñas ubicadas hacia la vertiente del Golfo de México en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Fig. 2).

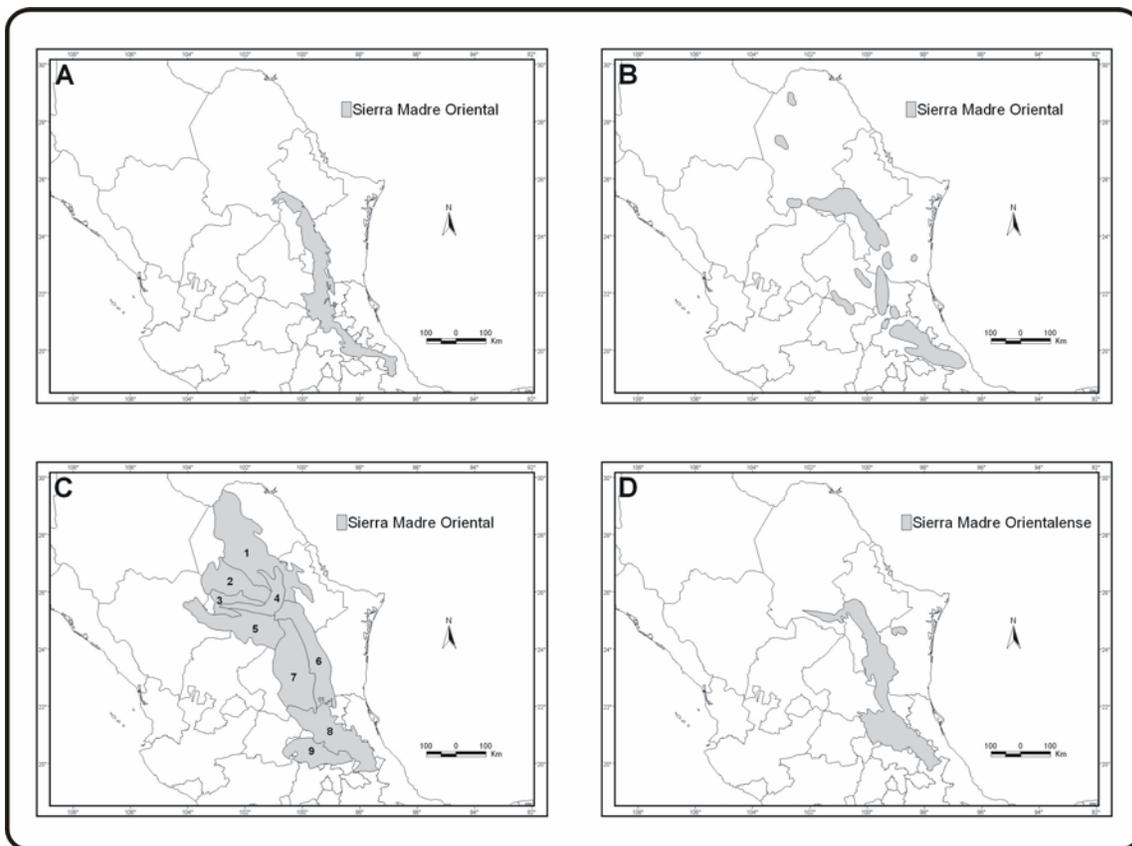


Figura 2. Los cuatro sistemas de regionalización considerados para el concepto de Sierra Madre Oriental empleado en este trabajo. A. Sierra Madre Oriental de las provincias biogeográficas (CONABIO, 1997), B. Sierra Madre Oriental de las Divisiones florísticas (Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), C. Provincias fisiográficas (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990) equivalentes a la SMO: 1. Sierras y Llanuras Coahuilenses, 2. Sierra de la Paila, 3. Laguna de Mayrán, 4. Pliegues Saltillo Parras, 5. Sierras Transversales, 6. Gran Sierra Plegada, 7. Sierras y Llanuras Occidentales, 8. Carso Huasteco y 9. Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, D. Sierra Madre Orientalense de las provincias morfotectónicas (bióticas) (Ferrusquía-Villafranca, 1990).

De esta manera, el concepto de Sierra Madre Oriental (SMO) empleada en este trabajo incluye principalmente la regionalización de Cervantes-Zamora *et al.* (1990) además de pequeñas zonas consideradas como parte de la SMO por los otros tres sistemas de regionalización (Fig.3).

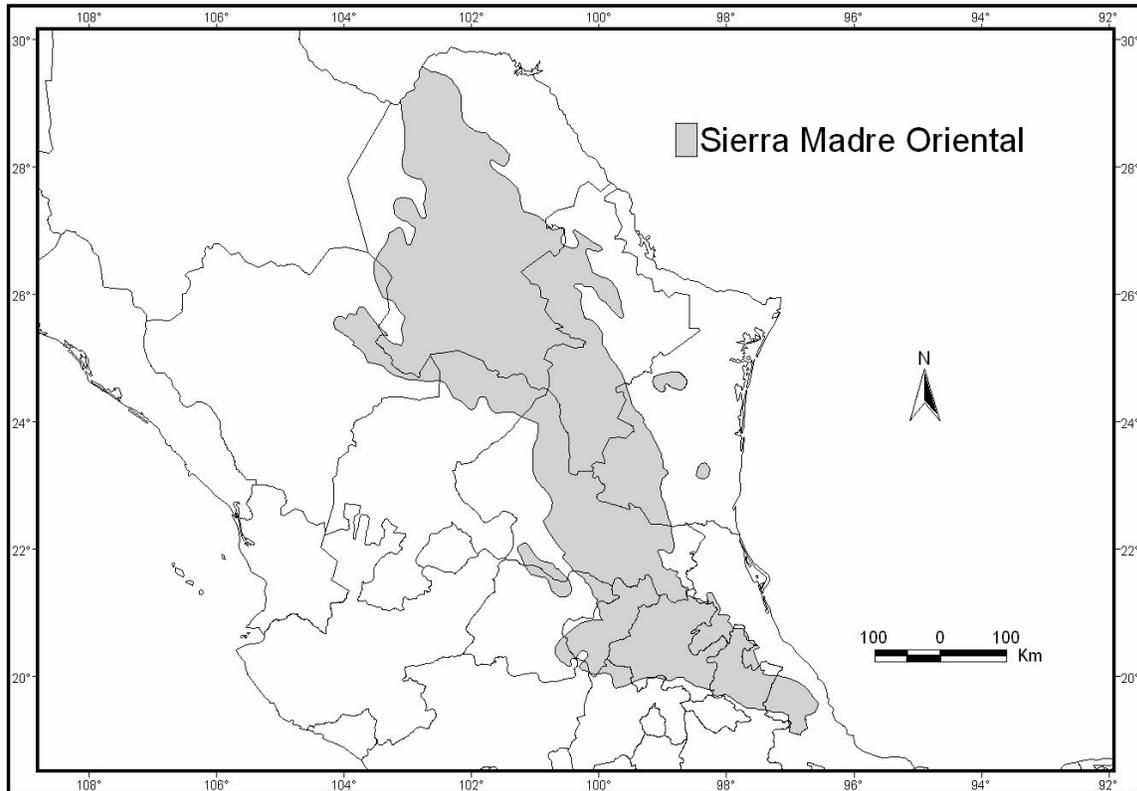


Figura 3. Composición de la SMO empleada en este estudio basada principalmente en Cervantes-Zamora *et al.* (1990).

## ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS

A la fecha en México o en algunas regiones del país, se han hecho numerosos trabajos donde se emplea el PAE como herramienta para detectar relaciones entre diversas áreas utilizando diferentes unidades de análisis: *e. g.* localidades (Luna *et al.*, 1999; Luna *et al.*, 2001), cuadrantes (Morrone y Escalante, 2002; Rojas-Soto *et al.*, 2003; González-Zamora, 2003; Herrera, 2005; Méndez-Larios *et al.*, 2005) , transectos (Navarro *et al.*, 2004; León-Paniagua *et al.*, 2004; García-Trejo y Navarro, 2004), áreas de endemismo (Morrone *et al.*, 1999; Morrone y Escalante, 2002) y cuencas hidrológicas (Aguilar-Aguilar *et al.*, 2003).

Este método originalmente fue propuesto por B. R. Rosen (1988) enfocado al estudio de los fósiles basándose en localidades puntuales de un horizonte geológico en particular. El PAE agrupa localidades por la presencia de sinapomorfías geológico-geográficas, análogas a las sinapomorfías en un análisis de sistemática filogenética. La metodología se lleva a cabo mediante la construcción de matrices de localidades (que representan las áreas de estudio) por taxones donde la presencia de un taxón en cada localidad se codifica con “1” y su ausencia con “0”, luego los datos son analizados mediante algún programa que tenga implementado un algoritmo de parsimonia (*e. g.* NONA). Rosen (1988) sugiere que la matriz de datos debe modificarse para obtener una mayor resolución, de manera que los taxones que sean comunes a todas las localidades así como aquellos que sólo se encuentren en una localidad se eliminen del análisis pues resultan no informativos. Además, las localidades con escasas presencias de taxones en comparación a las otras localidades deben ser eliminadas, pues la baja diversidad es interpretada erróneamente en el análisis como primitiva. Finalmente, a la matriz de datos se le anexa una localidad hipotética con 0's con la finalidad de enraizar el cladograma.

Morrone (1994) propuso una variante al método de Rosen (1988) donde el objetivo es delimitar áreas de endemismo basado en cuadrículas.

Craw (1988) presentó una variación de la metodología empleada por Rosen (1988) al usar áreas de endemismo como unidades de estudio en lugar de localidades puntuales, además agregó información de clados monofiléticos. En esta variante, las reversiones son interpretadas como extinciones y los paralelismos como dispersiones. El análisis de los datos se realiza mediante un algoritmo de parsimonia, considerando a los caracteres multiestado como no ordenados (Crisci *et al.*, 2000).

Una variante similar a la propuesta por Craw (1988) fue realizada por Cracraft (1991). Las diferencias principales entre estos métodos es que este último autor adiciona una nueva columna a la matriz de datos para agregar un género, por ejemplo, codificando a cada área donde existe al menos una especie de ese género con "1". El análisis se lleva a cabo mediante programas de computación de análisis cladístico que emplean algoritmos de parsimonia (Crisci *et al.*, 2000). En este método se obtiene un cladograma de áreas donde se muestran las relaciones de las áreas de endemismo elegidas como unidades.

En este trabajo se empleó la variante de Morrone (1994) con la finalidad de encontrar áreas de endemismo de las cactáceas de la SMO. Para llevar a cabo el análisis se realizaron los pasos siguientes:

1. Obtención de la información. Se obtuvo a partir de la base de datos generada para las cactáceas que habitan la SMO y cuya distribución se restringe preferentemente a dicha provincia.
2. División del área de estudio. Se construyeron dos gradillas con la finalidad de comparar el efecto de la escala en los resultados, una se dividió en cuadrantes de 0.5° de latitud x 0.5° de longitud y la otra en cuadrantes de 1° de latitud x 1° de longitud. Cada una de estas gradillas se superpusieron al área de la SMO empleando el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView Ver. 3.2a (ESRI, 2001) resultando 139 cuadros para la gradilla de 0.5° x 0.5° y 46 cuadros para la gradilla de 1° x 1° (Figs. 4 y 5).
3. Elaboración de la matriz de datos. Se elaboró una matriz de cuadrículas vs. taxones para cada una de las gradillas construidas, donde las cuadrículas representan las áreas de estudio y la presencia de los taxones codificada con "1" o la ausencia codificada con "0" corresponde a los caracteres. Se incluyó un área codificada con 0's para enraizar el cladograma. Las áreas fueron nombradas de acuerdo al poblado principal que se encontrara en cada uno de los cuadrantes.
4. Análisis de los datos. Se aplicó un algoritmo de parsimonia a cada matriz de datos para obtener el o los cladogramas más parsimoniosos mediante el programa NONA 2.0 (Goloboff, 1997) y Winclada (Nixon, 2000). Los cladogramas de consenso fueron editados en CorelDraw 9.0.

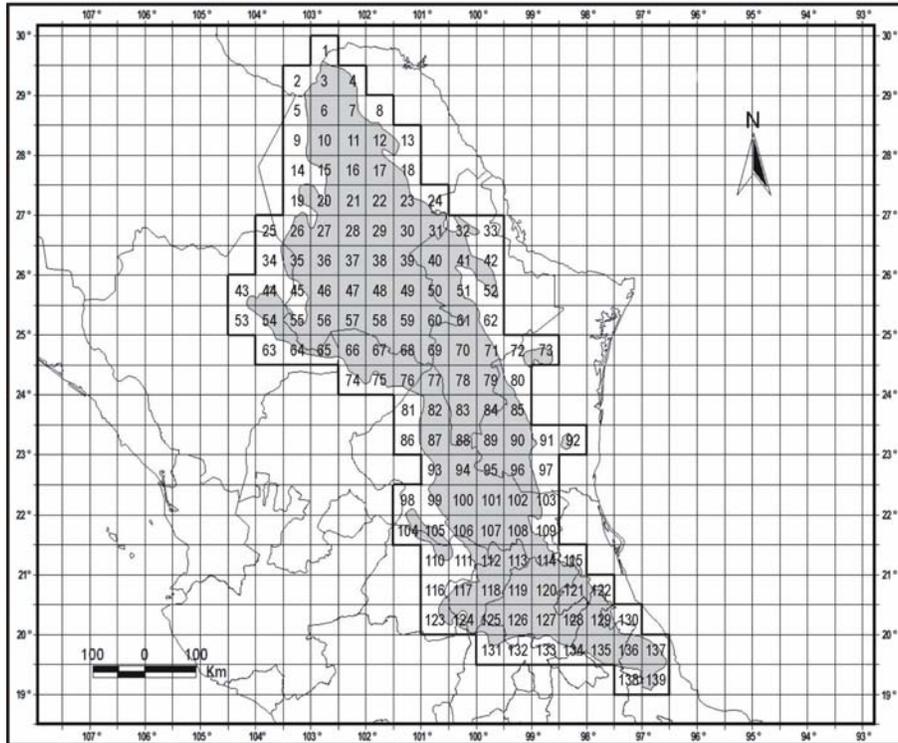


Figura 4. Gradilla empleada para el análisis donde se muestran los 139 cuadros de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  en que fue dividida la SMO.

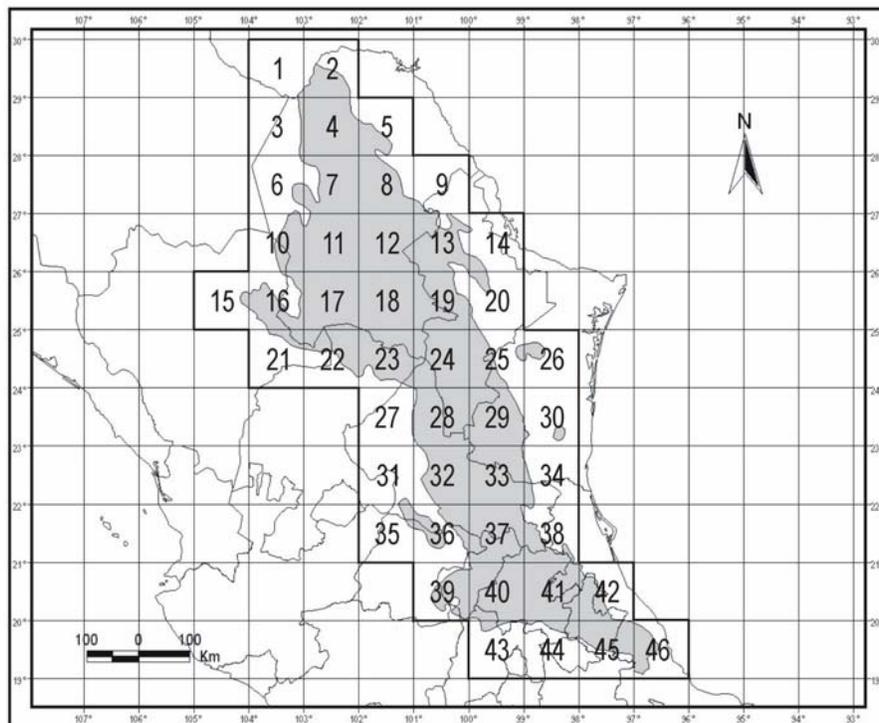


Figura 5. Gradilla empleada para el análisis donde se muestran los 46 cuadros de  $1^\circ \times 1^\circ$  en que fue dividida la SMO.

5. Delimitación de áreas de endemismo. Se consideraron como áreas de endemismo a cuadros individuales o agrupamientos de cuadros que estuvieran sustentados por dos o más taxones. Las cuadrículas seleccionadas como áreas de endemismo se dibujaron en un mapa, en función de las distribuciones conocidas de los taxones que sustentan a cada clado.

Con respecto a este último paso, la delimitación de áreas de endemismo es problemático pero es fundamental en los análisis de biogeografía histórica (Crisci *et al.*, 2000) ya que se emplean como unidades de análisis. Actualmente no se ha llegado a un consenso de cómo puede ser definida un área de endemismo, no obstante, se acepta que debe estar representada por las distribuciones más o menos coincidentes de taxones con distribución restringida.

Dada la controversia que crea este tema, algunos autores han propuesto diversos métodos para su delimitación, tales como la superposición de áreas de distribución (Müller, 1973); detección de áreas mediante cuadriculación del área de estudio (último paso de la metodología de Morrone, 1994) o la presencia de taxones endémicos en unidades biogeográficas.

## **ÍNDICES DE ENDEMISMO**

Para determinar las áreas de endemismo, se siguió el criterio de Crisp *et al.* (2001) y Linder (2001), empleando el método de endemismo ponderado y el endemismo ponderado corregido. No se consideró el método que pone un límite de distribución, debido a que no considera a la totalidad de las especies en estudio, además de que el criterio para determinar el número de cuadros máximo para considerar a una especie como endémica, es arbitrario.

Se calculó la riqueza de especies de cada cuadro para comparar este patrón con el resultado del cálculo de los índices y determinar si existe correspondencia de ésta con el endemismo. La riqueza de cada cuadro se determinó por el número de especies registradas en cada uno de ellos. Al igual que en el PAE, cada especie fue considerada como presente en cada cuadro independientemente de si fue registrada una o varias veces en cada cuadro.

Para los índices, primero se obtuvo el valor de cada especie, ponderándolo con el inverso de su distribución, de manera que si un taxón sólo se distribuye en un cuadro, se le asigna un valor de 1 ( $1/1 = 1$ ), si un taxón fue registrado en dos cuadros de la gradilla,

el valor es 0.5 ( $1/2 = 0.5$ ) y si está en 10 cuadros, el valor asignado es de 0.1 ( $1/10 = 0.1$ ). Después, para obtener el valor de cada cuadro, se suman los valores de todas las especies que se encuentren en ese cuadro, denominándose a este índice “endemismo ponderado” (EP). De esta manera, se espera que cuadros con muchas especies de distribución restringida tengan valores mayores que aquellos cuadros con muchas especies de amplia distribución. Sin embargo, puede acontecer que cuadros con alta diversidad de especies tengan valores similares o incluso más altos que cuadros con pocas especies pero de distribución restringida. Esto puede afectar en gran medida la apreciación de los niveles de endemismo de los cuadros (Crisp *et al.*, 2001; Linder, 2001).

Para obtener el índice ponderado corregido, se dividió el endemismo ponderado resultante de cada cuadro, por el número total de especies de ese cuadro. Esta operación “corrige” la riqueza de especies de manera que cuadrantes con relativamente pocas especies pero de distribución restringida, deberían presentarse con valores más altos que aquellos cuadros con alta riqueza pero con relativamente pocas especies de distribución restringida, a este segundo índice se le denomina “endemismo ponderado corregido” (EPC). Aunque este índice también toma en cuenta a la totalidad de las especies de cada cuadro como el EP no se ve afectado por la diversidad debido a que la correlación entre las dos variables es baja Crisp *et al.* (2001) y Linder (2001).

Se excluyeron del análisis a los cuadros que sólo tuvieran una especie, dado que en un área de endemismo deben existir al menos dos especies.

## **REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN**

En ArcView ver. 3.2a (ESRI, 2001) se sobrepusieron las coordenadas geográficas de las localidades de recolecta de los taxones estudiados aquí con los mapas digitales de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Fig. 6), Regiones Terrestres Prioritarias de México (RTP) (Fig. 7) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) (Fig. 8), ubicadas total o parcialmente en la Sierra Madre Oriental, para detectar aquellas especies que se encuentran representadas en cada uno de estos sistemas de conservación.

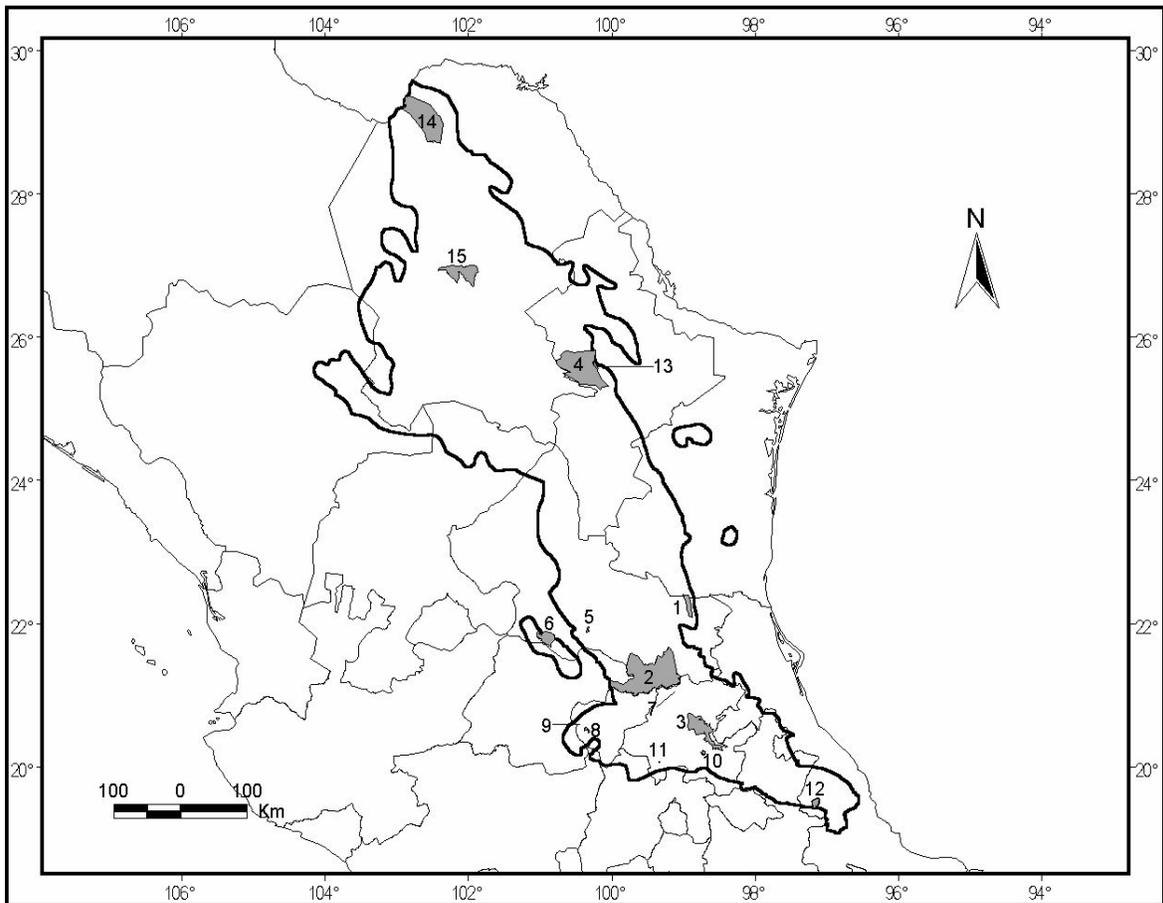


Figura 6. Áreas Naturales Protegidas (ANP) existentes en la SMO. Reservas de la Biosfera: 1. Sierra del Abra Tanchipa (S. L. P.), 2. Sierra Gorda (Qro.), 3. Barranca de Metztitlán (Hgo.). Parques Nacionales: 4. Cumbres de Monterrey (N. L.), 5. El Potosí (S. L. P.), 6. Gogorrón (S. L. P.), 7. Los Mármoles (Hgo.), 8. El Cimatorio (Qro.), 9. Cerro de Las Campanas (Qro.), 10. El Chico (Hgo.), 11. Tula (Hgo.), 12. Cofre de Perote (Ver.). Monumentos Naturales: 13. Cerro de La Silla (N. L.). Áreas de Protección de Flora y Fauna: 14. Maderas del Carmen (Coah.), 15. Cuatrociénegas (Coah.).

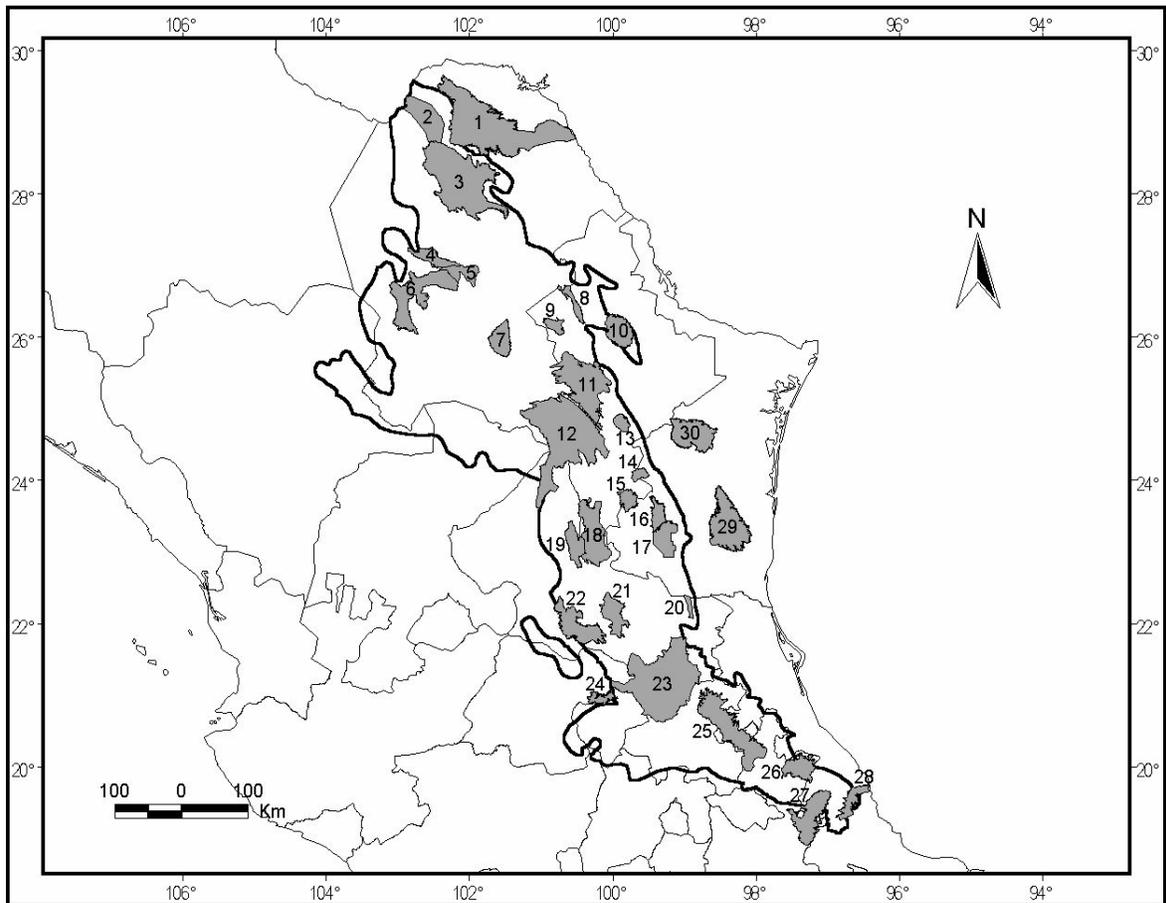


Figura 7. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) ubicadas total o parcialmente dentro de los límites de la SMO: 1. Sierra El Burro-río Santiago (Coah.), 2. Sierra Maderas del Carmen (Coah.), 3. Sierra La Encantada-Santa Rosa (Coah.), 4. Sierra de La Madera (Coah.), 5. Cuatrociénegas (Coah.), 6. Sierra de La Fragua (Coah.), 7. Sierra de La Paila (Coah.), 8. Sierra de Bustamante (Coah., N. L.), 9. La Popa (N. L.), 10. Sierra Picachos (N. L.), 11. El Potosí-Cumbres de Monterrey (Coah., N. L.), 12. Tokio (Coah., N. L., S. L. P., Zac.), 13. Cañón de Iturbide (N. L.), 14. Puerto Purificación (N. L., Tamps.), 15. San Antonio-Peña Nevada (N. L., Tamps.), 16. Valle de Jaumave (Tamps.), 17. El Cielo (Tamps.), 18. El Huizache (N. L., S. L. P.), 19. Pastizales Gipsófilos de Matehuala (N. L., S. L. P.), 20. Sierra Abra-Tanchipa (S. L. P., Tamps.), 21. Llanura del río Verde (S. L. P.), 22. Sierra de Álvarez (S. L. P.), 23. Sierra Gorda-río Moctezuma (Gto., Hgo., Qro., S. L. P.), 24. Cerro Zamorano (Gto., Qro.), 25. Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental (Hgo., Pue., Ver.), 26. Cuetzalán (Pue., Ver.), 27. Pico de Orizaba-Cofre de Perote (Pue., Ver.), 28. Encinares Tropicales de la Planicie Costera Veracruzana (Ver.), 29. Sierra de Tamaulipas (Tamps.), 30. Sierra de San Carlos (N. L., Tamps.).

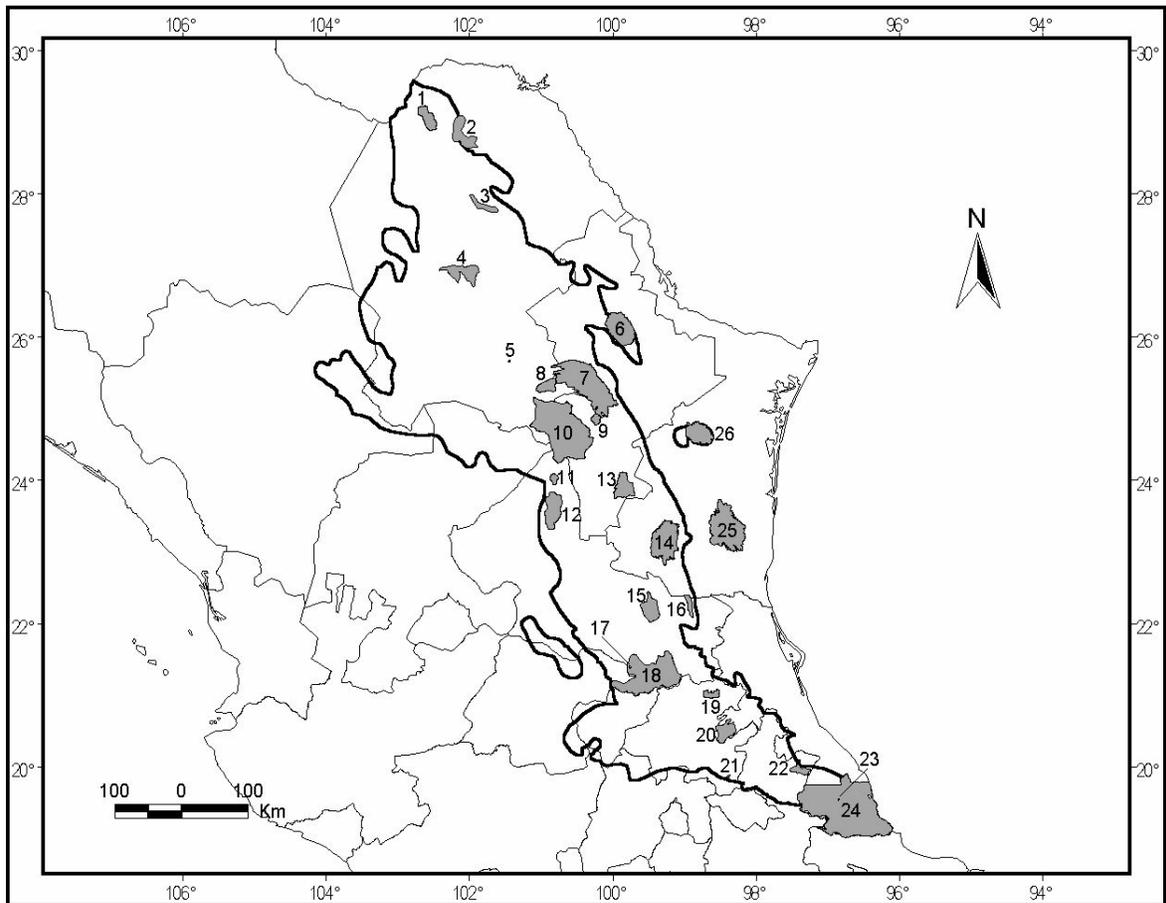


Figura 8. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) ubicadas total o parcialmente en la SMO: 1. Sierra Maderas del Carmen (Coah.), 2. Sierra del Burro (Coah.), 3. Nacimiento río Sabinas-sureste Sierra de Santa Rosa (Coah.), 4. Cuatrociénegas (Coah.), 5. Presa El Tulillo (Coah.), 6. Picachos (N. L.), 7. Sierra de Arteaga (Coah., N. L.), 8. Área Natural Sierra Zapaliname (Coah.), 9. El Potosí (N. L.), 10. Pradera de Tokio (Coah., N. L., S. L. P., Zac.), 11. El Manantial (S. L. P.), 12. Sierra Catorce (S. L. P.), 13. San Antonio Peña Nevada (N. L.), 14. El Cielo (Tamps.), 15. San Nicolás de los Montes (S. L. P.), 16. Sierra del Abra-Tanchipa (Tamps.), 17. Sótano del Barro (Qro.), 18. Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (Gto., Qro., S. L. P.), 19. Tlanchinol (Hgo.), 20. Huayacocotla (Hgo. Ver.), 21. Subcuenca Tecocomulco (Hgo.), 22. Cuetzalán (Pue.), 23. Laguna de Castillo (Ver.), 24. Centro de Veracruz (Pue., Ver.), 25. Sierra de Tamaulipas (Tamps.), 26. Sierra de San Carlos (Tamps.).

## RESULTADOS

### DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

La distribución geográfica de las 88 especies de cactáceas consideradas en el presente trabajo se muestra en las Figs. 9-96, donde se representan sus localidades de colecta. La totalidad de las localidades para las 88 especies se presenta en la Fig. 97.

En este caso sólo se consideraron las localidades existentes dentro de los límites de la Sierra Madre Oriental (SMO) que son parte de la gradilla de 0.5° x 0.5° (Fig. 4) y de 1° x 1° (Fig. 5) que se elaboraron para el análisis de parsimonia de endemismo (Morrone, 1994) y para los índices de endemismo de Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001). Se obtuvo un total de 1223 registros y 742 localidades únicas (Fig. 98).

Con base en estos registros, 64 (72.7%) de las 88 especies se restringen en su distribución a los límites de la SMO, mientras que 22 especies (25%) se distribuyen en esta provincia pero además rebasan sus límites, principalmente hacia el Altiplano Mexicano (Apéndices 2 y 3).

Cuadro 1. Especies presentes en el sur de la SMO. Para el num. de referencia, ver Apéndices 2 y 3.

Num. de referencia	Especie	Num. de referencia	Especie
1	<i>Aporocactus flagelliformis</i> *	49	<i>M. mathildae</i> *
3	<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	51	<i>M. microhelix</i>
7	<i>Astrophytum ornatum</i> *	52	<i>M. nana</i>
10	<i>Cephalocereus senilis</i> *	53	<i>M. orcuttii</i>
19	<i>Disocactus phyllanthoides</i>	54	<i>M. parkinsonii</i> *
20	<i>Echinocactus grusonii</i> *	58	<i>M. schiedeana</i>
28	<i>Glandulicactus crassihamathus</i>	62	<i>M. zeilmanniana</i>
30	<i>Lophophora diffusa</i> *	63	<i>Mammilloidya candida</i>
32	<i>Mammillaria albiflora</i>	67	<i>Pilosocereus cometes</i> *
35	<i>M. bocasana</i>	68	<i>Stenocactus sulphureus</i> *
38	<i>M. decipiens</i>	69	<i>Strombocactus disciformis</i> *
39	<i>M. duwei</i>	70	<i>Thelocactus hastifer</i> *
40	<i>M. erythrosperma</i>	71	<i>T. leucacanthus</i> *
42	<i>M. hahniana</i> *	74	<i>Turbinicarpus alonsoi</i> *
43	<i>M. herrerae</i>	78	<i>T. horripilus</i> *
44	<i>M. humboldtii</i> *	80	<i>T. pseudomacroechele</i> *
45	<i>M. klissingiana</i>	83	<i>T. schmiedickeanus</i>
48	<i>M. longimamma</i>		

Con asterisco se indica a las especies endémicas a esta área.

De acuerdo a su distribución conocida, 35 especies están representadas en la región meridional de la SMO que comprende parte de los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí y 17 de estas son endémicas al sur de la SMO (Figs. 10, 16, 19, 29, 39, 51, 53, 58, 63, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 87, 89 y Cuadro 1).

Cuadro 2. Especies presentes en el centro de la SMO. Para el num. de referencia, ver Apéndices 2 y 3.

Num. de referencia	Especie	Num. de referencia	Especie
2	<i>Ariocarpus agavoides</i> *	52	<i>M. nana</i>
3	<i>A. kotschoubeyanus</i>	53	<i>M. orcuttii</i>
4	<i>A. retusus</i>	55	<i>M. pilispina</i>
6	<i>Astrophytum myriostigma</i>	56	<i>M. plumosa</i> *
8	<i>Aztekium hintonii</i> *	57	<i>M. roseoalba</i> *
9	<i>A. ritterii</i> *	58	<i>M. schiedeana</i>
12	<i>Coryphantha glanduligera</i>	60	<i>M. surculosa</i> *
13	<i>C. maiz-tablasensis</i> *	61	<i>M. weingartiana</i> *
16	<i>C. pulleineana</i> *	63	<i>Mammilloidya candida</i>
17	<i>C. wohlschlagerei</i> *	64	<i>Obregonia denegrii</i> *
18	<i>Cumarinia odorata</i> *	65	<i>Pelecyphora aselliiformis</i>
21	<i>Echinocereus knippelianus</i> *	66	<i>P. strobiliformis</i> *
24	<i>E. reichenbachii</i>	72	<i>Thelocactus rinconensis</i>
26	<i>Escobaria missouriensis</i> *	73	<i>T. tulensis</i> *
27	<i>Geohintonia mexicana</i> *	75	<i>Turbinicarpus beguinii</i>
29	<i>Leuchtenbergia principis</i>	76	<i>T. booleanus</i> *
31	<i>Mammillaria albicoma</i> *	77	<i>T. gielsdorfianus</i> *
33	<i>M. aurihamata</i>	79	<i>T. laui</i> *
34	<i>M. baumii</i> *	81	<i>T. pseudopectinatus</i> *
35	<i>M. bocasana</i>	82	<i>T. saueri</i> *
36	<i>M. carmenae</i> *	83	<i>T. schmiedickeanus</i>
38	<i>M. decipiens</i>	84	<i>T. subterraneus</i> *
40	<i>M. erythrosperma</i>	85	<i>T. valdezianus</i> *
45	<i>M. klissingiana</i>	86	<i>T. viereckii</i> *
46	<i>M. laui</i> *	87	<i>T. zaragozae</i> *
50	<i>M. melaleuca</i> *		

Con asterisco se indica a las especies endémicas a esta área.

En la parte central de la provincia se distribuye la mayor cantidad de especies (51), de las cuales 31 restringen su distribución a esa área abarcando gran parte del estado de San Luis Potosí, el suroeste de Tamaulipas, la parte centro-sur de Nuevo León y las zonas limítrofes tanto del noreste de Zacatecas como del sureste de Coahuila (Figs. 11, 17, 18, 22, 25, 26, 27, 30, 35, 36, 40, 43, 45, 55, 59, 65, 66, 69, 70, 73, 75, 82, 85, 86, 88, 90, 91, 93, 94, 95, 96 y Cuadro 2).

Hacia el norte de la provincia se distribuyen 19 especies en un área que abarca casi a la totalidad del estado de Coahuila y las zonas limítrofes de los estados de Durango, Nuevo León y Zacatecas. Ocho especies se restringen en su distribución a esta zona de la SMO (Figs. 9, 14, 23, 31, 32, 34, 46, 50, y Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies presentes en el norte de la SMO. Para el num. de referencia, ver Apéndices 2 y 3.

Num. de referencia	Especie	Num. de referencia	Especie
0	<i>Acharagma roseana</i> *	24	<i>E. reichenbachii</i>
3	<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	25	<i>Escobaria laredoi</i> *
4	<i>A. retusus</i>	29	<i>Leuchtenbergia principis</i>
5	<i>Astrophytum capricorne</i> *	37	<i>Mammillaria coahuilensis</i> *
6	<i>A. myriostigma</i>	41	<i>M. grusonii</i> *
11	<i>Coryphantha durangensis</i>	47	<i>M. lenta</i>
14	<i>C. nickelsiae</i> *	59	<i>M. stella-de-tacubaya</i>
15	<i>C. poselgeriana</i>	72	<i>Thelocactus rinconensis</i>
22	<i>Echinocereus longisetus</i> *	75	<i>Turbinicarpus beguinii</i>
23	<i>E. nivosus</i> *		

Con asterisco se indica a las especies endémicas a esta área.

Existen dos zonas de transición dentro de la SMO, una de ellas une a la parte meridional con el centro de la provincia. Esta zona se caracteriza debido a que 10 especies tienen su área de distribución tanto en la parte sur como en la parte central; cuatro de estas especies son endémicas a la SMO (Figs. 12, 67, 72, 92 y Cuadro 4).

Cuadro 4. Especies presentes en el sur y centro de la SMO. Para el num. de referencia, ver Apéndices 2 y 3.

Num. de referencia	Especie	Num. de referencia	Especie
3	<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	52	<i>M. nana</i>
35	<i>Mammillaria bocasana</i>	53	<i>M. orcuttii</i>
38	<i>M. decipiens</i>	58	<i>M. schiedeana</i> *
40	<i>M. erythrosperma</i>	63	<i>Mammilloidya candida</i> *
45	<i>M. klissingiana</i>	83	<i>Turbinicarpus schmiedickeanus</i> *

Con asterisco se indica a las especies endémicas a estas áreas.

La segunda zona de transición se halla en el norte de la provincia, uniendo a la parte central con la septentrional. Siete especies se distribuyen en ambas zonas y seis de estas son endémicas a la SMO (Figs. 12, 15, 33, 38, 81, 84 y Cuadro 5).

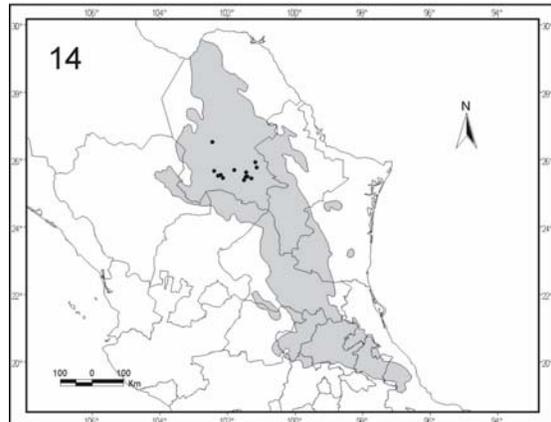
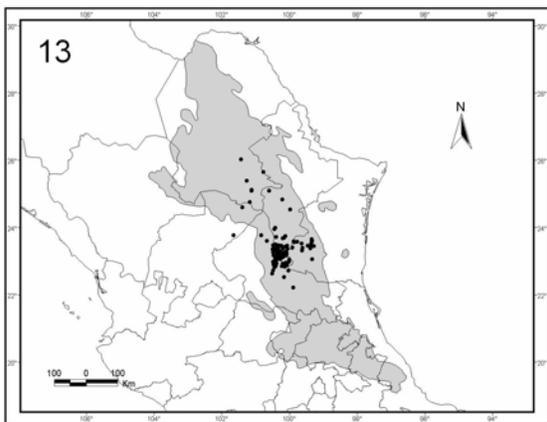
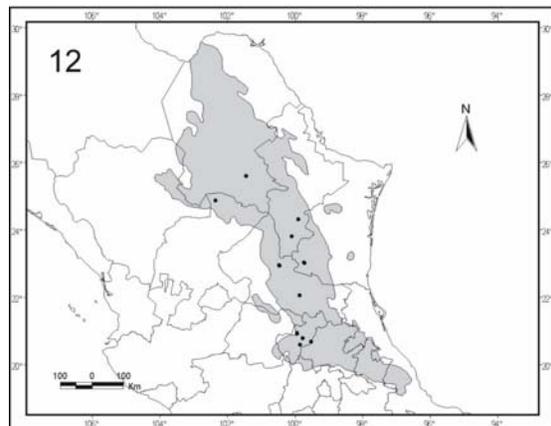
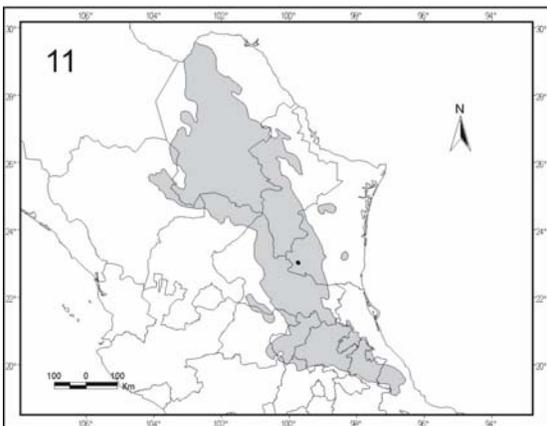
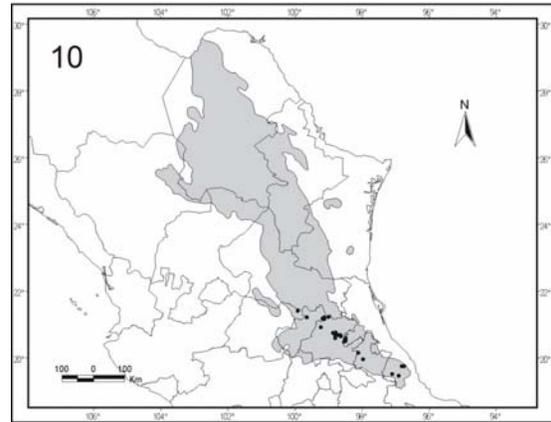
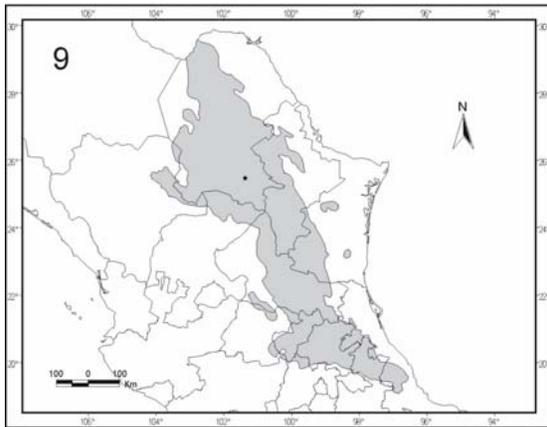
Cuadro 5. Especies presentes en el centro y norte de la SMO. Para el num. de referencia, ver Apéndices 2 y 3.

Num. de referencia	Especie	Num de referencia	Especie
3	<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i>	29	<i>Leuchtenbergia principis</i> *
4	<i>A. retusus</i>	72	<i>Thelocactus rinconensis</i> *
6	<i>Astrophytum myriostigma</i> *	75	<i>Turbinicarpus beguinii</i> *
24	<i>Echinocereus reichenbachii</i> *		

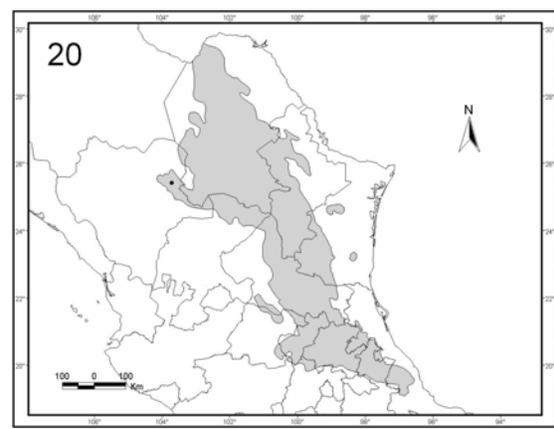
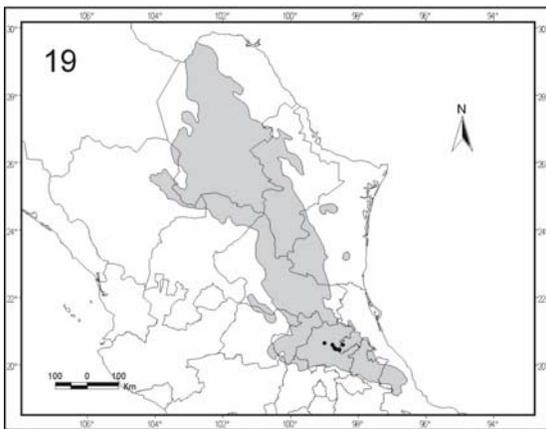
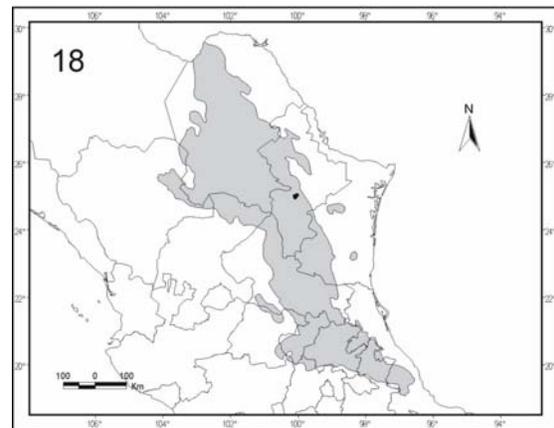
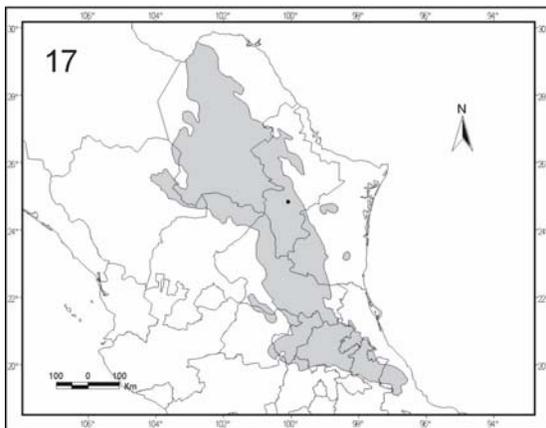
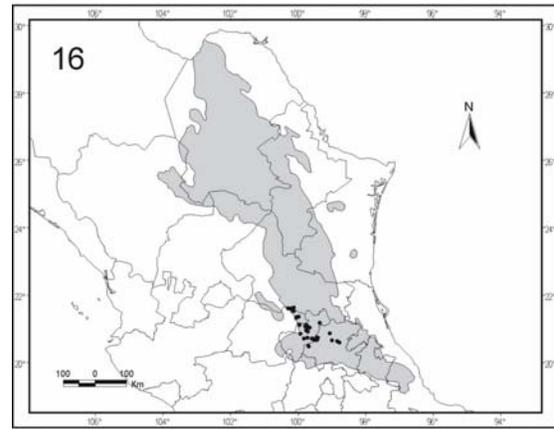
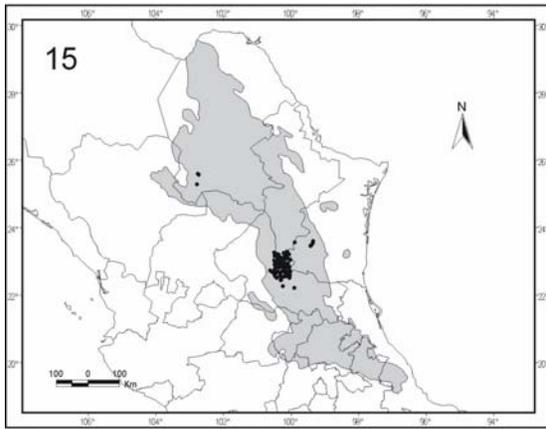
Con asterisco se indica a las especies endémicas a estas áreas.

*Ariocarpus kotschoubeyanus* (Fig. 12), es la única especie de amplia distribución en toda la SMO. Se encuentra desde Cadereyta, Querétaro hasta las inmediaciones de la Sierra de la Paila, Coahuila, de una manera discontinua.

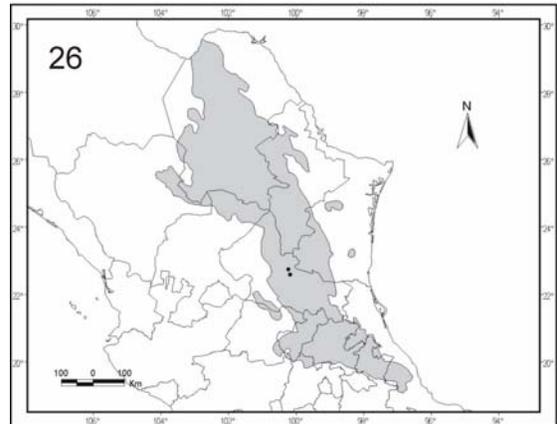
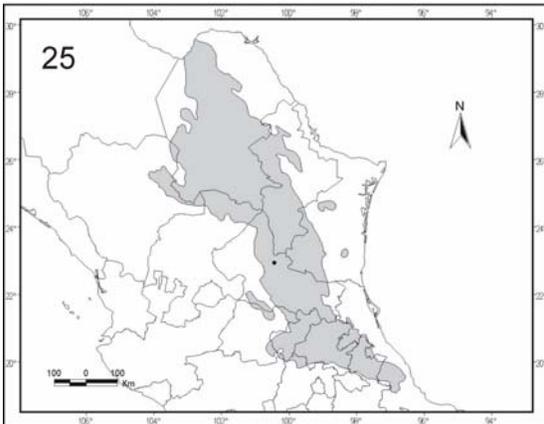
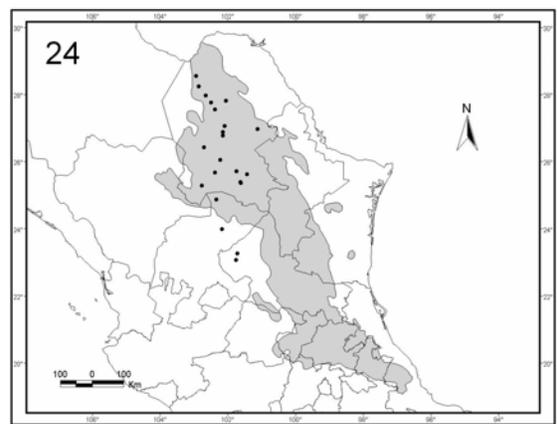
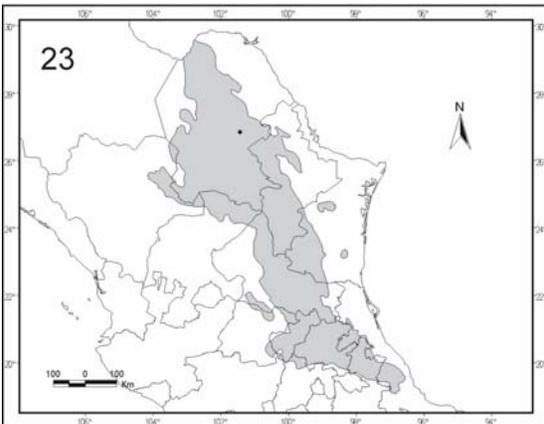
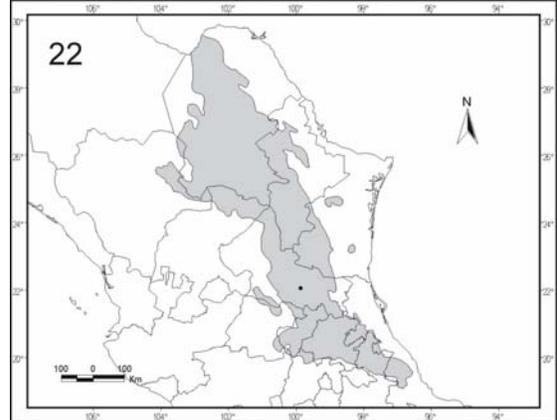
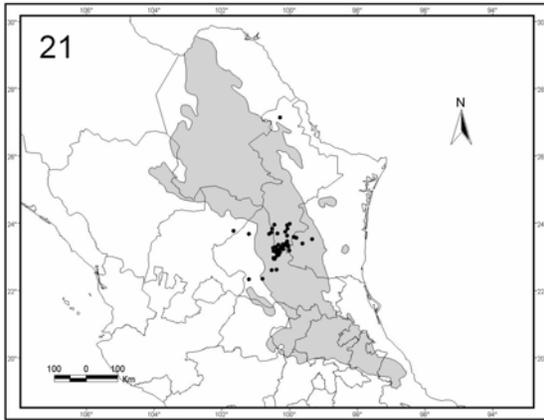
Los 1223 registros considerados en este estudio se encuentran distribuidos en 66 de los 139 cuadros de la gradilla de 0.5° x 0.5° (Fig. 4) y en 25 de los 46 cuadros de la gradilla de 1° x 1° (Fig. 5) que conforman la SMO. El valor promedio de distribución empleando la gradilla de 0.5° x 0.5° es tres cuadros, la mediana dos cuadros y la moda un cuadro (31 especies), siendo *Ariocarpus retusus* la especie que se registró en el mayor número de cuadros (17). Para el caso de la gradilla de 1° x 1°, tanto el valor promedio de distribución como la mediana es de dos cuadros, mientras que la moda es un cuadro (43 especies); *Ariocarpus retusus* nuevamente es la especie que se registró en el mayor número de cuadros (10). En los Apéndices 2 y 3 se enlista a las especies empleadas en este trabajo con los registros totales y las localidades únicas de cada especie además del número de cuadros donde fue registrada cada una tanto en la gradilla de 0.5° x 0.5° como en la de 1° x 1°.



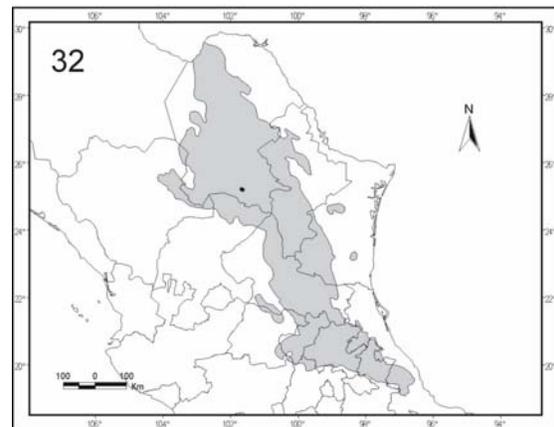
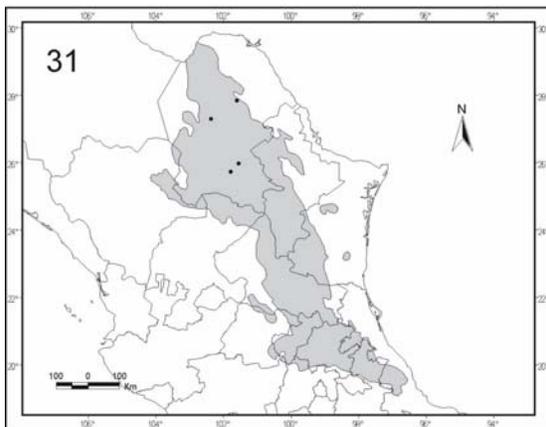
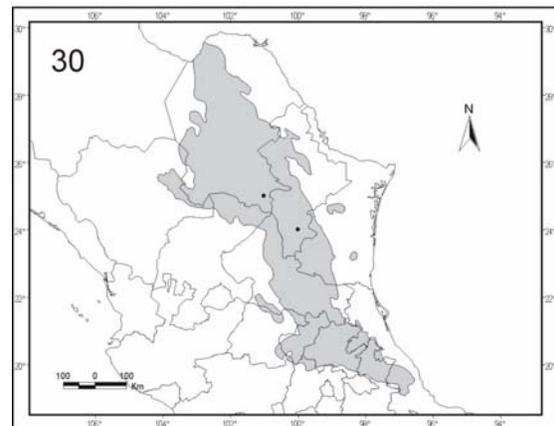
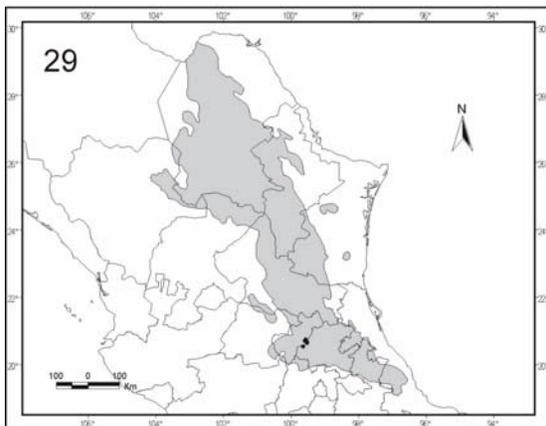
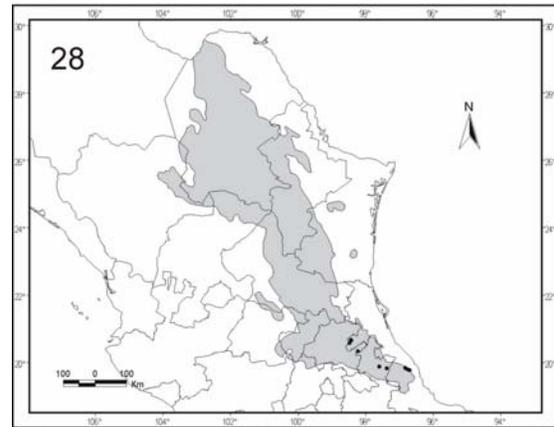
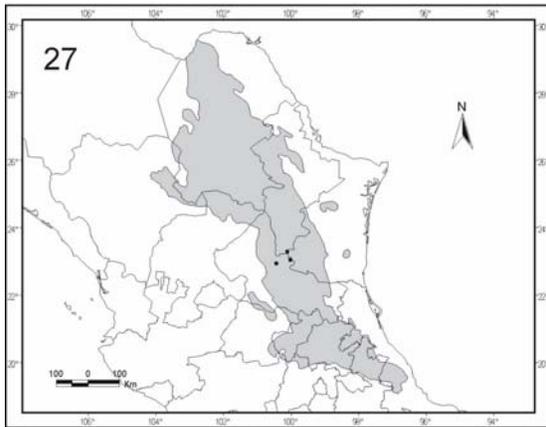
Figuras 9-14. Distribución conocida de: 9. *Acharagma roseana*, 10. *Aporocactus flagelliformis*, 11. *Ariocarpus agavoides*, 12. *A. kotschoubeyanus*, 13. *A. retusus* y 14. *Astrophytum capricorne*.



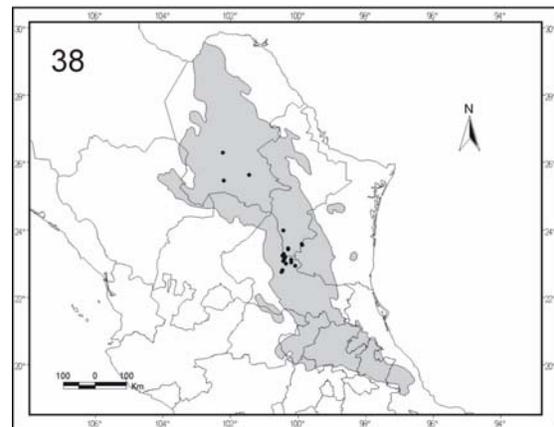
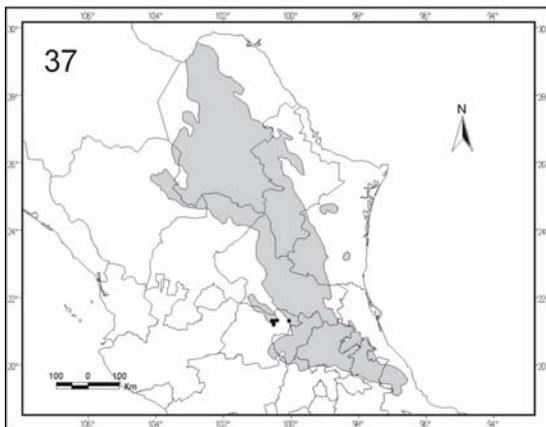
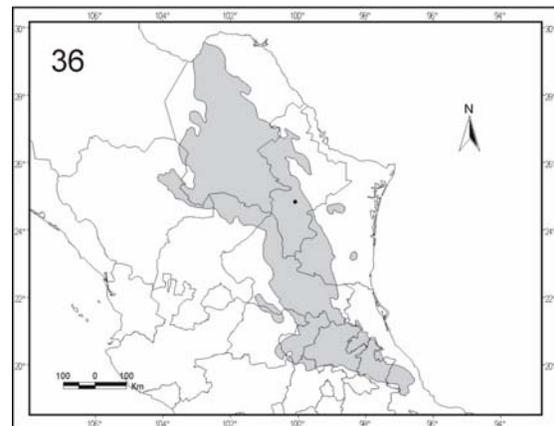
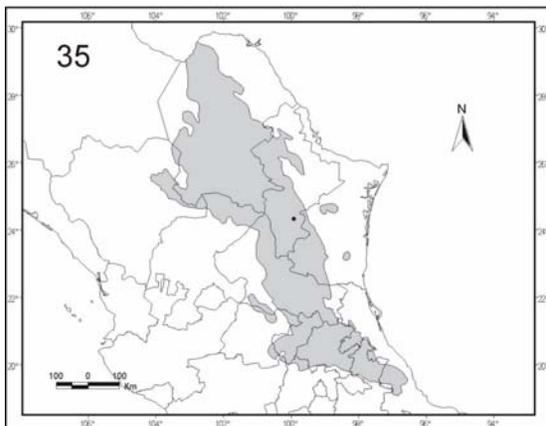
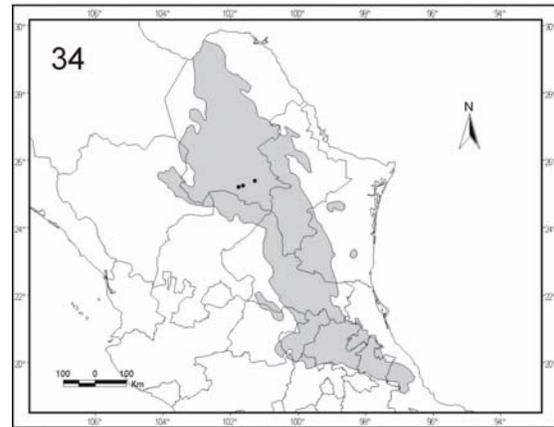
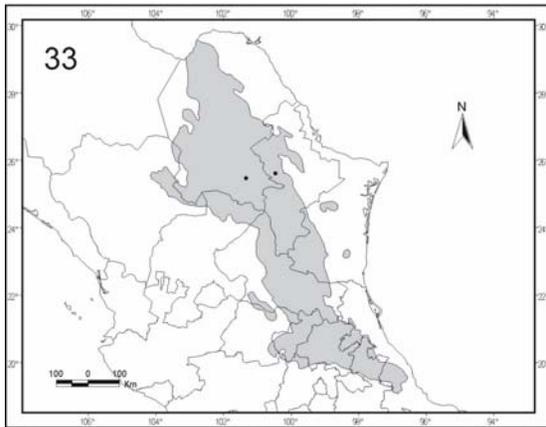
Figuras 15-20. Distribución conocida de: 15. *Astrophytum myriostigma*, 16. *A. ornatum*, 17. *Aztekium hintonii*, 18. *A. ritterii*, 19. *Cephalocereus senilis* y 20. *Coryphantha durangensis*.



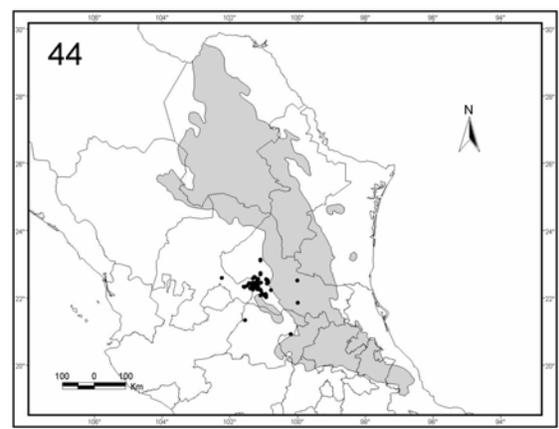
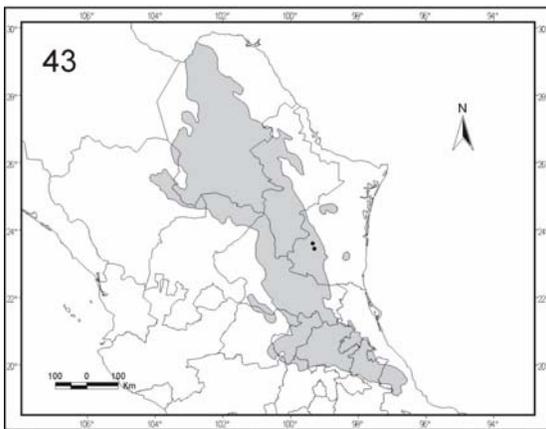
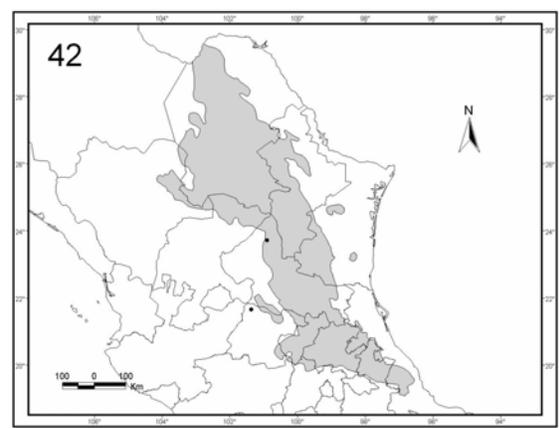
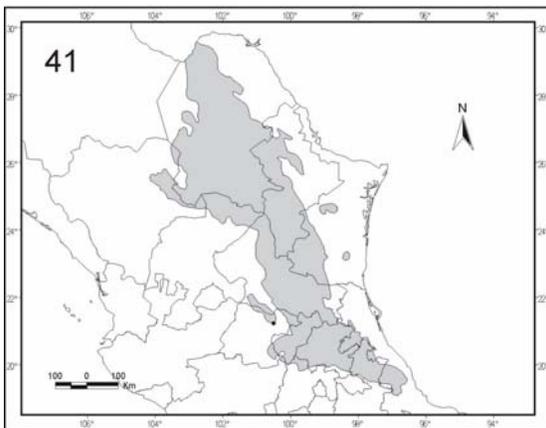
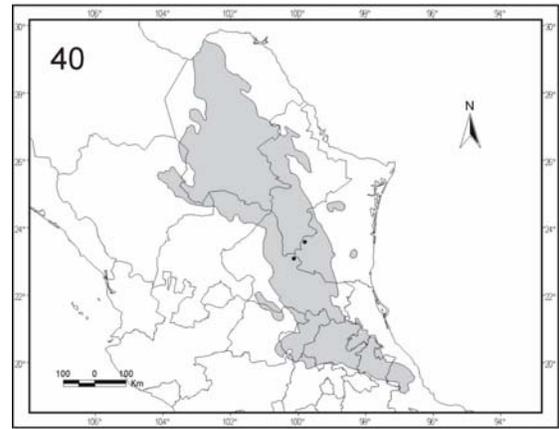
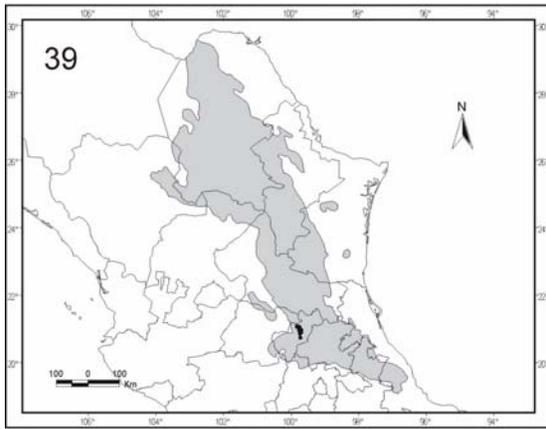
Figuras 21-26. Distribución conocida de: 21. *Coryphantha glanduligera*, 22. *C. maiz-tablasensis*, 23. *C. nickelsae*, 24. *C. poselgeriana*, 25. *C. pulleineana* y 26. *C. wohlschlagerei*.



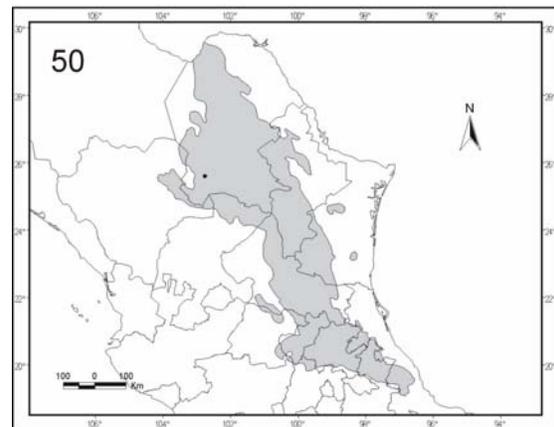
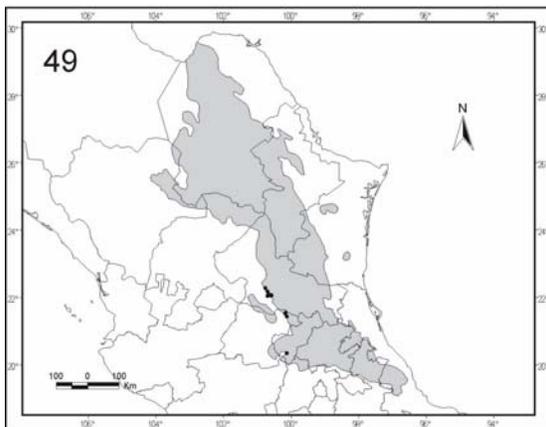
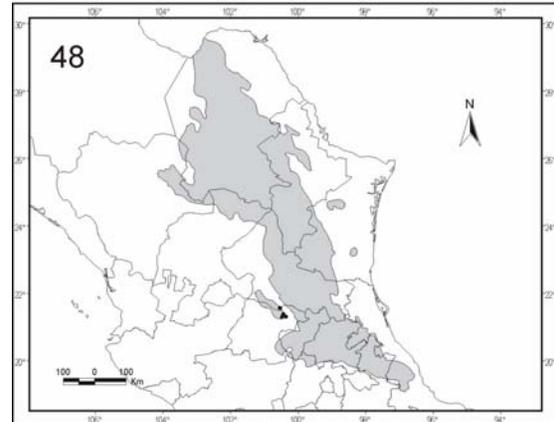
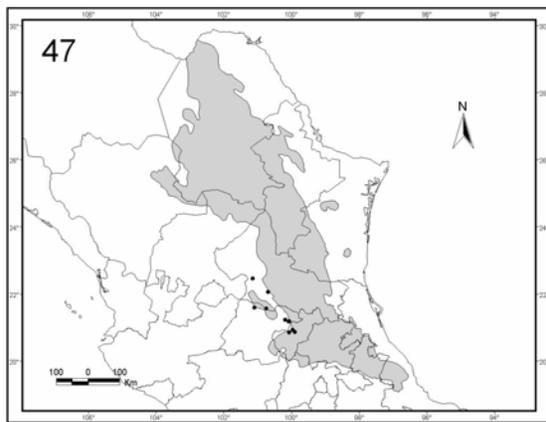
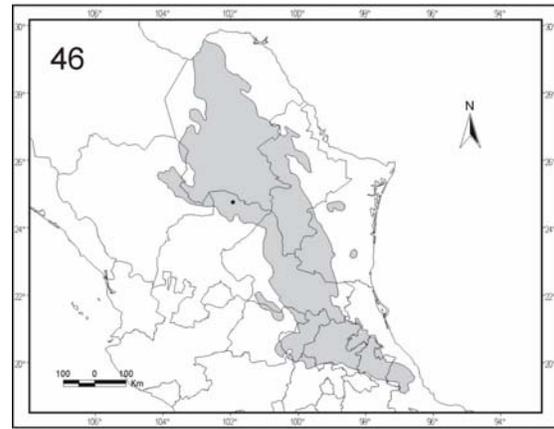
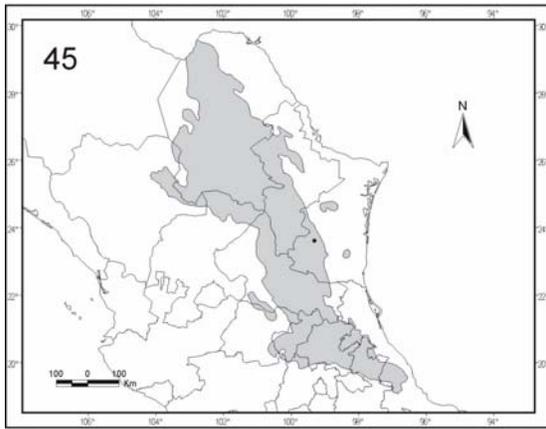
Figuras 27-32. Distribución conocida de: 27. *Cumarinia odorata*, 28. *Disocactus phyllanthoides*, 29. *Echinocactus grusonii*, 30. *Echinocereus knippelianus*, 31. *E. longisetus* y 32. *E. nivosus*.



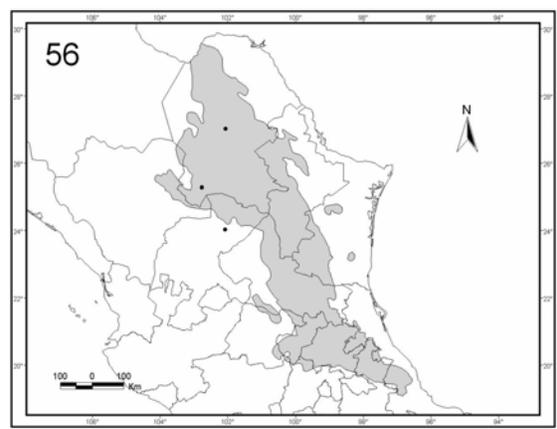
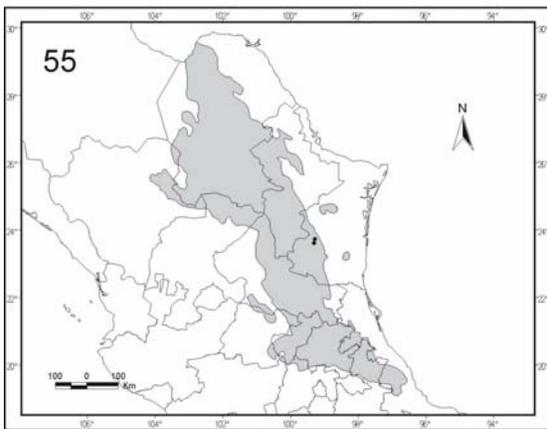
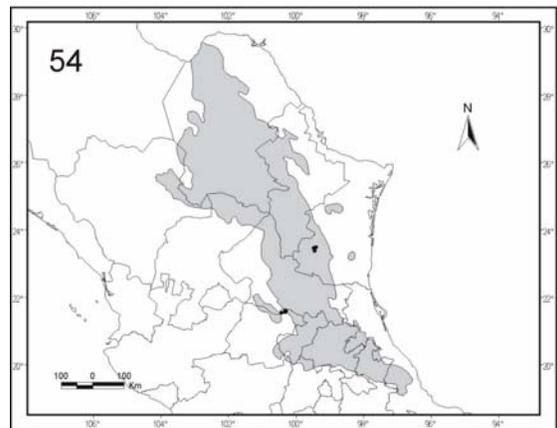
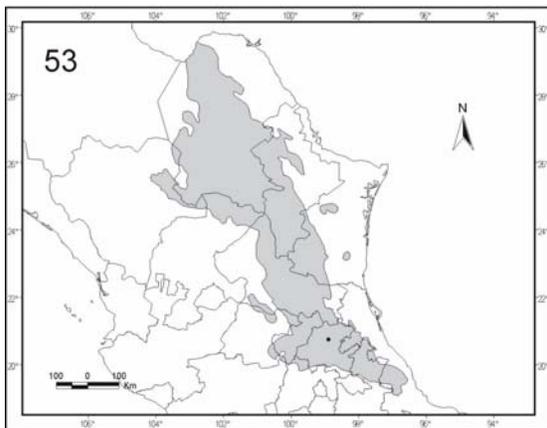
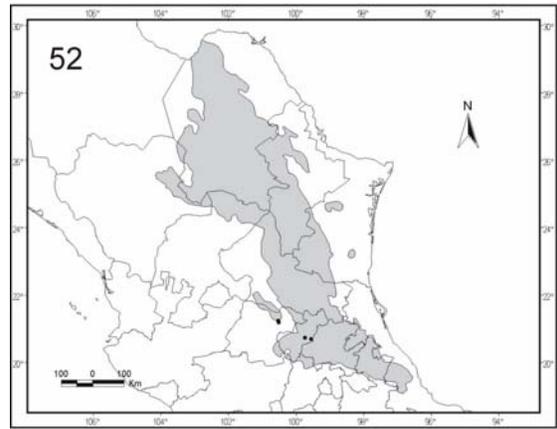
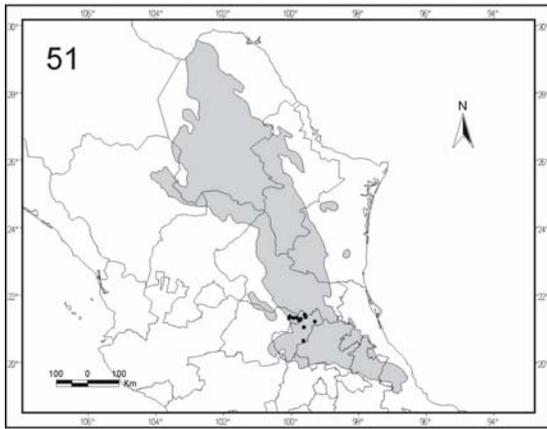
Figuras 33-38. Distribución conocida de: 33. *Echinocereus reichenbachii*, 34. *Escobaria laredoi*, 35. *E. missouriensis*, 36. *Geohintonia mexicana*, 37. *Glandulicactus crassihamathus* y 38. *Leuchtenbergia principis*.



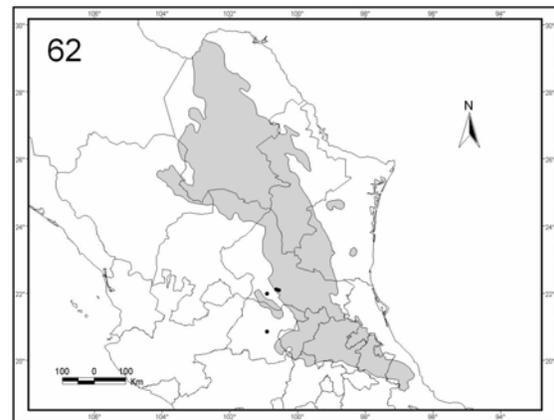
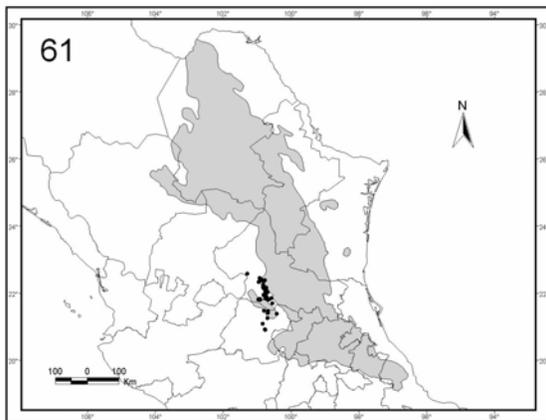
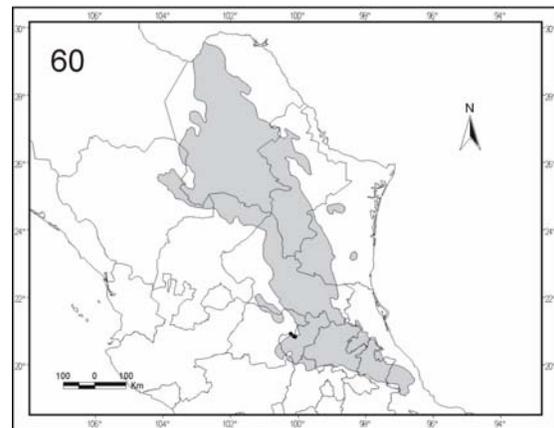
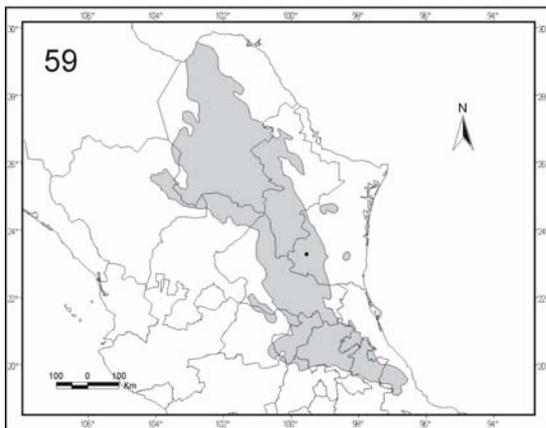
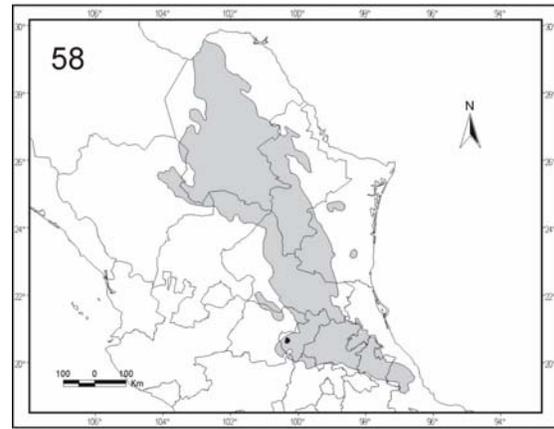
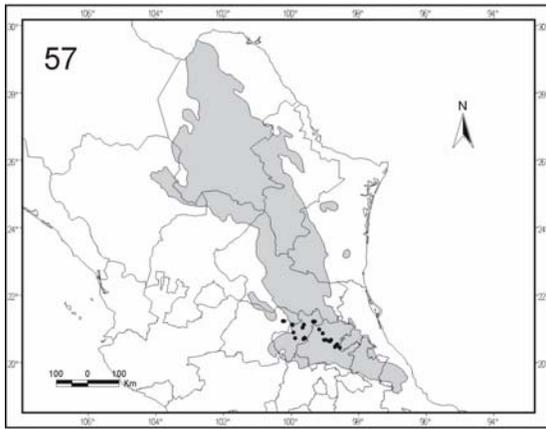
Figuras 39-44. Distribución conocida de: 39. *Lophophora diffusa*, 40. *Mammillaria albicoma*, 41. *M. albiflora*, 42. *M. aurihamata*, 43. *M. baumii* y 44. *M. bocasana*.



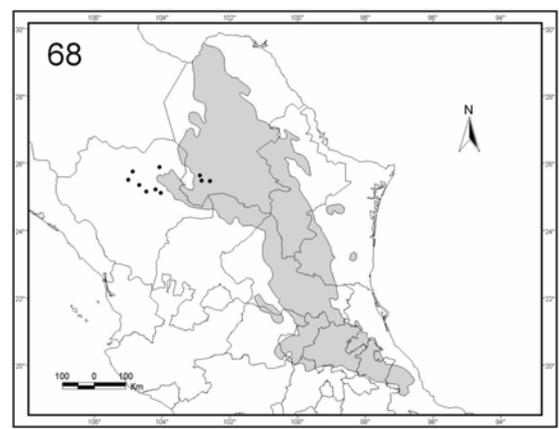
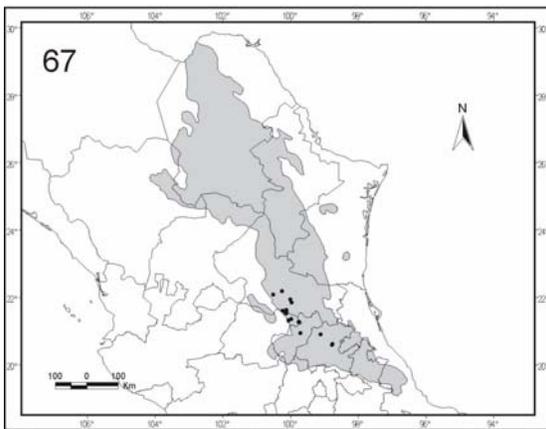
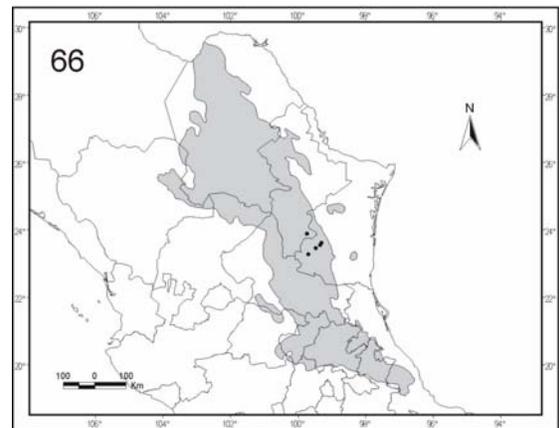
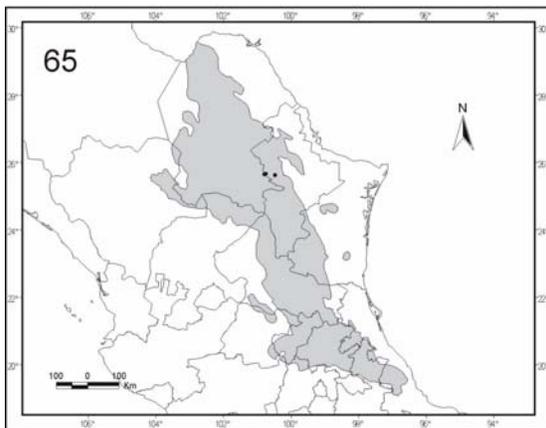
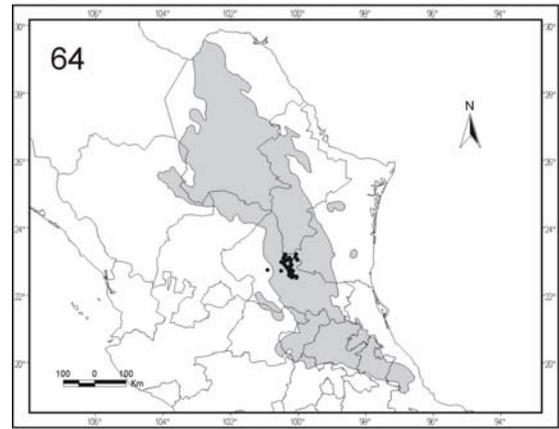
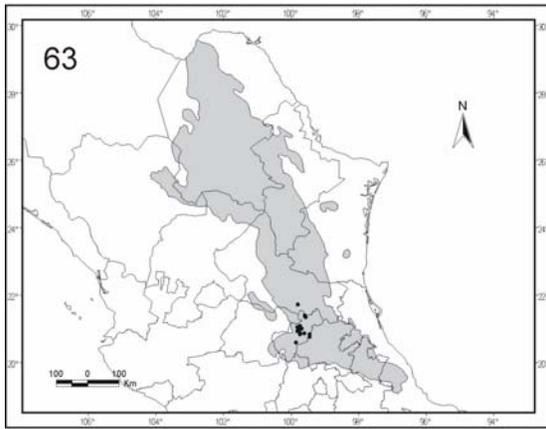
Figuras 45-50. Distribución conocida de: 45. *Mammillaria carmenae*, 46. *M. coahuilensis*, 47. *M. decipiens*, 48. *M. duwei*, 49. *M. erythroperma* y 50. *M. grusonii*.



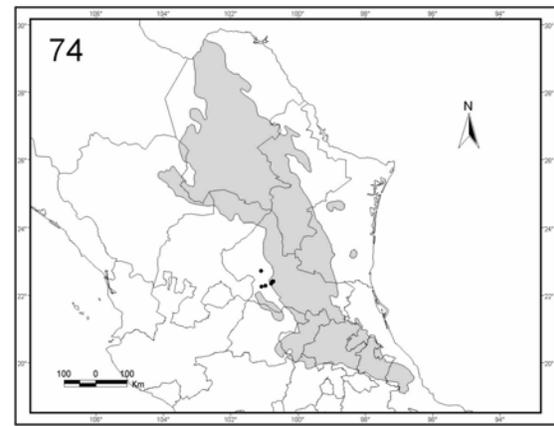
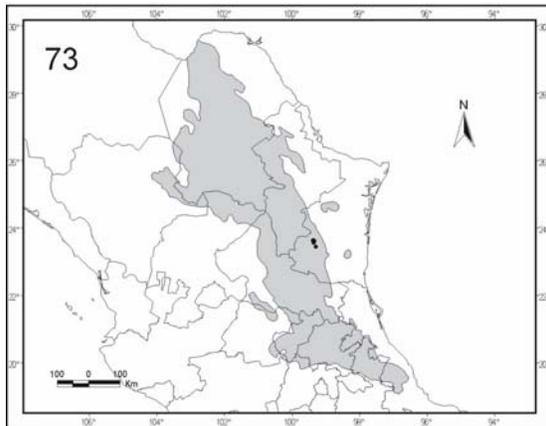
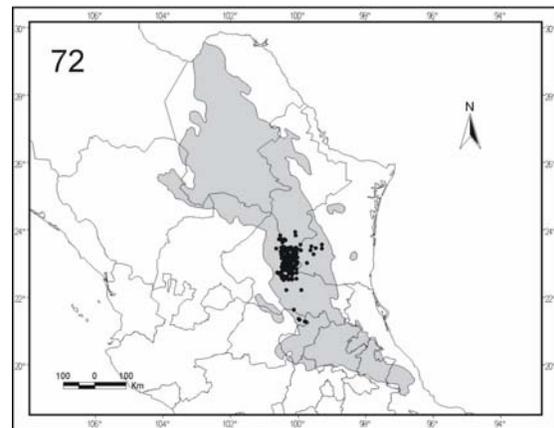
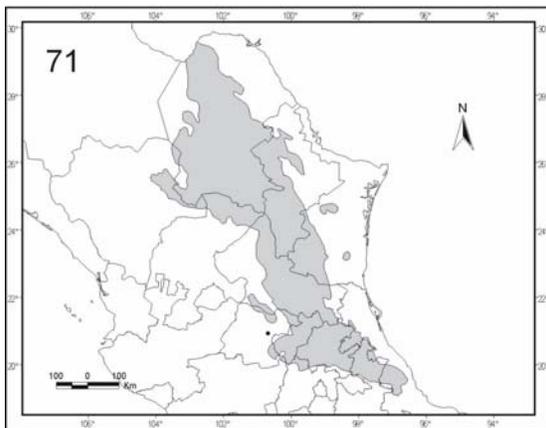
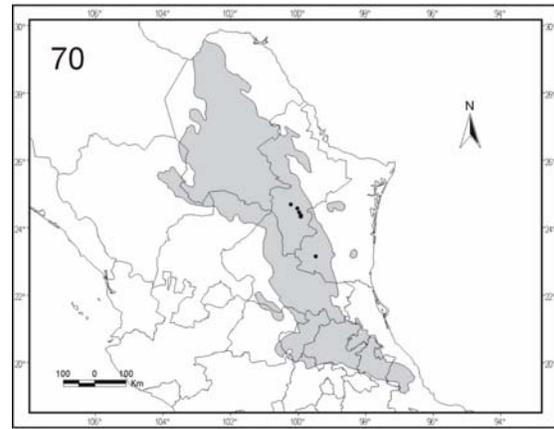
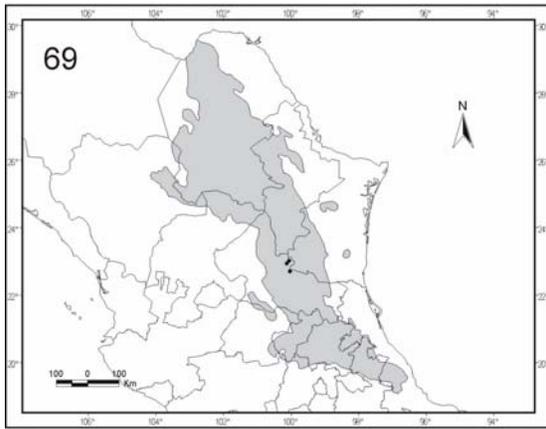
Figuras 51-56. Distribución conocida de: 51. *Mammillaria hahniana*, 52. *M. herrerae*, 53. *M. humboldtii*, 54. *M. klissingiana*, 55. *M. laui* y 56. *M. lenta*.



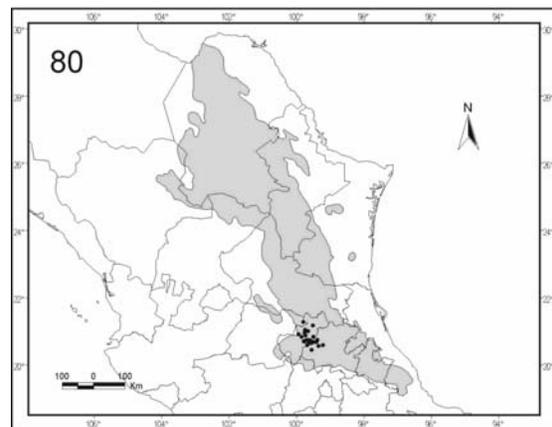
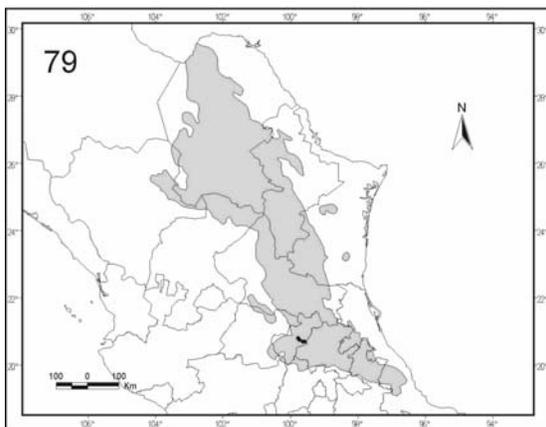
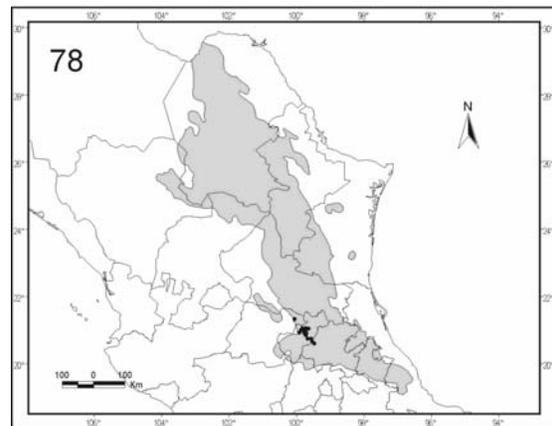
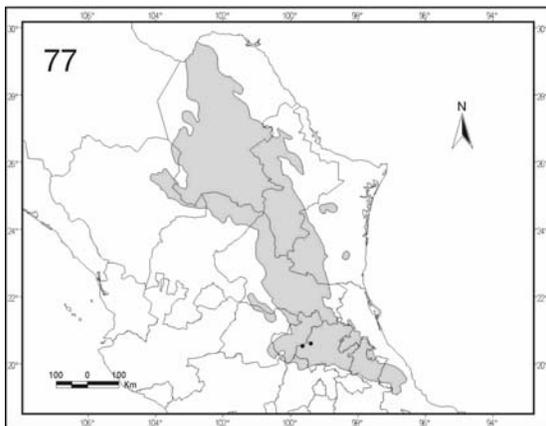
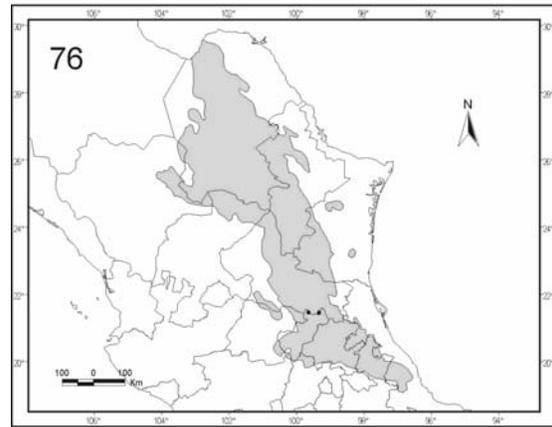
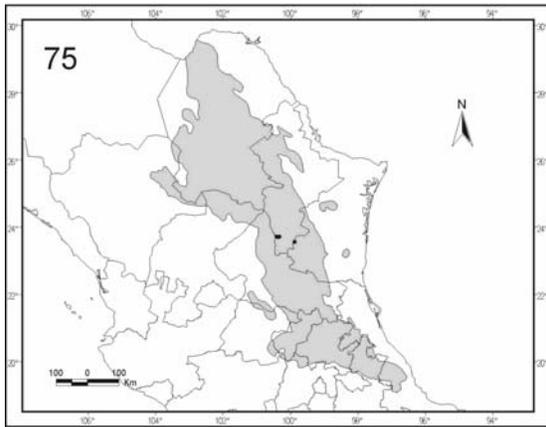
Figuras 57-62. Distribución conocida de: 57. *Mammillaria longimamma*, 58. *M. mathildae*, 59. *M. melaleuca*, 60. *M. microhelix*, 61. *M. nana* y 62. *M. orcutii*.



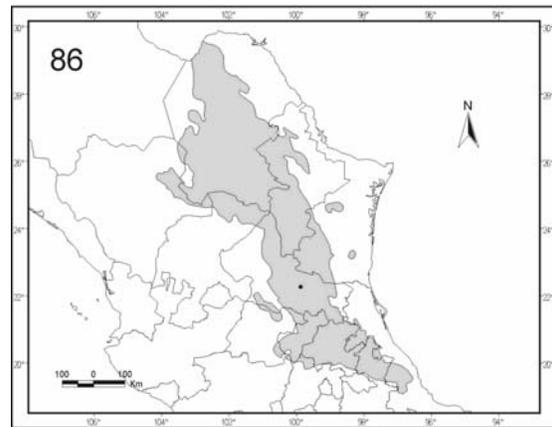
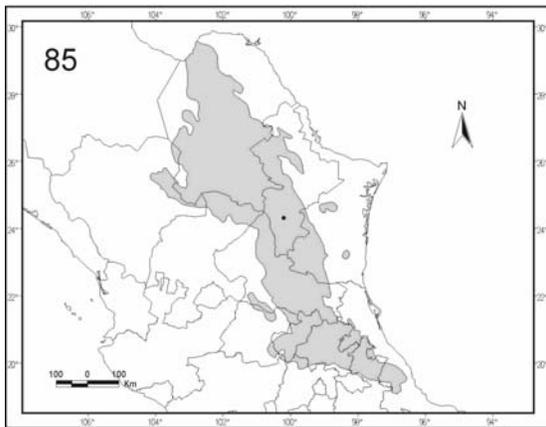
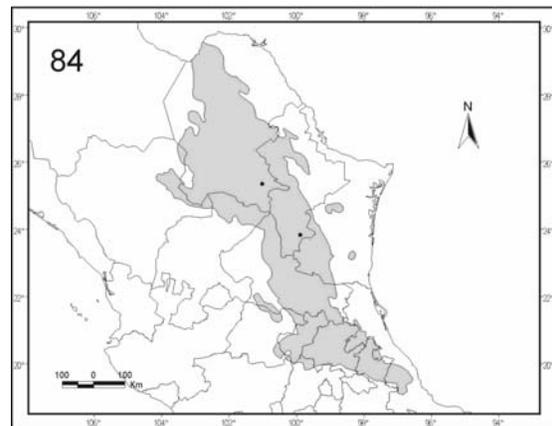
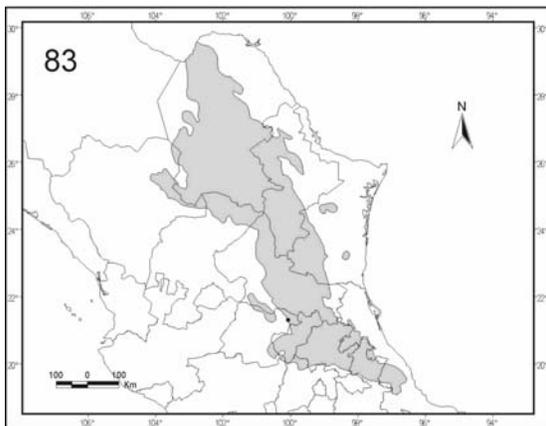
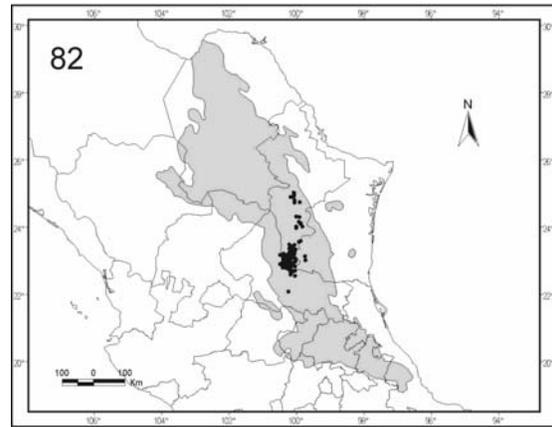
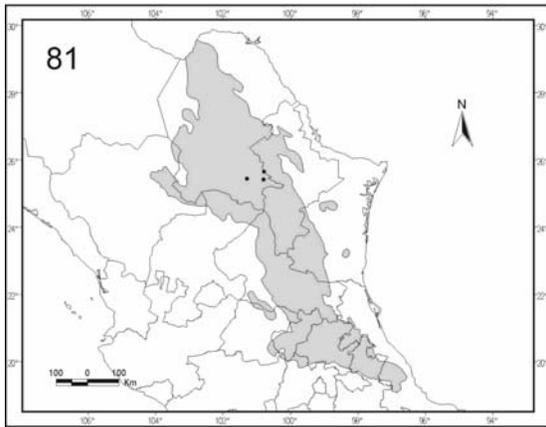
Figuras 63-68. Distribución conocida de: 63. *Mammillaria parkinsonii*, 64. *M. pilispina*, 65. *M. plumosa*, 66. *M. roseoalba*, 67. *M. schiedeana* y 68. *M. stella-de-tacubaya*.



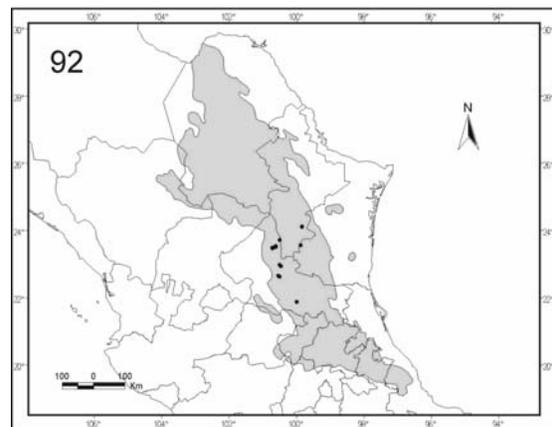
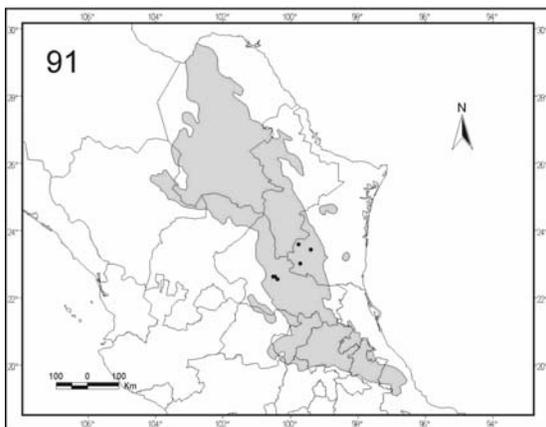
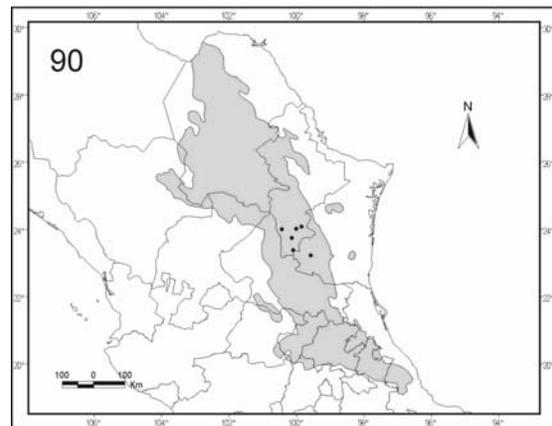
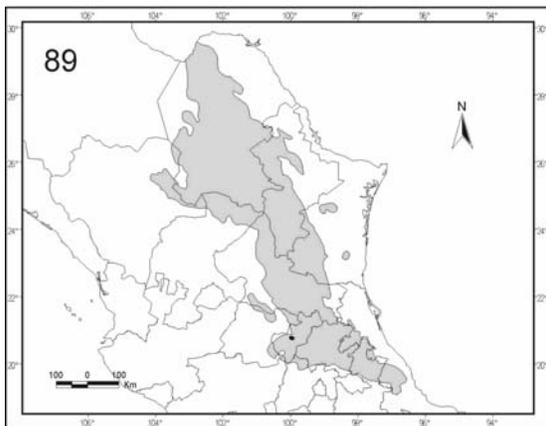
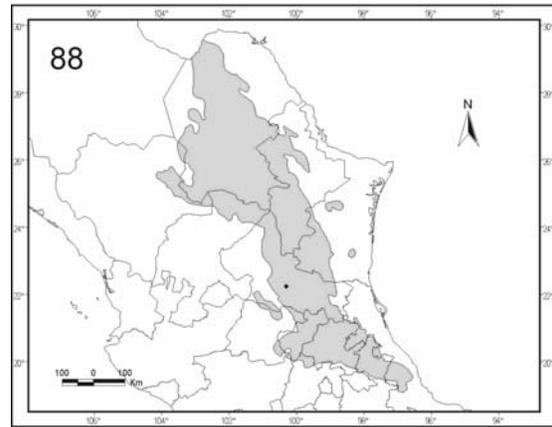
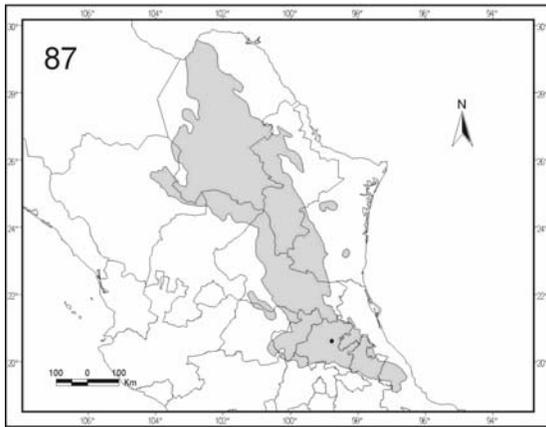
Figuras 69-74. Distribución conocida de: 69. *Mammillaria surculosa*, 70. *M. weingartiana*, 71. *M. zeilmanniana*, 72. *Mammilloidya candida*, 73. *Obregonia denegrii* y 74. *Pelecypora aselliformis*.



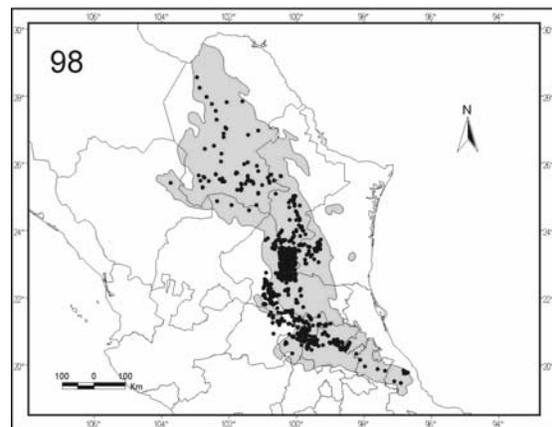
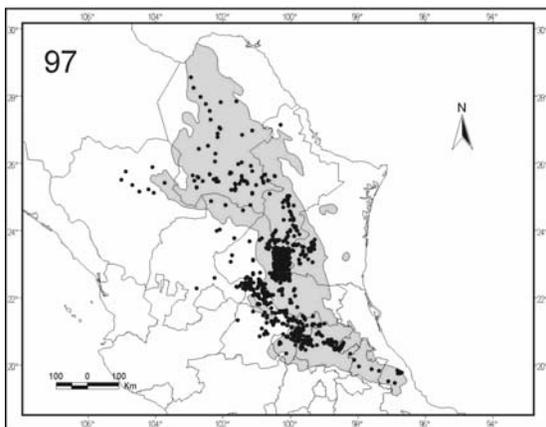
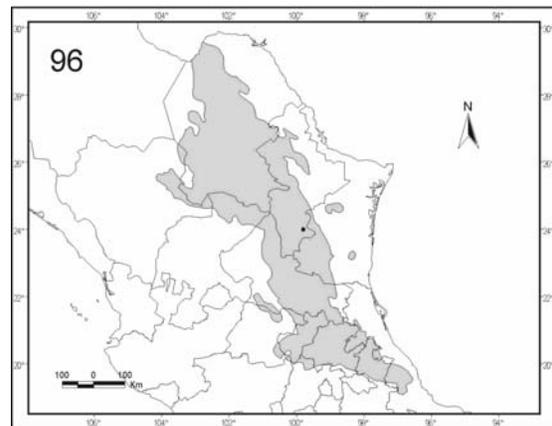
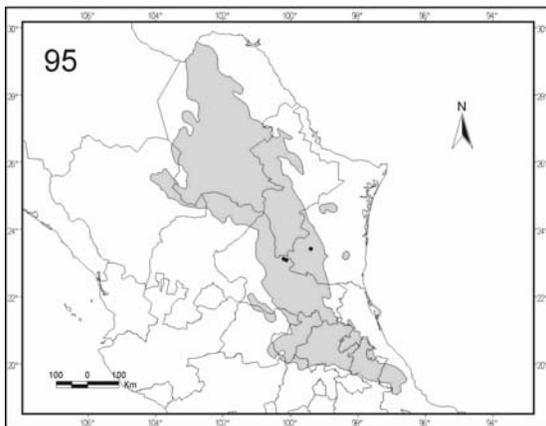
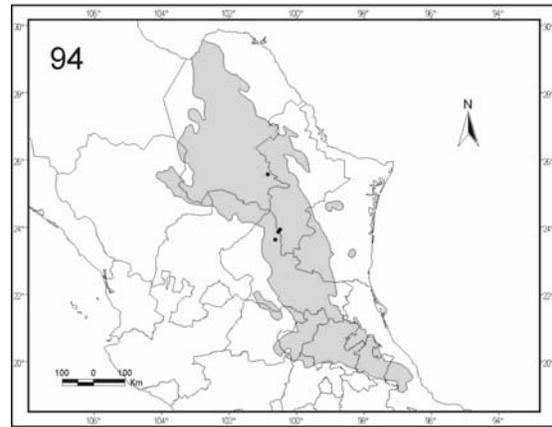
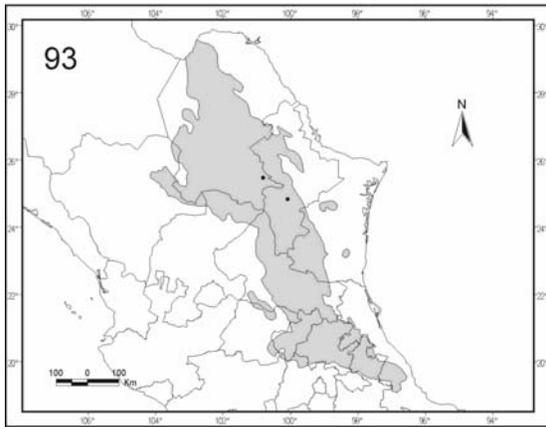
Figuras 75-80. Distribución conocida de: 75. *Pelecyphora strobiliformis*, 76. *Pilosocereus cometes*, 77. *Stenocactus sulphureus*, 78. *Strombocactus disciformis*, 79. *Thelocactus hastifer* y 80. *T. leucacanthus*.



Figuras 81-86. Distribución conocida de: 81. *Thelocactus rinconensis*, 82. *T. tulensis*, 83. *Turbinicarpus alonsoi*, 84. *T. beguinii*, 85. *T. booleanus* y 86. *T. gielsdorfianus*.



Figuras 87-92. Distribución conocida de: 87. *Turbinicarpus horripilus*, 88. *T. laui*, 89. *T. pseudomacrochele*, 90. *T. pseudopectinatus*, 91. *T. saueri* y 92. *T. schmiedickeanus*.



Figuras 93-98. Distribución conocida de: 93. *Turbinicarpus subterraneus*, 94. *T. valdezius*, 95. *T. viereckii*, 96. *T. zaragozae*, 97. Localidades totales obtenidas de las 88 especies, 98. Localidades consideradas en el estudio.

## ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS

### Cuadros de 0.5° x 0.5°

El análisis de la matriz de datos para los cuadros de la gradilla de 0.5° x 0.5° (Fig. 4), produjo 4309 árboles igualmente parsimoniosos con una longitud = 137 pasos, IC = 41 e IR = 59. A partir de estos cladogramas se obtuvo el árbol de consenso estricto, el cual presenta una longitud = 233 pasos, IC = 24 e IR = 11 (Fig. 99). Dicha matriz (Apéndice 4) se compone de 66 cuadros (filas) y de 88 especies (columnas).

El cladograma de consenso estricto (Fig. 99) muestra nueve ramas (nombradas con las letras a-i) que pueden considerarse como áreas de endemismo. El árbol presenta una politomía de 54 ramas (cuadros no relacionados), 15 de estos cuadros se caracterizan por tener cada uno al menos una especie endémica; tales cuadros son: Monclova, Cerro Bola, El Cinco, El Vergel, Sandía, La Ascensión, Matehuala, Miquihuana, Tula, San Luis Potosí, Cd. del Maíz, Xichú, San Miguel de Allende, El Zamorano y Cadereyta. Además, cinco son considerados como áreas de endemismo: Tula (c), que se caracteriza por que *Ariocarpus agavoides* y *Mammillaria melaleuca* restringen su distribución a esa región; Cd. del Maíz (e), región caracterizada por *Coryphantha maiz-tablasensis* y *Turbincarpus gielsdorfianus*; Xichú (f), por la presencia de *Mammillaria albiflora* y *Turbincarpus alonsoi*; El Zamorano (g), en donde *Mammillaria mathildae* y *M. microhelix* restringen su distribución; finalmente Cadereyta (h), que se caracteriza por la presencia de *Echinocactus grusonii*, *Thelocactus hastifer* y *Turbincarpus pseudomacrolele* (Fig. 100).

Por otro lado, el árbol presenta seis clados de dos cuadros cada uno, de los cuales sólo dos se consideran como áreas de endemismo (Fig. 99): uno de ellos agrupa a los cuadros Cd. Victoria y Jaumave (b) que se caracterizan por compartir a *Mammillaria baumii* y *Obregonia denegrii*. Cabe destacar que en el cuadro Cd. Victoria también restringen su distribución tanto *Mammillaria carmenae* como *M. laui*.

La segunda área agrupa a los cuadros Mier y Noriega y Guadalcázar (d) que se caracteriza por *Cumarinia odorata* y *Mammillaria surculosa*, además de que en Guadalcázar se distribuyen exclusivamente *Coryphantha pulleineana* y *C. wohlschlagerei*. De entre los cuatro clados restantes, dos de los cuadros que los componen conforman áreas de endemismo: Metztitlán (i) que se caracteriza por las especies *Mammillaria humboldtii* y *Turbincarpus horripilus* y Galeana (a), debido a que tanto *Aztekium hintonii* como *Geohintonia mexicana* restringen su distribución a dicha área (Fig. 100).

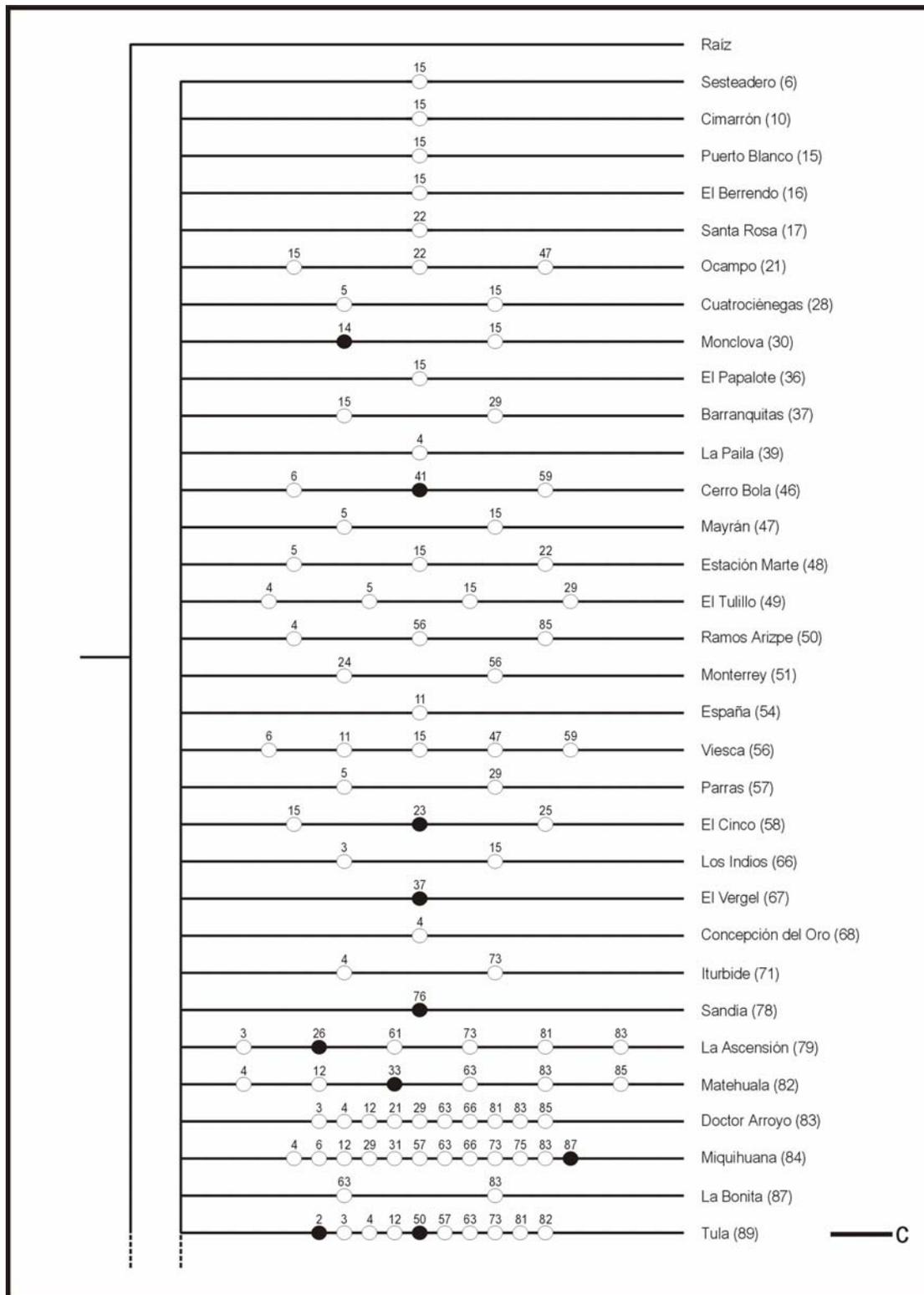


Figura 99. Cladograma de consenso estricto obtenido para la gradilla de 0.5° x 0.5°. Long = 233, CI = 24, RI = 11. Los círculos rellenos simbolizan a las especies endémicas que respaldan a cada una de las áreas; para los números de las especies cotejar con los Apéndices 2 y 3. El número entre paréntesis después de cada nombre indica el cuadro de la gradilla (Fig. 4).

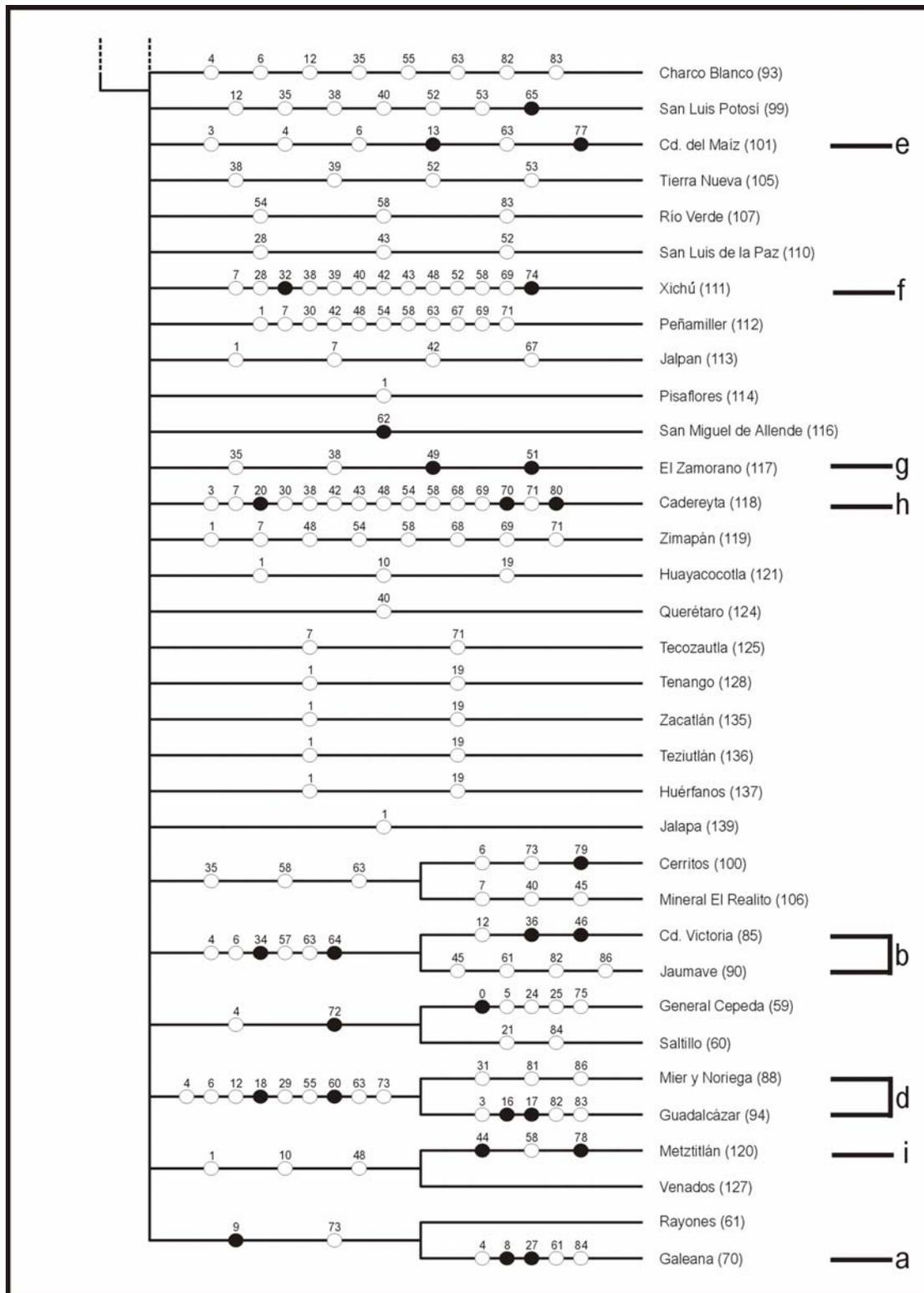


Figura 99 (continuación). Cladograma de consenso estricto obtenido para la gradilla de 0.5° x 0.5°. Long =233, CI = 24, RI = 11. Los círculos rellenos simbolizan a las especies endémicas que respaldan a cada una de las áreas; para los números de las especies cotejar con los Apéndices 2 y 3. El número entre paréntesis después de cada nombre indica el cuadro de la gradilla (Fig. 4).

Finalmente, de las nueve áreas de endemismo propuestas, Mier y Noriega-Guadalcázar es el área con mayor riqueza de especies con 17, Cadereyta a pesar de ser un área de sólo un cuadro le sigue en riqueza con 15 y el área Cd. Victoria-Jaumave y el cuadro Xichú son igualmente ricas con 13 especies cada una. La riqueza del resto de los cuadros puede verse en el Cuadro 6.

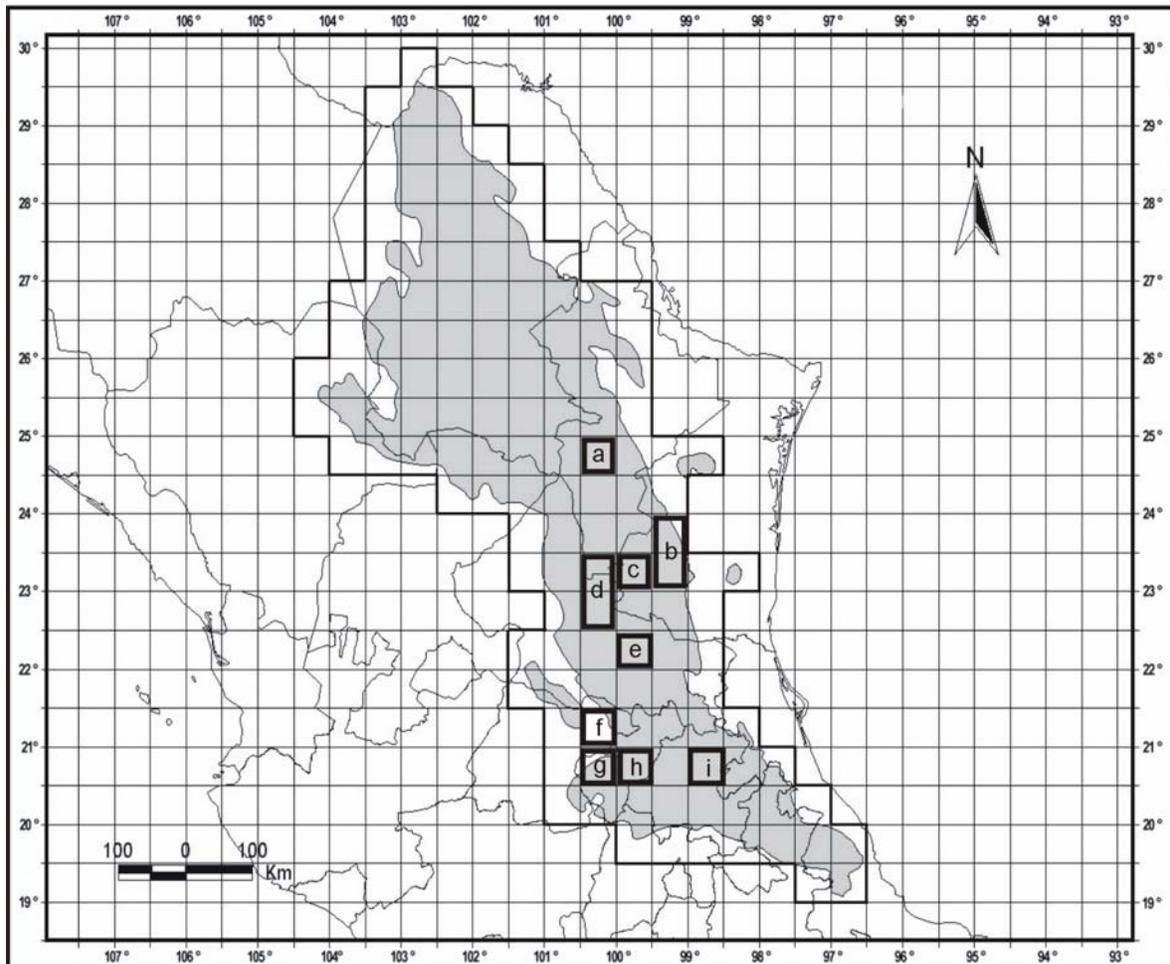


Figura 100. Áreas de endemismo propuestas empleando la gradilla de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ . a. Galeana (cuadro 70); b. Cd. Victoria-Jaumave (cuadros 85 y 90); c. Tula (cuadro 89); d. Mier y Noriega-Guadalcázar (cuadros 88 y 94); e. Cd. del Maíz (cuadro 101); f. Xichú (cuadro 111); g. El Zamorano (cuadro 117); h. Cadereyta (cuadro 118); i. Metztitlán (cuadro 120).

## Cuadros de 1° x 1°

Con respecto al análisis de la matriz de datos para los cuadros de la gradilla de 1° de latitud x 1° de longitud (Fig. 4), este produjo 171 árboles igualmente parsimoniosos con una longitud = 86 pasos, IC = 52 e IR = 60. A partir de estos cladogramas, se obtuvo el árbol de consenso estricto, el cual presenta una longitud = 92 pasos, IC = 48 e IR = 55 (Fig. 101). La matriz (Apéndice 4) constó de 25 cuadros que representan a las áreas (filas) y de 88 especies (columnas). Se detectaron ocho áreas de endemismo (nombradas con las letras a-h), las cuales se describen a continuación.

El cladograma de consenso (Fig. 101) muestra una politomía, la cual incluye ocho cuadros no agrupados, de los cuales cuatro tienen al menos una especie restringida a esa región, los cuadros son: La Paila, Torreón, Concepción del Oro y Querétaro (h) siendo este último el único de estos cuadros que es un área de endemismo dado que se caracteriza por que *Mammillaria mathildae*, *M. microhelix* y *M. zeilmanniana* restringen su distribución a ese lugar.

Por otro lado, el árbol presenta tres grandes clados respaldados únicamente por una especie que restringe su distribución a cada una de estas grandes áreas (Figs. 101 y 102). Estos clados agrupan a los 17 cuadros restantes en tres grandes regiones ya mencionadas en el apartado de distribución de especies. Uno de estos se encuentra en el norte de la SMO y está compuesto por Cuatrociénegas, Parras y General Cepeda, los cuales se caracterizan por tener en común a *Astrophytum capricorne*. Hacia el centro de la SMO se encuentra el segundo clado que agrupa a siete cuadrantes: Saltillo, Galeana, La Ascensión, Cd. del Maíz, Guadalcázar, Mier y Noriega y Cd. Victoria, caracterizado por la presencia de *Thelocactus tulensis* (nótese que en Cd. del Maíz esta especie se presenta como una reversión). El tercer clado se ubica hacia el sur de la SMO donde quedan agrupados los cuadros Pisaflores, Teziutlán, Jalapa, Metztitlán, Xichú, Jalpan y Zimapán. *Aporocactus flagelliformis* restringe su distribución a esta región, con la excepción de Xichú (donde se muestra como una reversión).

En el clado del norte se encuentran dos áreas de endemismo: Parras (a), caracterizada por la presencia de dos especies: *Mammillaria grusonii* y *M. stella-de-tacubaya* y General Cepeda (b), donde se distribuyen *Acharagma roseana*, *Echinocereus nivosus* y *Escobaria laredoi* (Figs. 101 y 102).

El clado que agrupa a los cuadros distribuidos hacia el centro de la SMO, se divide a su vez en dos clados donde uno de ellos conforma al área de endemismo: Saltillo-

Galeana (c), la cual se caracteriza por la presencia de *Aztekium ritterii* y *Turbinicarpus subterraneus*; Saltillo, cuenta con la presencia exclusiva de *Mammillaria plumosa* y en Galeana restringen su distribución *Aztekium hintonii*, *Geohintonia mexicana* y *Turbinicarpus booleanus*. En el segundo clado se encuentran tres áreas de endemismo: la primera es Cd. del Maíz (f) y se caracteriza por la presencia de *Coryphantha maiztablasensis* y *Turbinicarpus gielsdorfianus*; la segunda área es Guadalcázar (e) donde *Coryphantha pulleinea*, *C. wohlschlagerei*, *Pelecypora aselliformis* y *Turbinicarpus laui* restringen su distribución; la tercer área de endemismo está conformada por los cuadros Mier y Noriega y Cd. Victoria (d), respaldada por la presencia de *Mammillaria albicoma*, *Pelecypora strobiliformis* y *Turbinicarpus viereckii*. Además, en Mier y Noriega, *Mammillaria aurihamata* restringe su distribución y en Cd. Victoria se distribuyen de manera exclusiva *Ariocarpus agavoides*, *Mammillaria baumii*, *M. carmenae*, *M. laui*, *M. melaleuca*, *M. roseoalba*, *Obregonia denegrii* y *Turbinicarpus zaragozae*, siendo el cuadro que más especies exclusivas tiene (Figs. 101 y 102).

En el último clado, donde quedaron agrupados los cuadros que se distribuyen en el sur de la SMO excepto Querétaro, se presenta un área de endemismo conformada por los cuadros Xichú, Jalpan, Zimapán y Metztitlán (g) respaldada por la presencia de *Astrophytum ornatum* y *Mammillaria longimamma*. En esta área de endemismo ocurren especies con distribución restringida a uno o algunos de los cuadros. En este sentido, en el cuadro Metztitlán se distribuyen de manera exclusiva *Cephalocereus senilis*, *Mammillaria humboldtii* y *Turbinicarpus horripilus*, en los cuadros Xichú, Jalpan y Zimapán se encuentran *Mammillaria hahniana* y *Strombocactus disciformis*, mientras que *Lophophora diffusa*, *Mammillaria parkinsonii* y *Thelocactus leucacanthus* son especies exclusivas de Jalpan y Zimapán. A su vez, *Glandulicactus crassihamathus*, *Mammillaria albiflora*, *M. duwei* y *Turbinicarpus alonsoi* son especies endémicas del cuadro Xichú; *Pilosocereus cometes* de Jalpan y *Echinocactus grusonii*, *Stenocactus sulphureus* y *Turbinicarpus pseudomacrochele* son exclusivas del cuadro Zimapán (Figs. 101 y 102).

Con respecto a la riqueza de especies, de las ocho áreas de endemismo propuestas, Metztitlán-Xichú-Jalpan-Zimapán es el área con mayor riqueza de especies (32), además de que también es el área más extensa. Las áreas de endemismo Saltillo-Galeana y Mier y Noriega-Cd. Victoria se componen del mismo número de cuadros, pero la segunda es dos veces más rica ya que en esa área se encuentran 30 especies, mientras que en la primera sólo se distribuyen 13.

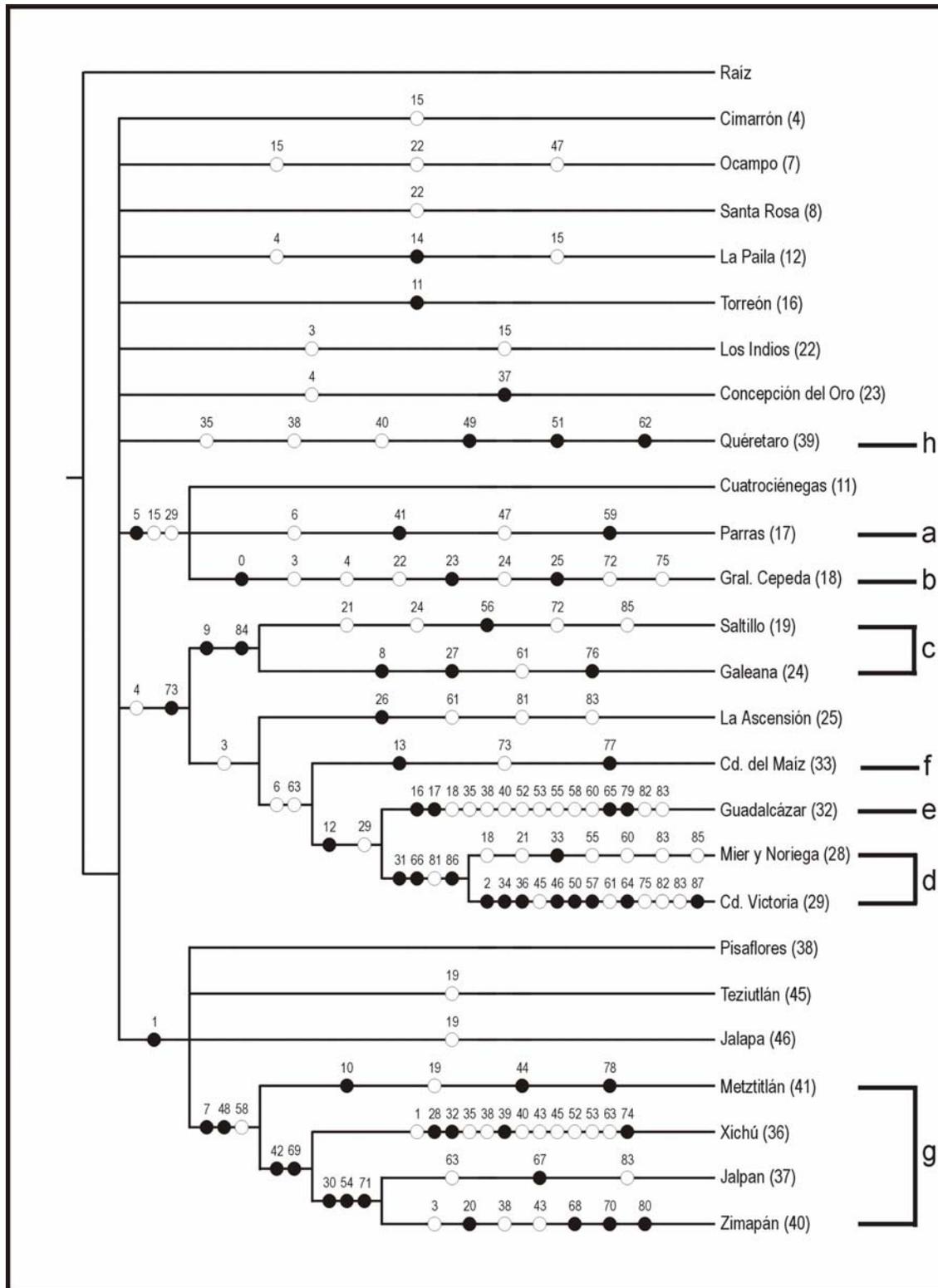


Figura 101. Cladograma de consenso estricto obtenido para la gradilla de 1° x 1°. Long =92, CI = 48, RI = 55. Los círculos rellenos simbolizan a las especies endémicas que respaldan a cada una de las áreas; para los números de las especies cotejar con los Apéndices 2 y 3. El número entre paréntesis después de cada nombre indica el cuadro de la gradilla (Fig. 4).

Considerando a los cuadros individualmente, los resultados muestran que Cd. Victoria es el área más rica con 24 especies, seguida de Guadalcázar con 22 y Mier y Noriega con 18. En el Cuadro 9 se presenta la riqueza de la totalidad de los cuadros.

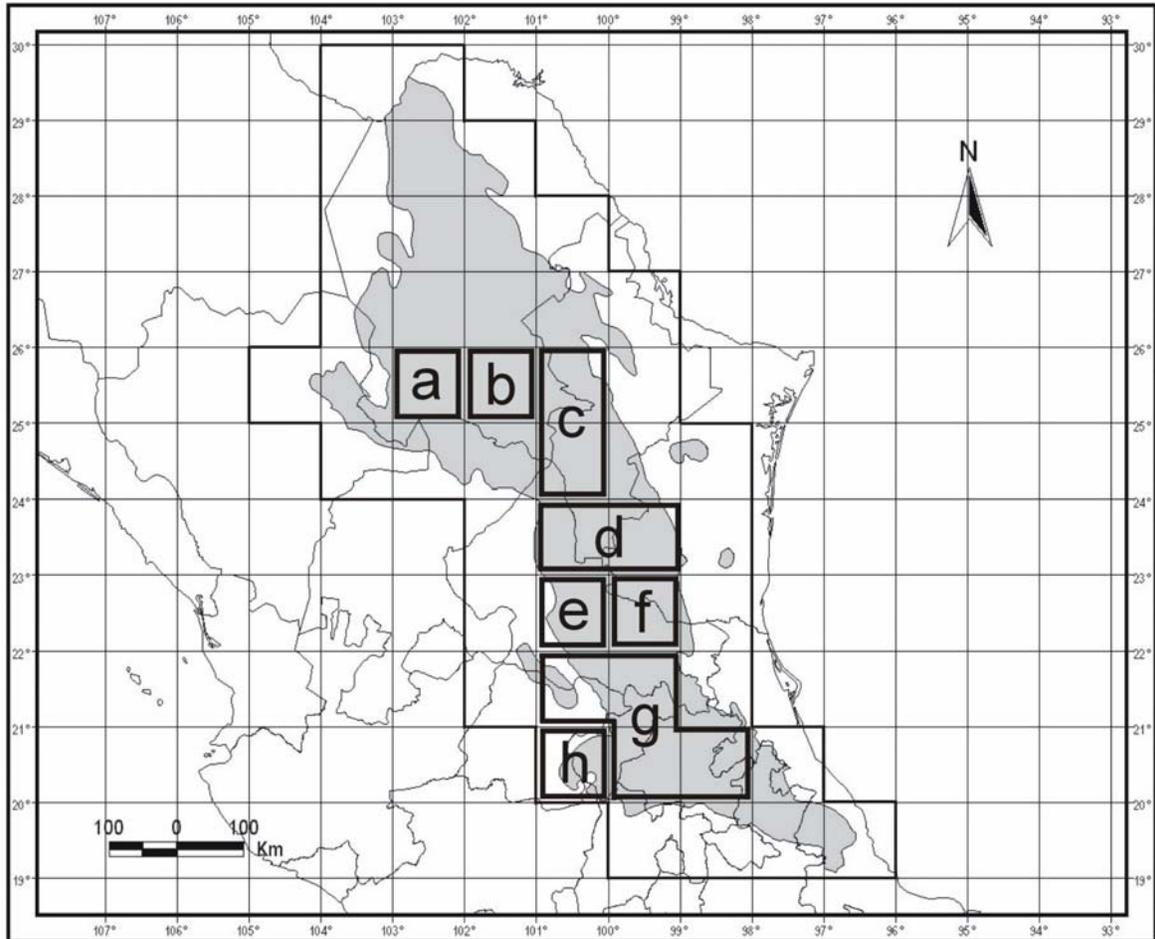


Figura 102. Áreas de endemismo propuestas empleando la gradilla de 1° x 1°. a. Parras (cuadro 17); b. General Cepeda (cuadro 18); c. Saltillo-Galeana (cuadros 19 y 24); d. Mier y Noriega-Cd. Victoria (cuadros 28 y 29); e. Guadalcázar (cuadro 32); f. Cd. del Maíz (cuadro 33); g. Xichú-Jalpan-Zimapán-Metzitlán (cuadros 36, 37, 40 y 41); h. Querétaro (cuadro 39).

## ÍNDICES DE ENDEMISMO

### Cuadros de 0.5° x 0.5°

#### *Riqueza de especies*

La riqueza de especies se concentra en dos grandes áreas, tres áreas de menor riqueza adyacentes a éstas y dos áreas pequeñas hacia el norte de la SMO (Fig. 103). Estas áreas se describen a continuación (para relacionar los cuadros con sus nombres ver Fig. 99 y el Cuadro 6).

El área central de la SMO comprende siete cuadros y es la más extensa. Se compone por el cuadro Guadalcázar que es el más rico en especies de este grupo con 14, seguido por Miquihuana y Mier y Noriega, ambos con 12 especies, Tula, Doctor Arroyo y Jaumave con 10 especies cada uno y finalmente Cd. Victoria el cual tiene nueve especies. En esta región existen 32 de las 88 especies analizadas y de estas 11 son propias de la región.

En el área sur de la SMO quedan comprendidos los cuadros Cadereyta (que es el de mayor riqueza del estudio) con 15 especies, Xichú con 13 y Peñamiller con 11. En esta área se encuentran distribuidas 24 especies de las 88 analizadas y cinco de ellas restringen su distribución a esa región.

El área sureste de la SMO está conformada por los cuadros Zimapán y Metztlán donde se encuentran 11 especies, de las cuales dos son exclusivas del segundo cuadro. Sin embargo, esta región podría considerarse como una continuación del área anterior, ya que no existen cuadros entre las dos áreas con baja riqueza de especies. De considerarse estas dos regiones como una sola, el número de especies existentes se incrementaría a 27 y las especies que restringirían su distribución a esa zona serían siete.

El área oeste de la SMO está compuesta por los cuadros San Luis Potosí y Charco Blanco y en ella se distribuyen 13 especies de las cuales sólo una es exclusiva de esa área.

En el cuadro Galeana se encuentran siete especies y dos de ellas son propias de ese cuadro y en General Cepeda se registraron siete especies, de las cuales una es exclusiva.

Una última área ubicada hacia el suroeste de Coahuila es Viesca donde sólo existen cinco especies de las cuales ninguna es endémica a ese cuadro. Cuatro de estas especies no son consideradas en este trabajo como propias de la SMO debido a que el rango de distribución de éstas se extiende hacia el Desierto Chihuahuense (e. g. *Coryphantha durangensis*, *Mammillaria stella-de-tacubaya*).

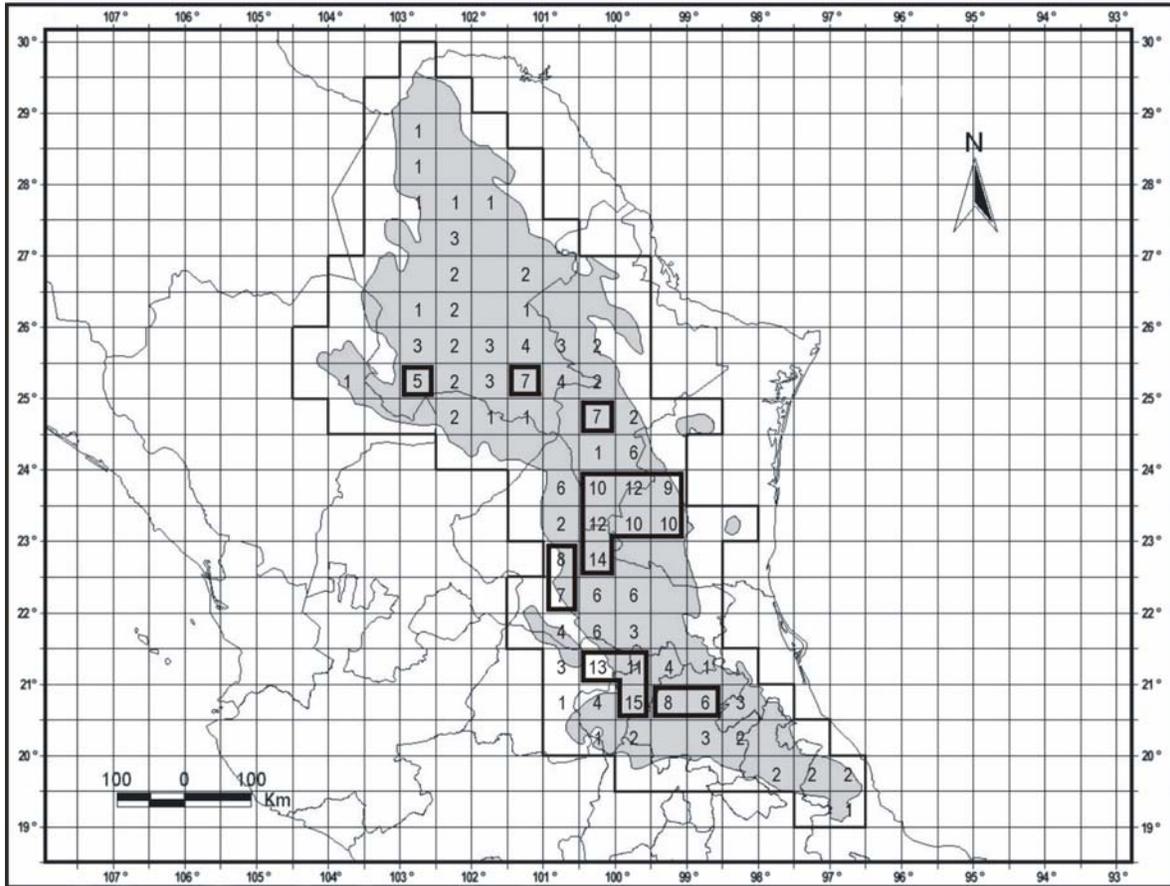


Figura 103. Riqueza de especies para cactáceas en la SMO. Los números indican cuántas especies de cactáceas se registraron por cuadro.

Cuadro 6. Riqueza de especies de cada uno de los 66 cuadros de la gradilla de 0.5° x 0.5° y número de especies endémicas de cada uno.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	ENDÉMICAS
118	Cadereyta	15	3
94	Guadalcázar	14	2
111	Xichú	13	2
84	Miquihuana	12	1
88	Mier y Noriega	12	0
112	Peñamiller	11	0
89	Tula	10	2
83	Doctor Arroyo	10	0
90	Jaumave	10	0
85	Cd. Victoria	9	2
93	Charco Blanco	8	0
119	Zimapán	8	0
70	Galeana	7	2
59	General Cepeda	7	1
99	San Luis Potosí	7	1
101	Cd. del Maíz	6	2
120	Metztitlán	6	2
79	La Ascensión	6	1
82	Matehuala	6	1
100	Cerritos	6	1
106	Mineral El Realito	6	0
56	Biseca	5	0
117	El Zamorano	4	2
49	El Tulillo	4	0
60	Saltillo	4	0
105	Tierra Nueva	4	0
113	Jalpan	4	0
46	Cerro Bola	3	1
21	Ocampo	3	0
48	Estación Marte	3	0
50	Ramos Arizpe	3	0
58	Biseca	3	0
107	Río Verde	3	0
110	San Luis de la Paz	3	0
121	Huayacocotla	3	0
127	Venados	3	0
30	Monclova	2	1
28	Cuatrociénegas	2	0
37	Barranquitas	2	0
47	Mayrán	2	0
51	Monterrey	2	0
57	Parras	2	0
61	Rayones	2	0
66	Los Indios	2	0
71	Iturbide	2	0
87	La Bonita	2	0
125	Tecoautla	2	0
128	Tenango	2	0
135	Zacatlán	2	0
136	Teziutlán	2	0
137	Huérfanos	2	0
67	El Vergel	1	1
78	Sandía	1	1
116	San Miguel de Allende	1	1
6	Sesteadero	1	0
10	Cimarrón	1	0
15	Puerto Blanco	1	0
16	El Berrendo	1	0
17	Santa Rosa	1	0
36	El Papalote	1	0
39	La Paila	1	0
54	España	1	0
68	Concepción del Oro	1	0
114	Pisaflores	1	0
124	Querétaro	1	0
139	Jalapa	1	0

### *Endemismo ponderado*

En este análisis (Cuadro 7), los cuadros se dividieron en dos grupos separados por cuadros de bajo endemismo: un área pequeña hacia el suroeste de Coahuila y una gran área continua desde el sur de Coahuila hasta la parte central del estado de Hidalgo (Fig. 104). Esta última área puede ser dividida a su vez tomando como referencia a las especies que caracterizan a cada grupo de cuadros, resultando cuatro subáreas.

Los cuadros en el suroeste de Coahuila (Cerro Bola y Viesca) reúnen a seis especies de las que *Coryphantha durangensis*, *C. poselgeriana*, *Mammillaria lenta* y *M. stella-de-tacubaya* no son endémicas a la SMO, *M. grusonii* es exclusiva de Cerro Bola (Figs. 99 y 104) y *Astrophytum myriostigma* que se distribuye hacia el centro de la SMO.

La primera de las cuatro subáreas del área mayor se encuentra en el sureste de Coahuila y se compone de El Cinco, General Cepeda y Saltillo (Fig. 104) los dos últimos cuadros están respaldados por la presencia de *Thelocactus rinconensis* además de la presencia exclusiva de *Acharagma roseana* en General Cepeda y *Echinocereus nivosus* en El Cinco.

La segunda subárea está compuesta sólo por Galeana y está respaldada por la presencia de *Aztekium hintonii* y *Geohintonia mexicana* (Fig. 104) Tres de las especies existentes aquí no se distribuyen en más de tres cuadros y *Aztekium ritterii* es endémica de Galeana y Rayones.

La tercer subárea es la más grande de todas y está conformada por 15 cuadros (Fig. 104), los cuales no pueden ser agrupados en áreas más pequeñas debido a que comparten varias especies entre algunos de ellos, por lo que una separación sería subjetiva. No obstante se puede apreciar una clara tendencia a concentrar cuadros con valores intermedios de EP hacia el norte de la región de Guadalcázar, cuadro que tiene el valor más alto de este grupo.

La cuarta subárea se compone de seis cuadros donde Cadereyta y Xichú destacan por tener los valores más altos de EP (Cuadro 7). Estos valores disminuyen hacia Zimapán y aumentan un poco hacia Metztitlán.

Es clara una disminución de los valores de EP hacia el norte (más allá de Cuatrociénegas) y hacia el sur de la SMO donde se encuentran los valores de EP con 1 y 2 que se caracterizan por tener pocas especies de distribución restringida (Fig. 104).

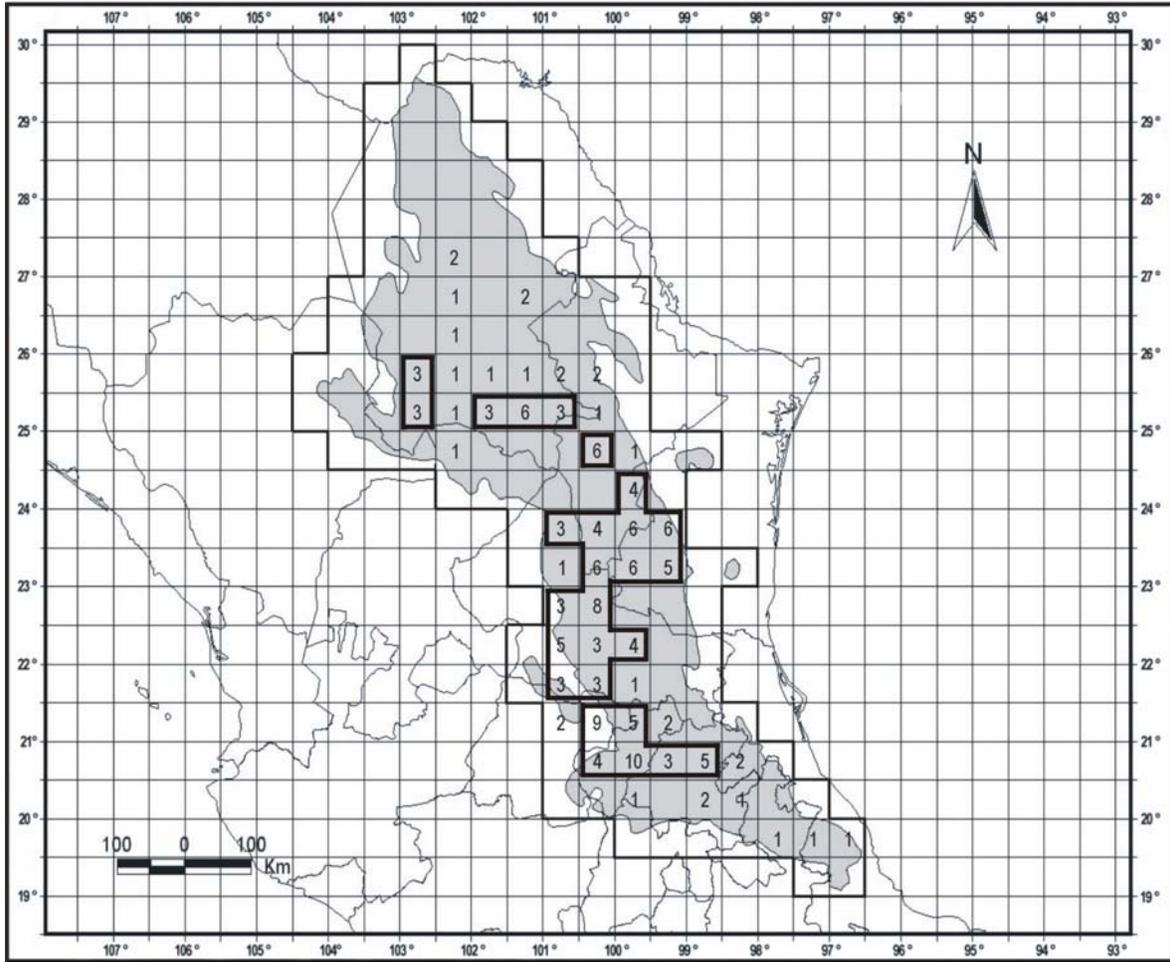


Figura 104. Valores del endemismo ponderado (EP) para cactáceas de las SMO arreglados en intervalos de 1-10 para la gradilla de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ .

Cuadro 7. Valores del índice de Endemismo Ponderado (EP) para cada cuadro y la clase a la que corresponden para la gradilla de 0.5° x 0.5°. Para determinar el agrupamiento de los cuadros se consideraron aquellos con valores por arriba de la media aritmética ( $X = 1.637$ ) incluyendo, en su caso, a los cuadrantes pertenecientes a la clase.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	EP	CLASE
118	Cadereyta	15	6.125	10
111	Xichú	13	5.000	9
94	Guadalcázar	14	4.426	8
85	Cd. Victoria	9	3.590	6
70	Galeana	7	3.502	6
84	Miquihuana	12	3.468	6
89	Tula	10	3.226	6
59	General Cepeda	7	3.224	6
88	Mier y Noriega	12	3.176	6
90	Jaumave	10	3.062	5
120	Metztitlán	6	2.741	5
112	Peñamiller	11	2.621	5
99	San Luis Potosí	7	2.511	5
117	El Zamorano	4	2.400	4
101	Cd. del Maíz	6	2.354	4
83	Doctor Arroyo	10	2.215	4
79	La Ascensión	6	1.944	4
119	Zimapán	8	1.800	3
82	Matehuala	6	1.698	3
56	Viesca	5	1.666	3
100	Cerritos	6	1.607	3
46	Cerro Bola	3	1.600	3
58	El Cinco	3	1.566	3
60	Saltillo	4	1.588	3
105	Tierra Nueva	4	1.450	3
106	Mineral El Realito	6	1.288	3
93	Charco Blanco	8	1.248	3
110	San Luis de la Paz	3	1.083	2
30	Monclova	2	1.066	2
51	Monterrey	2	1.000	2
113	Jalpan	4	0.975	2
21	Ocampo	3	0.899	2
50	Ramos Arizpe	3	0.891	2
127	Venados	3	0.616	2
121	Huayacocotla	3	0.616	2
61	Rayones	2	0.611	1
48	Estación Marte	3	0.565	1
107	Río Verde	3	0.500	1
49	El Tulillo	4	0.499	1
125	Tecoautla	2	0.392	1
57	Parras	2	0.308	1
137	Húerfanos	2	0.283	1
136	Teziutlán	2	0.283	1
135	Zacatlán	2	0.283	1
128	Tenango	2	0.283	1
28	Cuatrociénegas	2	0.232	1
47	Mayrán	2	0.232	1
37	Barranquitas	2	0.208	1
87	La Bonita	2	0.196	1
66	Los Indios	2	0.191	1
71	Iturbide	2	0.169	1

### *Endemismo ponderado corregido (EPC)*

Al tomar en cuenta la proporción de especies de distribución restringida en función de las especies totales de cada cuadro, sobresalen celdas que no habían sido tomadas en cuenta por el PAE ni por el EP (Cuadro 8); estos cuadros se caracterizan por tener baja diversidad de especies. Al ser el índice EPC una medida independiente de la riqueza de especies, los cuadros con los valores más altos fueron agrupados en función de la relación de las especies existentes en ellos (Fig. 105). Con este índice se detectaron ocho áreas, entre las cuales destacan:

1) Ocampo y Monclova conformadas por un solo cuadro cada una y ubicadas hacia el norte del estado de Coahuila (Fig. 105).

2) Un área compuesta por los cuadros Cerro Bola y Viesca ubicada hacia el suroeste de Coahuila (Fig. 105) presenta altos valores de endemismo a diferencia del EP (Fig. 104) y se caracteriza por valores pobres de riqueza de especies (Fig. 103). En el PAE esta área no fue considerada en la agrupación con otros cuadros (Fig. 99).

3) Hacia el este de Coahuila y oeste de Nuevo León se encuentran dos áreas unidas que pueden ser diferenciadas en función de las especies que las caracterizan. Un primer grupo está conformado de cinco celdas donde se aprecian altos valores de endemismo hacia los extremos (cuadros Monterrey y El Cinco) y a diferencia del área resultante en el EP, se anexan Ramos Arizpe y Monterrey (Fig. 105) que no cuentan con especies de distribución restringida a alguno de ellos, pero sí con especies distribuidas en pocos cuadros: *Mammillaria plumosa*, *Echinocereus reichenbachii* y *Turbincarpus valdezianus* (Apéndice 2). De estos cinco cuadros, sólo General Cepeda cuenta con valores medios de riqueza de especies (Fig. 103) y en el PAE ninguno de estos cuadros es considerado como área de endemismo ya que no cuentan con al menos dos especies en común que los respalde (Fig. 99).

4) La segunda área se ubica hacia el centro de Nuevo León y está compuesta por Rayones y Galeana que sólo comparten a *Aztekium ritterii* (Fig. 99). Galeana presenta un valor más alto dado que cuenta con dos especies exclusivas, mientras que en Rayones no existe ninguna (Fig. 99). Este hecho es significativo puesto que en el EP (Fig. 104), en la riqueza de especies (Fig. 103) y en el PAE (Fig. 100) Rayones no es considerado debido a la baja diversidad y a que no posee de manera exclusiva por lo menos dos especies.

5) El área ubicada hacia el centro de la SMO nuevamente aparece conformada por un gran número de celdas (11). Destaca en esta área la exclusión de Doctor Arroyo, Charco Blanco y Mineral El Realito, que en el EP sí son incluidos, además de que Tierra Nueva más bien pertenece a la región ubicada hacia el sur que a la región central (Fig. 105). Esta área se caracteriza por cuadros con valores medios de endemismo al igual que en el EP, pero con valores altos de riqueza de especies (Fig. 103). En esta área restringen su distribución 17 especies a algunos de los cuadros (Fig. 99). La riqueza de especies se concentra hacia la zona limítrofe de Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas, disminuyendo principalmente hacia el oeste (Fig. 103). En el PAE los seis cuadros que conforman a las cuatro áreas de endemismo resultantes quedan incluidas en esta área (Fig. 100).

6) Hacia el sur de la SMO se detectaron dos áreas separadas por cuadros de valores bajos. Una de ellas está conformada por seis cuadros, donde Mineral El Realito (incluido en el área del centro de la SMO en el EP) representa el extremo hacia el norte (Fig. 105) En esta área se encuentra El Zamorano, cuadro con el valor máximo de EPC (Cuadro 8), el cual queda incluido en el EP aunque con valores intermedios (Fig. 104) y en la riqueza de especies se presenta con valores muy bajos (Fig. 103), mientras que en el PAE es considerado como un área de endemismo (Fig. 99). Peñamiller no es considerado debido a sus valores bajos (apenas por debajo de la media aritmética), pero en el EP se presenta con valor intermedio. Este cuadro tiene una alta riqueza de especies (Cuadro 8) y en el PAE no es considerado como un área de endemismo, puesto que no cuenta con al menos dos especies propias (Fig. 99). Los cuadros que comprende el área junto a El Zamorano tienen valores altos de endemismo, denotándose una clara disminución hacia el este de esta área. Jalpan es un cuadro que presenta valores más altos que los obtenidos por el EP y en la riqueza de especies, aunque no cuenta con especies restringidas a él. Zimapán posee valores bajos tanto de EP como de EPC, aunque tiene valores intermedios de riqueza de especies (Fig. 103), no queda incluido en las áreas de endemismo y se manifiesta como una pequeña separación entre las dos áreas del sur de la SMO. Este cuadro tampoco cuenta con especies restringidas, de manera que no puede ser considerado como área de endemismo (Fig. 99). Finalmente, hacia el este de esta región se encuentra Metztlán con valores altos de EPC, pero bajos en el EP y en riqueza de especies, pero que sí es considerado como área de endemismo en el PAE ya que presenta dos especies que le son propias (Fig. 99).

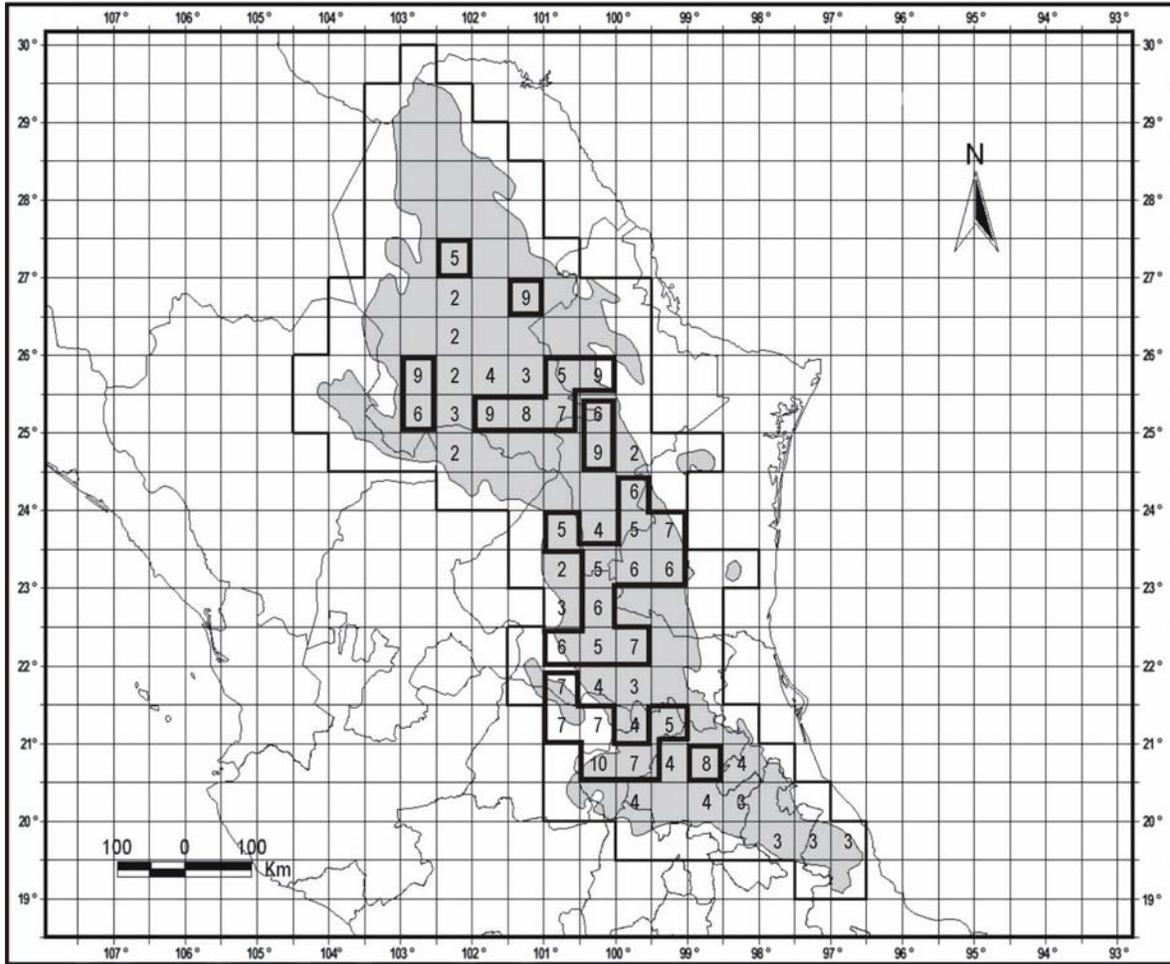


Figura 105. Valores del endemismo ponderado corregido (EPC) para cactáceas de la SMO arreglados en intervalos de 1-10 para la gradilla de 0.5° x 0.5°.

Cuadro 8. Valores del índice de Endemismo Ponderado Corregido (EPC) para cada cuadro y la clase a la que corresponden para la gradilla de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ . Para determinar el agrupamiento de los cuadros se consideraron aquellos con valores por arriba de la media aritmética ( $X = 0.284$ ) incluyendo, en su caso, a los cuadrantes pertenecientes a la clase.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	EPC	CLASE
117	El Zamorano	4	0.600	10
46	Cerro Bola	3	0.533	9
30	Monclova	2	0.533	9
58	El Cinco	3	0.522	9
70	Galeana	7	0.500	9
51	Monterrey	2	0.500	9
59	General Cepeda	7	0.460	8
120	Metztlán	6	0.456	8
118	Cadereyta	15	0.408	7
85	Cd. Victoria	9	0.398	7
101	Cd. del Maíz	6	0.392	7
60	Saltillo	4	0.389	7
111	Xichú	13	0.384	7
105	Tierra Nueva	4	0.362	7
110	San Luis de la Paz	3	0.361	7
99	San Luis Potosí	7	0.358	6
56	Viesca	5	0.333	6
79	La Ascensión	6	0.324	6
89	Tula	10	0.322	6
94	Guadalcázar	14	0.316	6
90	Jaumave	10	0.306	6
61	Rayones	2	0.305	6
21	Ocampo	3	0.299	5
50	Ramos Arizpe	3	0.297	5
84	Miquihuana	12	0.289	5
82	Matehuala	6	0.283	5
100	Cerritos	6	0.267	5
88	Mier y Noriega	12	0.264	5
113	Jalpan	4	0.243	5
112	Peñamiller	11	0.238	4
119	Zimapán	8	0.225	4
83	Doctor Arroyo	10	0.221	4
106	Mineral El Realito	6	0.214	4
121	Huayacocotla	3	0.205	4
127	Venados	3	0.205	4
125	Tecozautla	2	0.196	4
48	Estación Marte	3	0.188	4
107	Río Verde	3	0.166	3
93	Charco Blanco	8	0.156	3
57	Parras	2	0.154	3
137	Húrfanos	2	0.141	3
128	Tenango	2	0.141	3
136	Teziutlán	2	0.141	3
135	Zacatlán	2	0.141	3
49	El Tulillo	4	0.124	3
28	Cuatrociénegas	2	0.116	2

## Cuadros de 1° x 1°

### *Riqueza de especies*

En la Fig. 106 se observa un área continua que abarca desde el sur de Coahuila hasta el centro de Hidalgo, donde se concentra la riqueza de especies. Los valores más altos se encuentran hacia el centro de la SMO, en el cuadro Cd. Victoria donde existen 24 especies y en Guadalcázar donde hay 22 especies. Mier y Noriega es un cuadro también rico en especies con 18 (Cuadro 9). En el PAE, estas tres áreas son agrupadas en un clado que en conjunto poseen un total de 17 especies no compartidas con otras regiones de la SMO (Figs. 101 y 102)

Cuadro 9. Riqueza de especies de los 25 cuadros de la gradilla de 1° x 1° y número de especies endémicas de cada uno.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	ENDÉMICAS
29	Cd. Victoria	24	8
32	Guadalcázar	22	4
28	Mier y Noriega	18	1
36	Xichú	17	4
40	Zimapán	16	4
18	General Cepeda	12	3
37	Jalpan	12	1
19	Saltillo	9	1
24	Galeana	8	3
41	Metztlán	8	3
17	Parras	7	2
25	La Ascensión	7	1
39	Querétaro	6	3
33	Cd. del Maíz	6	2
12	La Paila	3	1
7	Ocampo	3	0
11	Cuatrociénegas	3	0
23	Concepción del Oro	2	1
22	Los Indios	2	0
45	Teziutlán	2	0
46	Jalapa	2	0
16	Torreón	1	1
4	Cimarrón	1	0
8	Santa Rosa	1	0
38	Pisaflores	1	0

Hacia el norte se nota una disminución de riqueza de especies, siendo General Cepeda el cuadro donde existe el mayor número con 12 y de las cuales sólo tres restringen su distribución a esa área (Figs. 101, 102 y 106).

Los cuadros Saltillo y Galeana podrían conformar un centro de riqueza más o menos aislado de General Cepeda y del centro de la SMO (Fig. 106), ya que seis de las 13 especies que existen ahí restringen su distribución a alguno de los dos cuadros o a ambos (Figs. 101 y 102).

Un área que también cuenta con gran número de especies (Fig. 106) está compuesta por los cuadros Xichú con 17 especies, Jalpan con 12, Zimapán con 16 y Metztitlán que es el cuadro con el menor número de especies de este grupo con ocho (Cuadro 9). Esta área queda agrupada en un clado en el PAE y es probable que sea una región aislada del área central y norte de la SMO, pues ahí se concentran 19 especies entre los diferentes cuadros, que no son compartidas con el resto de la provincia (Figs. 101 y 102).

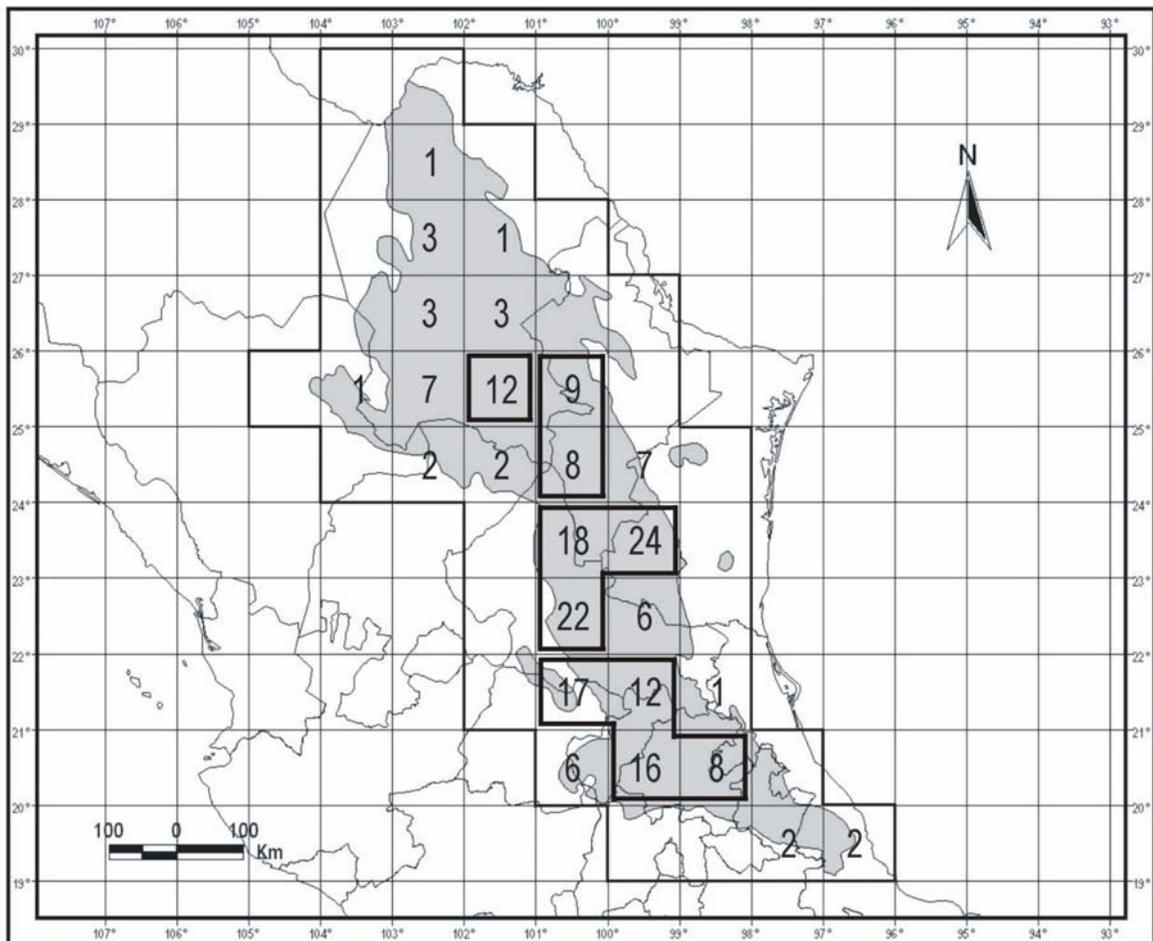


Figura 106. Riqueza de especies para cactáceas en la SMO. Los números indican cuántas especies de cactáceas se registraron por cuadro.

### Endemismo ponderado

El agrupamiento de los cuadros de acuerdo a los valores por arriba de la media aritmética del endemismo ponderado (Cuadro 10) muestra un área continua desde General Cepeda en el sur de Coahuila hasta Metztlán en el este de Hidalgo, pero de acuerdo a las especies de distribución restringida que comparten, se puede dividir en cuatro subregiones (Fig. 107).

General Cepeda es el área más septentrional y también la más pequeña, compuesta sólo por un cuadro y se caracteriza por la presencia exclusiva de *Acharagma roseana*, *Echinocereus nivosus* y *Escobaria laredoi* (Fig. 101). Esta área es la más rica en especies de Coahuila con 12. Esta misma área es también reconocida de manera individual como un área de endemismo por el PAE (Figs. 101 y 102).

Cuadro 10. Valores del índice de Endemismo Ponderado (EP) de cada cuadro para la gradilla de 1º 1º. Para determinar el agrupamiento de los cuadros se consideraron aquellos con valores arriba de la media aritmética ( $X = 4.111$ ) incluyendo, en su caso, a los cuadrantes pertenecientes a la clase.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	EP	CLASE
29	Cd. Victoria	24	13.122	10
32	Guadalcázar	22	9.572	8
36	Xichú	17	8.448	7
40	Zimapán	16	7.907	7
28	Mier y Noriega	18	6.789	6
18	General Cepeda	12	5.699	5
24	Galeana	8	4.599	4
37	Jalpan	12	4.398	4
19	Saltillo	9	4.266	4
41	Metztlán	8	4.199	4
39	Querétaro	6	3.916	3
17	Parras	7	3.341	3
33	Cd. del Maíz	6	2.591	2
25	La Ascensión	7	2.257	2
12	La Paila	3	1.242	1
23	Concepción del Oro	2	1.100	1
7	Ocampo	3	0.975	1
11	Cuatrociénegas	3	0.641	1
46	Jalapa	2	0.499	1
45	Teziutlán	2	0.499	1
22	Los Indios	2	0.267	1

En el oeste de Nuevo León se encuentra un área compuesta por los cuadros Saltillo y Galeana (Fig. 107) en donde restringen su distribución *Aztekium hintonii* y *Turbinicarpus subterraneus* (Fig. 101). Esta es un área con valores bajos de EP, en donde cuatro

especies más restringen su distribución a algunas de las celdas y presenta valores bajos de riqueza de especies (Fig. 106); además coincide totalmente con el área de endemismo detectada mediante el PAE (Figs. 101 y 102).

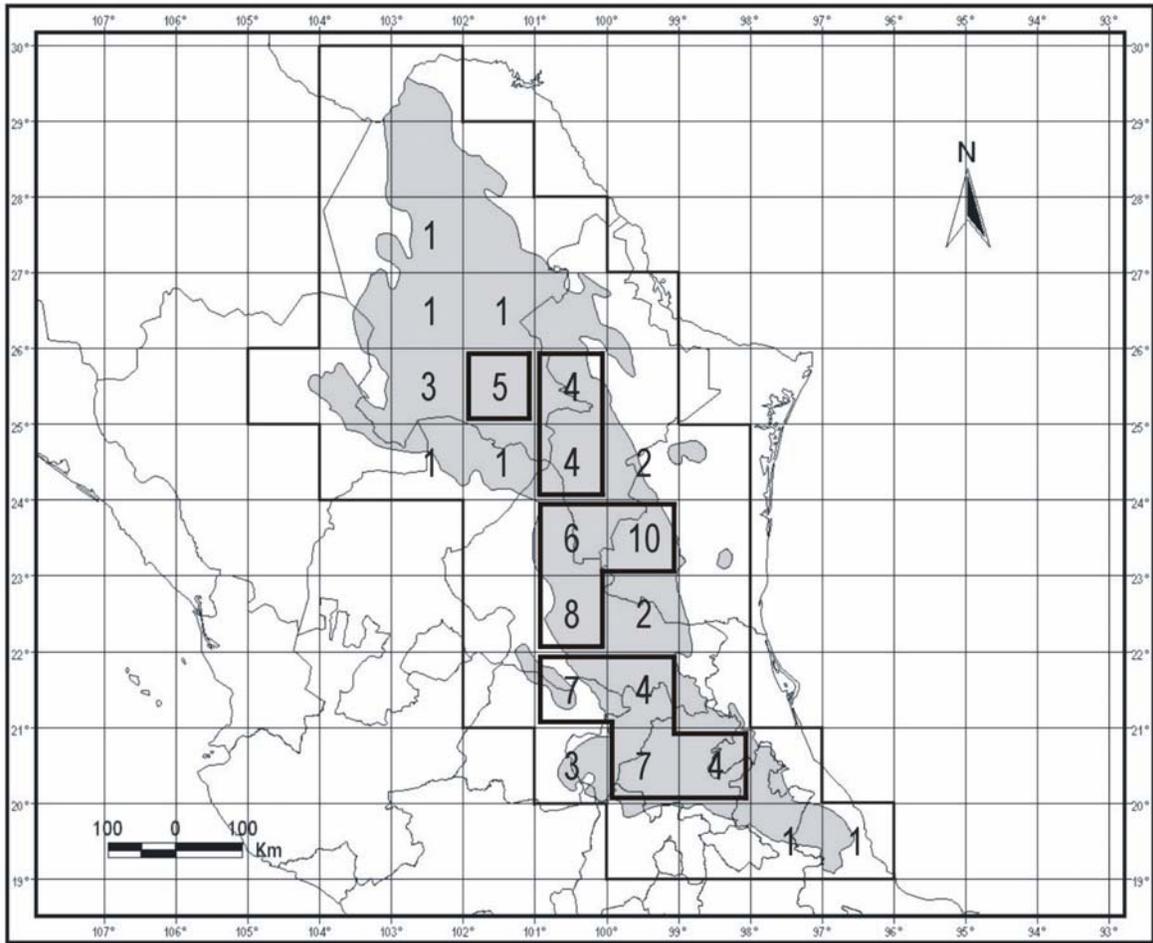


Figura 107. Valores del endemismo ponderado (EP) para cactáceas de la SMO arreglados en intervalos de 1-10 para la gradilla de 1° x 1°.

Hacia el centro de la SMO se ubica una tercer área compuesta por Mier y Noriega, Guadalcázar y Cd. Victoria (Fig. 107), siendo *Coryphantha glanduligera* la única especie que respalda a esta área (Fig. 101) no obstante que 17 especies restringen su distribución a algunos de estos cuadros. Esta área coincide parcialmente con los resultados del PAE, dado que mientras aquí quedan agrupados estos tres cuadros, en el PAE se considera a Guadalcázar como un área de endemismo independiente y a Mier y Noriega y Cd. Victoria conformando un área caracterizada por tres especies que restringen ahí su distribución (Figs. 101 y 102). Este último cuadro presenta los valores más altos de EP y de riqueza

(Cuadros 9 y 10), además es donde se concentran la mayor cantidad de especies endémicas (8).

La última área propuesta se ubica hacia el sur de la SMO y está compuesta por los cuadros Xichú, Jalpan, Zimapán y Metztlán (Fig. 107). Esta área se compone por dos cuadros con valores altos de EP y de riqueza de especies y por dos cuadros con valores bajos de los mismos índices (Cuadro 10 y Figs. 106 y 107); no obstante, tienen en común a *Astrophytum ornatum* y *Mammillaria longimamma* (Fig. 101). Es el área más grande de las cuatro encontradas y la que tiene el mayor número de especies (19) que restringen su distribución a algunos de los cuadros que la conforman. Esta área se corresponde totalmente con el área de endemismo considerada por el PAE (Figs. 101 y 102).

#### *Endemismo ponderado corregido*

Al dividir el valor del EP de cada cuadro entre el número total de especies de cada uno y tomando los valores por arriba de la media aritmética (Cuadro 11), se encontraron cuatro áreas, que difieren de las encontradas por el EP y el PAE, estas áreas fueron delimitadas por sus valores altos y por las especies en común de los cuadros (Fig. 108).

La más septentrional de estas áreas se compone de cuatro cuadros (Fig. 108), donde La Paila y Concepción del Oro son incorporadas con altos valores de EPC no reconocidas en el EP, en la riqueza de especies, ni en el PAE. *Ariocarpus retusus* es la única especie que une a tres de los cuatro cuadros pero también se distribuye en otras áreas (Fig. 101 y Apéndice 4). En el EP, General Cepeda tiene un valor medio (Fig. 107) y aquí se presenta con altos valores cuando es corregida la riqueza de especies en función de las especies de distribución restringida (Fig. 108). En el PAE (Figs. 101 y 102) este cuadro se considera como un área de endemismo independiente, al igual que Parras y ambos cuadrantes pueden ser unidos a La Paila y a Concepción del Oro por las especies que se distribuyen en ellos, dado que 11 especies son compartidas por algunos de estos cuadros y si se añaden las especies propias de cada uno, el número asciende a 18 (Fig. 101).

Nuevamente el área ubicada en el oeste de Nuevo León (Saltillo-Galeana) es reconocida por este índice (Fig. 108), con la diferencia de que se presenta con valores altos de EPC. En el PAE estos cuadros representan un área de endemismo respaldada por dos especies (Figs. 101 y 102).

Cuadro 11. Valores del índice de Endemismo Ponderado Corregido (EPC) de cada cuadro para la gradilla de 1° x 1°. Para determinar el agrupamiento de los cuadros se consideraron aquellos con valores por arriba de la media aritmética ( $X = 0.418$ ) incluyendo, en su caso, a los cuadrantes pertenecientes a la clase.

CUADRO	NOMBRE	RIQUEZA	EPC	CLASE
39	Querétaro	6	0.652	10
24	Galeana	8	0.574	9
23	Concepción del Oro	2	0.555	9
29	Cd. Victoria	24	0.546	9
41	Metztitlán	8	0.524	9
36	Xichú	17	0.496	8
40	Zimapán	16	0.494	8
17	Parras	7	0.477	8
18	General Cepada	12	0.474	8
19	Saltillo	9	0.474	8
32	Guadalcázar	22	0.435	7
33	Cd. del Maíz	6	0.431	7
12	La Paila	3	0.414	7
28	Mier y Noriega	18	0.377	6
37	Jalpan	12	0.366	6
7	Ocampo	3	0.325	5
25	La Ascensión	7	0.322	5
46	Jalapa	2	0.249	4
45	Teziutlán	2	0.249	4
11	Cuatrociénegas	3	0.213	4
22	Los Indios	2	0.133	3

Hacia el centro de la SMO se encuentra un área de tres cuadros donde Cd. Victoria presenta el valor más alto, Guadalcázar tiene un valor intermedio y Cd. del Maíz queda incluida debido a la distribución restringida de las especies existentes ahí por lo que el EPC aumenta de manera significativa (Fig. 108, Cuadros 10 y 11). Por otro lado, tanto Cd. Victoria como Guadalcázar son las celdas con mayor riqueza de especies y aunque Cd. del Maíz sólo cuenta con seis, tiene el mismo valor de EPC que Guadalcázar y apenas por debajo de Cd. Victoria (Fig. 106). En el PAE estos tres cuadros quedan agrupados en áreas de endemismo diferentes: Guadalcázar y Cd. del Maíz son áreas independientes y Cd. Victoria forma un área de endemismo junto con Mier y Noriega (Figs. 101 y 102).

El área meridional se conforma de cuatro cuadros donde queda incluido Querétaro (Fig. 108) que tiene el valor más alto en el análisis de EPC (Cuadro 11). Metztitlán tiene un valor alto de EPC, mientras que en el EP presenta valores bajos y es un cuadro con baja riqueza de especies; Xichú y Zimapán se mantienen como cuadros con valores altos como en el EP y en riqueza de especies (Figs. 106 y 107). Jalpan al igual que Mier y Noriega del área central, quedan excluidos con valores apenas por debajo de la media aritmética (Cuadro 11). Querétaro es reconocido como un área de endemismo

independiente en el PAE, mientras que aquí se agrupa junto a Xichú, Zimapán y Metztitlán.

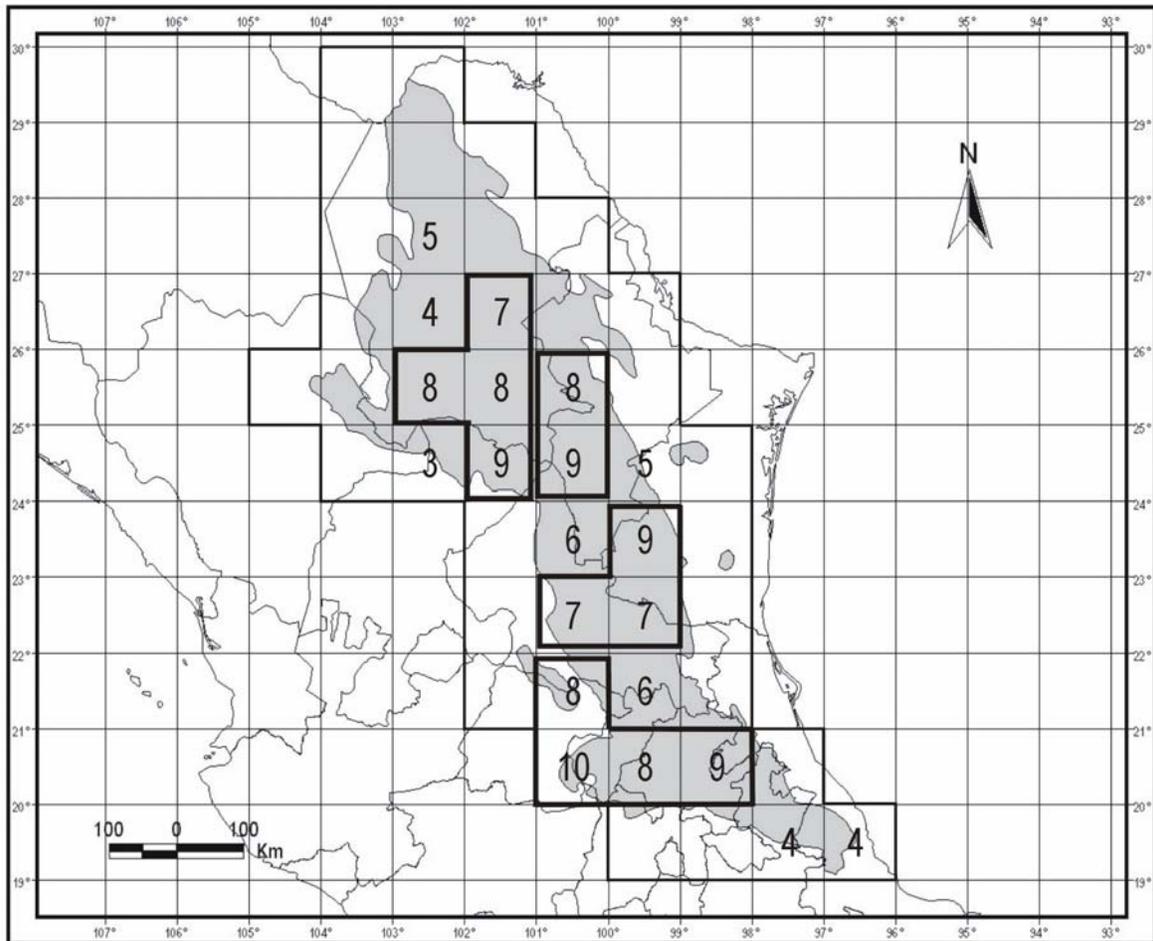


Figura 108. Valores del endemismo ponderado corregido (EPC) para cactáceas de la SMO arreglados en intervalos de 1-10 para la gradilla de 1° x 1°.

## REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN

### Áreas Naturales Protegidas

Las cactáceas estudiadas aquí sólo se encuentran representadas en cinco ANP (33%) de las 15 que tienen sus límites total o parcialmente dentro de la SMO (Fig. 6); 19 de las 88 especies tienen al menos una localidad dentro de los límites de alguna de estas cinco ANP (Cuadro 12) lo que representa el 17%.

En cuanto a la representatividad en cada una de las cinco ANP mencionadas, los resultados arrojan que en la Reserva de la Biosfera (RB) Sierra Gorda, es donde se encuentran la mayor cantidad de especies representadas (9), en la RB Barranca de Metztitlán existen registros para siete especies, en el Parque Nacional (PN) Cumbres de Monterrey se detectaron localidades de cuatro especies, en el PN Gogorrón sólo se registró la presencia de una especie; y finalmente en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFF) únicamente se encontraron registros para una especie (Cuadro 12).

Cabe destacar que *Aporocactus flagelliformis*, *Astrophytum ornatum* y *Mammillaria longimamma* se encuentran en las RB Sierra Gorda y Metztitlán, siendo las únicas existentes en más de un ANP (Cuadro 12).

### Regiones Terrestres Prioritarias

Los resultados muestran que las cactáceas estudiadas aquí se encuentran representadas en 18 RTP (60%) de las 30 que tienen sus límites total o parcialmente dentro de la SMO (Fig. 7). Por otro lado se encontró que 48 de las 88 especies tienen al menos una localidad en alguna de estas RTP, lo cual representa el 55% del total (Cuadro 12 y Fig. 7).

Las RTP donde se encontraron localidades de más especies son: El Huizache (13), Valle de Jaumave (12), Sierra Gorda-río Moctezuma (11) y Pastizales gipsófilos de Matehuala (9), por el contrario, en 10 RTP sólo fueron registradas una o dos especies (Cuadro 12).

Por otro lado, *Ariocarpus retusus* es la especie mejor representada dado que se encuentra en siete RTP. Por su parte, tanto *Astrophytum myriostigma* como *Mammilloidya candida* se encuentran en cuatro RTP mientras que *Coryphantha glanduligera* y *Thelocactus tulensis* se registraron en tres RTP. Finalmente 34 especies se registraron sólo en una RTP (Cuadro 12).

### **Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves**

Con respecto a las AICAS, los taxones estudiados se encuentran en 10 (38%) de las 26 áreas consideradas dentro de los límites de la SMO ya sea de manera parcial o total (Fig. 8). Además, 27 de las 88 especies tienen al menos una localidad en alguna de estas áreas lo cual representa el 31% del total de especies (Cuadro 12).

En el AICA Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, la cual tiene dimensiones próximas a la ANP del mismo nombre, es donde se encuentra el mayor número de especies representadas (9), que coincide totalmente con el número de especies registradas en la ANP. En Sierra de Arteaga y en San Antonio Peña Nevada se encontraron registros para seis especies en cada una, de las cuales sólo *Ariocarpus retusus* se encuentra en ambas áreas (Cuadro 12).

Por otro lado, *Aporocactus flagelliformis* y *Ariocarpus retusus* son las mejor representadas, pues cada una se encuentra en tres AICAS y 22 especies sólo fueron registradas en una de estas áreas (Cuadro 12).

Finalmente, 32 de las 88 (36%) no se encuentran en ninguna de las ANP, RTP o AICAS siendo la mayoría de estas especies de distribución restringida a una o dos localidades (Cuadro 12).

Cuadro 12. Representatividad de cactáceas en las Áreas Naturales Protegidas, Regiones Terrestres Prioritarias y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves cuyos límites se ubican total o parcialmente dentro de la SMO. Los números de las áreas corresponden a los asignados en las figuras 6-8.

<b>ESPECIE</b>	<b>ANP RTP</b>		<b>AICAS</b>
<i>Acharagma roseana</i> *	---	---	---
<i>Aporocactus flagelliformis</i>	2, 3	23, 25, 27	18, 20, 24
<i>Ariocarpus agavoides</i> *	---	---	---
<i>A. kotschoubeyanus</i>	---	19	---
<i>A. retusus</i>	4	12, 11, 16, 17, 18, 19, 21	9, 12, 14
<i>Astrophytum capricorne</i> *	---	---	---
<i>A. myriostigma</i>	---	16, 18, 19, 21	---
<i>A. ornatum</i>	2, 3	23	18
<i>Aztekium hintonii</i> *	---	---	---
<i>A. ritterii</i>	---	---	7
<i>Cephalocereus senilis</i>	3	---	20
<i>Coryphantha durangensis</i> *	---	---	---
<i>C. glanduligera</i>	---	16, 18, 19	---
<i>C. maiz-tablasensis</i> *	---	---	---
<i>C. nickelsiae</i> *	---	---	---
<i>C. poselgeriana</i>	15	3, 5	4
<i>C. pulleineana</i>	---	18	---
<i>C. wohlschlagerei</i> *	---	---	---
<i>Cumarinia odorata</i>	---	18	---
<i>Disocactus phyllanthoides</i>	---	25, 26	20, 24
<i>Echinocactus grusonii</i>	---	23	---
<i>Echinocereus knippelianus</i>	---	11	7
<i>E. longisetus</i>	---	3, 7	---
<i>E. nivosus</i> *	---	---	---
<i>E. reichenbachii</i>	4	---	7
<i>Escobaria laredoi</i> *	---	---	---
<i>E. missouriensis</i> *	---	---	---
<i>Geohintonia mexicana</i> *	---	---	---
<i>Glandulicactus crassihamathus</i> *	---	---	---
<i>Leuchtenbergia principis</i>	---	18, 19	---
<i>Lophophora diffusa</i>	2	23	18

Con asterisco ( \* ) se indica a las especies que no se encuentran representadas en ningún área de conservación.

Continuación

<b>ESPECIE</b>	<b>ANP</b>	<b>RTP</b>	<b>AICAS</b>
<i>Mammillaria albicoma</i>	---	18	---
<i>M. albiflora</i> *	---	---	---
<i>M. aurihamata</i>	---	---	12
<i>M. baumii</i>	---	16	14
<i>M. bocasana</i>	---	22, 24	---
<i>M. carmenae</i>	---	16	---
<i>M. coahuilensis</i> *	---	---	---
<i>M. decipiens</i>	---	22	---
<i>M. duwei</i> *	---	---	---
<i>M. erythrosperma</i>	---	22	---
<i>M. grusonii</i> *	---	---	---
<i>M. hahniana</i>	2	23	18
<i>M. herrerae</i> *	---	---	---
<i>M. humboldtii</i>	3	---	---
<i>M. klissingiana</i>	---	16	---
<i>M. laui</i>	---	16	---
<i>M. lenta</i> *	---	---	---
<i>M. longimamma</i>	2, 3	23	18
<i>M. mathildae</i> *	---	---	---
<i>M. melaleuca</i> *	---	---	---
<i>M. microhelia</i>	---	24	---
<i>M. nana</i>	6	22	---
<i>M. orcuttii</i>	---	22	---
<i>M. parkinsonii</i>	2	23	18
<i>M. pilispina</i>	---	18	---
<i>M. plumosa</i>	4	11	7
<i>M. roseoalba</i>	---	16	13
<i>M. schiedeana</i>	3	21, 23	---
<i>M. stella-de-tacubaya</i> *	---	---	---
<i>M. surculosa</i>	---	18	---
<i>M. weingartiana</i>	---	12	---
<i>M. zeilmanniana</i> *	---	---	---

Continuación

<b>ESPECIE</b>	<b>ANP</b>	<b>RTP</b>	<b>AICAS</b>
<i>Mammilloydia candida</i>	---	16, 18, 19, 21	14
<i>Obregonia denegrii</i>	---	16	---
<i>Pelecyphora aselliformis</i> *	---	---	---
<i>P. strobiliformis</i>	---	18	---
<i>Pilosocereus cometes</i>	2	23	18
<i>Stenocactus sulphureus</i> *	---	---	---
<i>Strombocactus disciformis</i>	2	23	18
<i>Thelocactus hastifer</i> *	---	---	---
<i>T. leucacanthus</i>	2	23	18
<i>T. rinconensis</i>	4	11	7
<i>T. tulensis</i>	---	13, 18, 19	7, 13
<i>Turbinicarpus alonsoi</i> *	---	---	---
<i>T. beguinii</i>	---	15	8, 13
<i>T. booleanus</i> *	---	---	---
<i>T. gielsdorfianus</i>	---	21	---
<i>T. horripilus</i>	3	---	---
<i>T. laui</i> *	---	---	---
<i>T. pseudomacrochele</i> *	---	---	---
<i>T. pseudopectinatus</i>	---	---	13
<i>T. saueri</i>	---	16	---
<i>T. schmiedickeanus</i>	---	19, 21	13
<i>T. subterraneus</i> *	---	---	---
<i>T. valdezianus</i> *	---	---	---
<i>T. viereckii</i>	---	16, 18	---
<i>T. zaragozae</i>	---	---	13

**ANP.** Reservas de la Biosfera: 2. Sierra Gorda, 3. Barranca de Metztitlán. Parques Nacionales: 4. Cumbres de Monterrey, 6. Gogorrón. Áreas de Protección de Flora y Fauna: 15. Cuatrociénegas.

**RTP:** 3. Sierra La Encantada-Santa Rosa, 5. Cuatrociénegas, 7. Sierra La Paila, 11. El Potosí-Cumbres de Monterrey, 12. Tokio, 13. Cañón de Iturbide, 15. San Antonio-Peña Nevada, 16. Valle de Jaumave, 17. El Cielo, 18. El Huizache, 19. Pastizales Gipsófilos de Matehuala, 21. Llanura del río Verde, 22. Sierra de Álvarez, 23. Sierra Gorda-río Moctezuma, 24. Cerro Zamorano, 25. Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental, 26. Cuetzalán, 27. Pico de Orizaba-Cofre de Perote.

**AICAS:** 4. Cuatrociénegas, 7. Sierra de Arteaga, 8. Área Natural Sierra Zapaliname, 9. El Potosí, 12. Sierra Catorce, 13. San Antonio Peña Nevada, 14. El Cielo, 18. Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, 20. Huayacocotla, 24. Centro de Veracruz.

## DISCUSIÓN

### DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Uno de los problemas para entender la distribución de especies y que consecuentemente se manifiesta en el muestreo, es la deficiencia de colectas en sitios alejados de las carreteras; esto se debe principalmente a que muchos lugares son inaccesibles. Esta tendencia es evidente en los datos presentados aquí dado que cuando los puntos son mapeados, en muchos casos coinciden con los mapas de carreteras (e. g. *Astrophytum capricorne*, *Lophophora diffusa*, entre otros).

En la región central de la SMO se han hecho recolectas más intensivas por lo que se encuentra un conglomerado de puntos que forman un rectángulo ubicado en los alrededores de los municipios Mier y Noriega, Nuevo León y Guadalcázar, San Luis Potosí (Fig. 97). Esto se debe a que Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) y Hernández *et al.* (2001) realizaron colectas botánicas de las cactáceas que habitan esos cuadros. Los resultados de estos trabajos denotan un muestreo intensivo con respecto a otros lugares de la SMO (e. g. Coahuila); sin embargo, existen otros sitios donde las colectas botánicas han sido más o menos intensivas: Ciudad Victoria y Jaumave, alrededores de San Luis Potosí y el centro del estado de Querétaro, pero son producto del trabajo de varios investigadores y a través de muchos años, en comparación con los arriba mencionados donde las colectas se realizaron en un intervalo mucho más corto.

En definitiva, el realizar muestreos sistemáticos en un área determinada, tiene la ventaja de que pueden encontrarse localidades nuevas para un taxón o registros nuevos para un estado o región, mismos que podrían modificar los resultados de algunos análisis donde la distribución de taxones es importante para determinar si la distribución de una especie se restringe a un área pequeña o no (e. g. un cuadro de 0.5° x 0.5°).

Otro problema importante que pudiera modificar los resultados presentados aquí es la carencia de información en herbarios para algunos taxones dado que la información obtenida para algunas especies no concuerda por ejemplo, con el trabajo de Guzmán *et al.* (2003) donde *Acharagma roseana*, *Astrophytum capricorne*, *Mammillaria plumosa*, entre otras, presentan una distribución más amplia. Por otro lado, de un gran número de especies incluidas en la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002) o en la UICN ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)) no se encontró información confiable que pudiera ser georreferenciada, como es el caso de *Acharagma aguirreana*, *Ariocarpus scaphirostris*,

*Turbinicarpus dickisoniae*, *T. hoferi*, *T. jauernigii*, *T. lophophoroides*, *T. mandragora*, *T. roseiflorus* y *T. swobodae*, entre otras.

Esta última observación es acertadamente explicada por Gómez-Hinostrosa al mencionar que: “desgraciadamente, por razones de seguridad, la información de muchas de las especies mencionadas en este estudio, no se puede poner a disposición del público en general, debido al saqueo y a la recolecta ilegal que es muy común en este tipo de plantas. Es por esto que dicha información a veces está restringida o incluso, hay quienes prefieren no hacer vouchers de especies amenazadas o prefieren no colectarlas”.

Por otro lado, al sólo considerar a las especies que tuvieran problemas de conservación según la NOM-059-ECOL-2001 y la UICN, no pudieron incluirse especies cuya distribución probablemente se restringe a la SMO (e. g. *Coryphantha jalpanensis*, *Echinocereus penthalophus*, *Ferocactus equidne*) o especies recientemente descritas de las que no existen datos precisos de las localidades de distribución y de las cuales no se puede precisar su estatus de conservación (e. g. *Digitostigma caput-medusae*). La inclusión de una muestra taxonómica más extensa contribuiría a definir áreas y patrones de distribución que no se hayan detectado aquí, o bien para apoyar los propuestos.

De acuerdo a la distribución de algunas especies, se pueden detectar en primera instancia tres regiones caracterizadas por la presencia exclusiva de ciertos taxones:

1) Región meridional, ubicada hacia el sur de la cuenca del río Pánuco y que se desplaza en dirección sureste-noroeste desde las inmediaciones de Huayacocotla, Veracruz y el sur de Metztlán, Hidalgo hasta el municipio de Xichú, Guanajuato.

2) Región central, que comprende desde el norte de la cuenca del río Pánuco hasta las inmediaciones de las sierras ubicadas en la zona limítrofe de los estados de Coahuila y Nuevo León con sus respectivas zonas de mayor concentración de especies: Guadalcázar-Mier y Noriega, Ciudad Victoria-Jaumave y Rayones-Galeana.

3) Región norte, que abarca gran parte del centro-sur de Coahuila hasta el noroeste de Monterrey justo al norte de las sierras que se encuentran en la zona limítrofe entre esta región y la central.

Existe gran número de especies de cactáceas que restringen su distribución a la SMO y varios géneros que se distribuyen de manera exclusiva en esta provincia, de los cuales algunos son monotípicos e incluso microendémicos (e. g. *Strombocactus*, *Geohintonia*, *Obregonia*), otros tienen una distribución más amplia, dentro de los cuales el más representativo es el género *Turbinicarpus*, con la excepción de *T. beguinii* que extiende su distribución hasta Chihuahua (*sensu* Guzmán *et al.*, 2003). La distribución de algunas

especies sigue este patrón, es decir, se extienden hacia el Altiplano Mexicano (e. g. *Ariocarpus retusus*, *Mammillaria bocasana*) y otras, hacia el norte más allá de los límites del país (e. g. *Echinocereus reichenbachii*, *Escobaria missouriensis*).

Las cactáceas en la SMO se distribuyen preferentemente en matorrales xerófilos y bosques tropicales caducifolios, los cuales se caracterizan por poseer climas secos, pero algunas de las especies estudiadas aquí habitan en otros tipos de vegetación, como bosques de encino, encino-pino y bosque mesófilo de montaña, donde la precipitación pluvial es mayor y consecuentemente el clima más húmedo (e. g. *Aporocactus flagelliformis*, *Disocactus phyllanthoides*), por lo tanto los patrones de distribución obtenidos definen principalmente las regiones de clima árido pertenecientes a la SMO.

## **ANÁLISIS DE PARSIMONIA DE ENDEMISMOS**

### **Cuadros de 0.5° x 0.5°**

La politomía obtenida en el cladograma de consenso (Fig. 99) denota la ausencia de relaciones entre la mayoría de las áreas; sin embargo, se obtienen dos pequeños agrupamientos que se encuentran hacia el centro de la SMO: el área Cd. Victoria-Jaumave y el área Mier y Noriega-Guadalcázar.

La primera área reúne las regiones analizadas por Hernández (1998) y Martínez-Ávalos y Jiménez (1993). Esta región se encuentra en la ladera de sotavento de la Gran Sierra Plegada, en la proximidad oeste de Ciudad Victoria y en la planicie adyacente denominada Valle de Jaumave. Esta área se encuentra relativamente aislada ya que está rodeada por sierras de hasta 2500 m de altitud, y aunque se encontraron 13 especies en la región, sólo cuatro tienen distribución restringida a esa zona, de las cuales *Mammillaria baumii* y *Obregonia denegri* se distribuyen en ambos cuadros mientras que *Mammillaria carmenae* y *M. laui* son exclusivas de Cd. Victoria (Fig. 99).

Al comparar este trabajo con los resultados arriba mencionados, se observa que el área del Valle de Jaumave considerado por Hernández (1998) y el municipio de Victoria analizado por Martínez-Ávalos y Jiménez (1993) se encuentran más bien en parte del cuadrante Cd. Victoria de este trabajo. La porción sur del Valle de Jaumave (según la Región Terrestre Prioritaria (RTP) del mismo nombre *sensu* Arriaga *et al.*, 2000) queda ubicada hacia el noroeste del cuadrante denominado en este trabajo como Jaumave,

adyacente al sur del cuadrante Cd. Victoria (Fig. 99), donde también queda incluida la mayor parte de la RTP El Cielo.

De cualquier manera, la riqueza del Valle de Jaumave y del municipio de Victoria juntos, considerando sólo a las especies con problemas de conservación y endémicas a la SMO, es superior a la obtenida en este trabajo, puesto que aquí se registraron sólo 13 especies, mientras que la riqueza compartida de ambos estudios asciende a 18 especies, de las cuales dos no fueron consideradas aquí debido a ambigüedades con su distribución y sinonimias, por lo que el número se reduce a 16, de las cuales 11 son consistentes en ambos trabajos.

Dos de las 13 especies (*Coryphantha glanduligera* y *Mammillaria weingartiana*) distribuidas en el clado Cd. Victoria-Jaumave no son consideradas en los trabajos antes mencionados. Es posible que *C. glanduligera* fuera confundida con otra especie, de manera que al unificar los nombres de acuerdo a Guzmán *et al.* (2003) se haya determinado como sinonimia de otra especie (*e. g. Coryphantha delicata*). Con respecto a *M. weingartiana*, la no inclusión en los listados que hacen de la región los respectivos autores es inesperado, dado que las localidades para esa especie obtenidas en este trabajo quedan fuera, pero muy cerca, tanto del Valle de Jaumave como del municipio de Victoria y dentro del cuadrante Jaumave al oeste de la RTP El Cielo. Puede ser que los autores hayan pasado por alto a esta especie en el campo, o bien que haya sido determinada bajo otro nombre que incluso, no corresponda a una sinonimia de *M. weingartiana*.

Por otro lado, de *Mammillaria albicoma*, *M. melaleuca*, *Turbincarpus gielsdorffianus* y *T. subterraneus* enlistadas en Hernández (1998) como de *Echinocereus reichenbachii* en Martínez-Ávalos y Jiménez (1993) no se obtuvieron registros de herbario que respaldaran su distribución en esas regiones. De hecho, *M. albicoma* y *M. melaleuca* tienen una distribución muy cercana de Jaumave y Cd. Victoria, por lo que es probable que el problema se deba a la ausencia de ejemplares de herbario, más que a posibles errores de determinación por parte de los autores.

El caso contrario se presenta con *T. subterraneus*, donde es posible que hubiera alguna confusión en la determinación. Tradicionalmente se consideran a *T. subterraneus* y *T. zaragozae* como una misma especie, pero en Guzmán *et al.* (2003) se hace la separación de estas entidades como especies diferentes. De cualquier manera, si es cierto que Hernández (1998) encontró ejemplares parecidos a cualquiera de estos dos taxones, muy probablemente pertenezcan a *T. zaragozae* y no a *T. subterraneus*, ya que

la distribución de este último se encuentra hacia el centro de Nuevo León y este de Coahuila, mientras que la distribución de *T. zaragozae* está relativamente cerca de Jaumave (aproximadamente 40 km al noroeste).

En Guzmán *et al.* (2003) la distribución de *T. gielsdorfianus* se limita al estado de San Luis Potosí y los registros obtenidos en este estudio son congruentes con esos datos, puesto que las localidades encontradas se restringen al cuadrante Cd. del Maíz, por lo que su distribución se encuentra separada de Jaumave y Cd. Victoria por más de 100 km y no es probable que exista en esas áreas.

Con respecto a la distribución de *E. reichenbachii*, en este trabajo se tienen registros para los estados de Coahuila y Nuevo León en los alrededores de Saltillo y Monterrey, pero en Guzmán *et al.* (2003) la distribución de esta especie llega hasta el estado de Tamaulipas, por lo que las localidades encontradas de este taxón en el municipio de Victoria por Hernández (1998) pueden ser correctas.

Un hecho que llama la atención y que pudiera respaldar la posible incongruencia en la determinación de algunas especies mencionadas arriba es que en Martínez-Ávalos y Jiménez (1993) y Hernández (1998) se listan especies que no se distribuyen en el estado de Tamaulipas: *Mammillaria longimamma*, *M. sempervivi*, *Marginatocereus marginatus*, *Pereskiaopsis aquosa* en Hernández (1998) y *Opuntia leucotricha* en Martínez-Ávalos y Jiménez (1993) (*sensu* Guzmán *et al.* 2003).

El segundo clado, denominado aquí Mier y Noriega-Guadalcázar agrupa íntegramente a las regiones consideradas en Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) y Hernández *et al.* (2001), puesto que ellos también se basaron en coordenadas geográficas para delimitar las áreas de estudio. En este clado se detectaron cuatro especies exclusivas, de las cuales *Cumarinia odorata* y *Mammillaria surculosa* se encuentran en ambos cuadros, mientras que *Coryphantha pulleineana* y *C. wohlshlageri* restringen su distribución a Guadalcázar (Fig. 99). La riqueza encontrada en este trabajo refiere 12 especies que se distribuyen en el cuadrante Mier y Noriega y 14 para Guadalcázar (Fig. 99). Gómez-Hinostrosa y Hernández (2000) reportaron 51 especies para Mier y Noriega (*sensu* Guzmán *et al.*, 2003), de las cuales 24 se encuentran en alguna categoría de riesgo listadas en la NOM-059-ECOL-2001 o en la UICN. De estas especies, ocho no son endémicas a la SMO y una más no fue considerada en el análisis, debido a que sólo una subespecie de las cinco aceptadas para el taxón es la que se encuentra con problemas de conservación y de la cual no se encontraron registros. Las 15 especies restantes colectadas para Mier y Noriega por los autores, aunque también están incluidas en este

trabajo, no son congruentes, dado que ellos obtuvieron que *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Coryphantha pulleineana*, *Turbincarpus schmiedickeanus* y *T. subterraneus* se encuentran en la región, pero aquí no se obtuvieron ejemplares de herbario para ese sitio; además, en este trabajo se encontraron registros para *Mammillaria pilispina* que en el análisis de estos autores no se menciona, por lo tanto, estos trabajos coinciden para 11 especies de las 16 consideradas en ambos análisis. Quizá la especie más relevante para analizar es *C. pulleineana*, dado que en el cladograma de la figura 99 se presenta como una especie exclusiva para Guadalcázar; de combinarse esta información con los resultados de ellos, esta especie al hallarse entonces también en Mier y Noriega, se agregaría a las dos que conforman el clado como área de endemismo.

Con respecto al cuadro Guadalcázar, en el trabajo de Hernández *et al.* (2001) se registraron 70 especies (*sensu* Guzmán *et al.*, 2003) de las cuales 32 están en alguna categoría de riesgo, 10 no son endémicas a la SMO y tres no fueron incluidas en el análisis por carencia de ejemplares de herbario o por ambigüedades en la información. Las 19 especies restantes están incluidas en este trabajo, no obstante como en el análisis anterior, no se corresponden totalmente pues de cinco especies (*Mammillaria albicoma*, *M. aureilanata*, *M. schiedeana*, *Turbincarpus pseudopectinatus* y *T. viereckii*) no se encontraron registros para el cuadrante Guadalcázar.

El hecho de que gran número de áreas (54) no hayan sido relacionadas entre sí, no afecta en gran medida el objetivo de este estudio, que es encontrar áreas de endemismo, este hecho se presenta en cinco de las nueve áreas encontradas (Fig. 99), que se consideraron como áreas de endemismo para las especies de cactáceas estudiadas aquí.

El agrupamiento de áreas de manera anidada no necesariamente representa áreas de endemismo, pues es necesario que los clados estén respaldados al menos por dos especies. Esto es ejemplificado en cuatro de los seis agrupamientos presentados en la parte inferior del cladograma de la figura 99 y aun mejor demostrado en el cladograma resultante de la gradilla de 1° x 1° (Fig. 101). En el árbol de la figura 99, el agrupamiento de Rayones y Galeana no conforma un área de endemismo *per se*, pues aunque *Aztekium ritterii* es exclusiva para ambos cuadros, *Thelocactus tulensis* no lo es pues además de encontrarse ahí, también se distribuye en los cuadros 71, 79, 84, 88, 94 y 100.

Sin embargo, es posible resolver *a posteriori* estas ausencias relativas de especies de manera que puedan conformar áreas de endemismo aparentemente inexistentes. Si tomamos como ejemplo a Rayones y Galeana, estos cuadros podrían conformar un área de endemismo si junto con *Aztekium ritterii* al menos alguna de las dos especies que

caracterizan a Galeana (*Aztekium hintonii* o *Geohintonia mexicana*) se distribuyera también en Rayones. Esto podría verificarse si se dispusiera de algún ejemplar de herbario con la descripción de la localidad claramente definida (de manera que se tenga la certeza de que se encuentra en Rayones), o bien realizando exploraciones en el sitio con la finalidad de encontrar poblaciones dentro de los límites del cuadro.

La gran cantidad de homoplasias en el cladograma de consenso estricto (Fig. 99) obtenido para la gradilla de 0.5° x 0.5° se ve reflejado en la longitud del árbol y en el bajo índice de retención. Esto es desafortunado, pues se esperaría que especies como *Aporocactus flagelliformis* y *Disocactus phyllanthoides* las cuales tienen patrones de distribución semejantes (Figs. 10 y 28), agruparan a los cuadros correspondientes al noroeste de Veracruz, norte de Puebla, este de Hidalgo y norte de Querétaro, en donde existen bosques templados (mesófilo de montaña y encinares). En el trabajo de Luna *et al.* (1999) se agrupan a estas regiones en un clado correspondiente a la parte sur de la SMO donde quedan incluidos los bosques mesófilos de montaña. En este análisis destaca que el norte de Querétaro (en donde existe *A. flagelliformis* y probablemente *D. phyllanthoides*) está relacionado con la Sierra de San Carlos y Gómez Farías ubicados en la región media de la SMO, en donde no se tiene conocimiento de la existencia de ninguna de las dos especies mencionadas.

Una agrupación de cuadrantes semejante a la propuesta se esperaba en el caso de *Astrophytum ornatum* y *Mammillaria longimamma*, las cuales se distribuyen aproximadamente en una faja con dirección sureste-noroeste desde el este de Hidalgo hasta la parte centro-norte de Querétaro y las inmediaciones de Xichú (Figs. 16 y 57).

Los resultados presentados aquí podrían interpretarse con respecto al tamaño de la gradilla, ya que posiblemente no es el adecuado para reflejar patrones de endemismo característicos en la SMO para las cactáceas que ahí habitan. Quizá el tamaño reducido de los cuadros define áreas que tienden a incluir pocos o incluso ningún taxón endémico (Crisci *et al.*, 2000). No obstante, gran parte de las áreas de endemismo encontradas aquí son también ricas en especies y algunas de ellas son congruentes con regiones ya reconocidas por otros autores por su riqueza de cactáceas: Xichú (Bárcenas, 1999), Jaumave (Martínez-Ávalos y Jiménez, 1993), Cd. Victoria (Hernández, 1998), Mier y Noriega (Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000) y Guadalcázar, donde queda inmersa la región conocida como El Huizache (Hernández *et al.*, 2001). Otras regiones tales como Doctor Arroyo y Peñamiller no conforman áreas de endemismo pero poseen una gran riqueza (Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000). Algunas regiones presentadas aquí

como áreas de endemismo y que a su vez son ricas en especies no son consideradas por otros autores, tales como Tula y Cadereyta (Fig. 99). Otros cuadros ricos en especies no son mencionados por otros autores, posiblemente debido a que forman parte de regiones ya consideradas, tales como Miquihuana (que podría formar parte de la región de Doctor Arroyo) y Zimapán, que en los resultados de este análisis podría considerarse como una extensión de Cadereyta, ya que de las ocho especies que la conforman, seis habitan en ese cuadro.

Algunas regiones reconocidas por autores previos como ricas en especies no se detectaron en los resultados, como es el caso de Cuatrociénegas (Pinkava, 1984), La Paila (Villarreal, 1994) y San Luis de la Paz (Bárceñas, 1999). Esto se debe a la ausencia de ejemplares en diversos herbarios nacionales, pues es frecuente que estos sean depositados en herbarios locales y no se manden duplicados a los principales herbarios del país.

A partir de la información disponible, se observan tres patrones de áreas de endemismo en la figura 100. Primeramente se observa una agrupación de cuatro áreas hacia la parte central de la provincia, donde Tula se halla separando a las dos áreas compuestas de dos cuadros cada una, y hacia el sur se encuentra un área compuesta de un cuadro que corresponde a Cd. del Maíz (Fig. 100).

Este patrón se interrumpe hacia donde se encuentra el río Pánuco y sus afluentes (San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo) y es precisamente hacia el sur de este rasgo hidrográfico donde se encuentra otra agrupación de áreas, de las cuales tres son adyacentes entre sí y cada una se compone de un cuadro y están ubicadas hacia la región central del estado de Querétaro y en el noreste de Guanajuato. Hacia el este de Hidalgo, se ubica la cuarta de las cuatro áreas meridionales donde se encuentra la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Fig. 100).

En el N de la SMO se encuentra otra área de endemismo, enclavada en la Sierra El Potosí y hacia el sur de las cumbres de Monterrey ubicándose en la zona de transición entre la parte central y norte de la SMO (Fig. 100). Esta área es pequeña y las especies que caracterizan al lugar podrían considerarse microendémicas, pues su distribución conocida se limita a acantilados de suelos yesosos en las inmediaciones de Rayones y Galeana.

Finalmente, llama la atención que no se hallan detectado áreas de endemismo hacia el norte de la provincia donde, sin embargo, existen especies que la caracterizan (*e. g. Astrophytum capricorne, Mammillaria grusonii*).

## Cuadros de 1° x 1°

La extensa politomía resultante en el cladograma de consenso perteneciente a los cuadrantes de 0.5° x 0.5° (Fig. 99), se ve reducida cuando el tamaño de la gradilla aumenta. En el cladograma de consenso estricto para los 25 cuadros de 1° x 1° (Fig. 101), solamente ocho cuadros no están relacionados. En este cladograma al igual que en la figura 99, nuevamente se observa una escasa riqueza de especies hacia el norte de la SMO, donde además no se detectaron áreas de endemismo.

De estos ocho cuadros, Querétaro es el único que se encuentra hacia el sur de la SMO y aunque comparte algunas especies con esta área (*Mammillaria bocasana*, *M. decipiens* y *M. erythrosperma*), no son características de los cuadros de dicha región (cuadros 36, 37, 40 y 41), por lo que no pueden considerarse para que Querétaro se integre a esta área. Sin embargo, este cuadro por sí mismo es un área de endemismo, donde se distribuyen tres especies de manera exclusiva pertenecientes al género *Mammillaria* teniendo cada una un intervalo de distribución restringido. Tanto *M. mathildae* como *M. microhelia* se distribuyen en el suroeste de Querétaro, mientras que *M. zeilmanniana* se encuentra hacia el este de Guanajuato, cerca de San Miguel de Allende y fuera de los límites de la SMO considerados en este estudio, pero dentro del cuadro Querétaro.

Con respecto a los cuadros que se encuentran relacionados conformando tres grandes clados, éstos sólo están sustentados por una especie cada uno, de modo que no se puede hablar de tres grandes áreas de endemismo, no obstante, al interior de estas ramas sí existen y representan posibles subdivisiones de la SMO en tres agrupamientos distintos: norte, centro y sur. En Navarro *et al.* (2004) y en León-Paniagua *et al.* (2004) se sugieren tres divisiones similares de la provincia respaldadas en la avifauna y mastofauna de la SMO, respectivamente. En ambos trabajos el análisis de parsimonia de endemismos se llevó a cabo con transectos de 0.5° x 0.5° de latitud y los cladogramas resultantes separan a la SMO en clados que difieren en los agrupamientos de las unidades de estudio, pero que definen tres áreas congruentes con los resultados presentados aquí.

La cuenca del río Pánuco, puede considerarse como una barrera que divide en primera instancia a la provincia en una porción meridional y otra septentrional. Precisamente la región sur está representada por un área de endemismo que coincide en gran parte con la Sierra Gorda de Querétaro y la Barranca de Metztitlán en Hidalgo.

La región septentrional, a su vez podría ser dividida en dos regiones, si se considera que el sistema montañoso de Saltillo-Monterrey podría representar una barrera. Este

sistema de fallas y deformaciones es reconocido por González-Zamora (2003) como un rasgo geográfico distintivo que es atravesado por uno o varios trazos individuales y que en su análisis panbiogeográfico es considerado como una línea de base. Entre la cuenca del Pánuco y este sistema montañoso se encuentra otra región que es agrupada en el cladograma de la figura 101 y donde se encuentran cuatro áreas de endemismo. Estas áreas corresponden total o parcialmente a las siguientes Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), Valle de Jaumave, El Cielo, El Huizache y Pastizales Gipsófilos de Matehuala, caracterizadas por su riqueza de cactáceas y otros taxones de ambientes áridos.

La región hacia el noroeste del sistema montañoso de Saltillo y Monterrey es considerablemente más pequeña y sólo se encuentran dos áreas de endemismo de las cuales sólo General Cepeda coincide parcialmente con la RTP Sierra de La Paila. Si esta área septentrional de la provincia realmente corresponde a la SMO es discutible, puesto que algunos de los taxones que ahí habitan, así como algunos cuadros de la politomía (que también se encuentran al norte de este sistema montañoso) tienen afinidad con el Altiplano Mexicano (*e. g. Coryphantha poselgeriana*). Un análisis en donde se incluyan especies distribuidas en ambas provincias (Sierra Madre Oriental y Altiplano Mexicano *sensu* Rzedowski, 1978) podría definir mayor afinidad de acuerdo a las especies que la caractericen.

No obstante en este estudio, esta área se considera como la región septentrional de la SMO, por lo que la provincia queda dividida en tres subregiones caracterizadas por las especies de cactáceas que en ellas habitan.

El primer clado (el cual se ubica totalmente en el estado de Coahuila) agrupa a los cuadrantes Cuatrociénegas, Parras y General Cepeda. A diferencia del cladograma de la matriz de 0.5° x 0.5°, aquí se obtuvieron dos áreas de endemismo y aunque el tamaño de la gradilla es cuatro veces más grande, Cuatrociénegas vuelve a presentarse como un área pobre en especies (sólo se registraron tres) y no conformando un área de endemismo. Una posible explicación a este respecto podría referirse al hecho de que las especies elegidas en este estudio no dan indicio de la riqueza de cactáceas en la cuenca (Pinkava, 1984) (Fig. 101). Según este autor, en el bolsón de Cuatrociénegas se encuentran 42 especies (de acuerdo a Guzmán *et al.*, 2003), de las cuales 15 se encuentran con problemas de conservación, nueve de estas no son endémicas a la SMO y de las seis restantes, tres están incluidas en este trabajo (*Astrophytum capricorne*, *Coryphantha poselgeriana* y *Echinocereus longisetus*), pero de *E. longisetus* no se encontraron ejemplares de herbario que respaldaran localidades en esa región. Las tres

especies amenazadas restantes no incluidas aquí se distribuyen presumiblemente en Coahuila, no obstante tanto de *Acharagma aguirreana* como de *Coryphantha werdermannii* tampoco se obtuvieron registros que respaldaran su distribución.

Por otro lado, de *Mammillaria luethyi*, cuya distribución se restringe al estado de Coahuila (*sensu* Guzmán *et al.*, 2003), no se encontraron registros o información que pudiera definir con precisión su distribución. Esta especie se encuentra bajo la categoría de “en peligro” de acuerdo a la lista roja de la UICN de especies amenazadas.

Continuando con el análisis de la distribución de algunos taxones, se observa la existencia de ciertas especies representadas como paralelismos en varias ramas del cladograma y la discusión acerca de la identidad de cada una y el posible respaldo a algunos clados, deberían ser analizados en trabajos posteriores considerando métodos y técnicas de la filogeografía.

Algunos de los ejemplos que más llaman la atención son *Astrophytum myriostigma*, *Leuchtenbergia principis*, *Mammillaria schiedeana* y *Mammilloidya candida* cuyas distribuciones disyuntas de las poblaciones de cada especie, podrían separarse como taxones diferentes lo cual se vería reflejado en cuanto al sustento de algunas áreas de endemismo (Fig. 109, compárese con Fig. 101).

Por otro lado, se encontraron dos reversiones en el cladograma de la matriz de 1° x 1°: *Thelocactus tulensis* que no se encuentra en Cd. del Maíz perteneciente al clado del centro de la SMO y *Aporocactus flagelliformis* no registrado en Xichú en la región meridional de la provincia (Fig. 101). Dichas ausencias pueden deberse a varios factores como sesgos en el muestreo debido a que se halla pasado por alto a las especies o a los sitios donde estas podrían prosperar, que los lugares donde posiblemente se encuentren estén alejados de vías de comunicación en buen estado de manera que sea inaccesible el explorar tales sitios, que el área de distribución de esas especies no abarque sitios dentro de los cuadrantes mencionados o bien, que las actividades humanas hallan modificado severamente el hábitat de manera que tales disturbios promovieran la desaparición de esas especies retrocediendo hasta sitios menos perturbados. Las extinciones de muchas especies en lugares específicos es frecuente debido al deterioro ambiental propiciado por el continuo desarrollo humano, sobre todo de aquellas especies adaptadas a sitios y condiciones puntuales (*e. g.* *Mammillaria glochidiata* = *Mammillaria crinita* subsp. *wildii*).

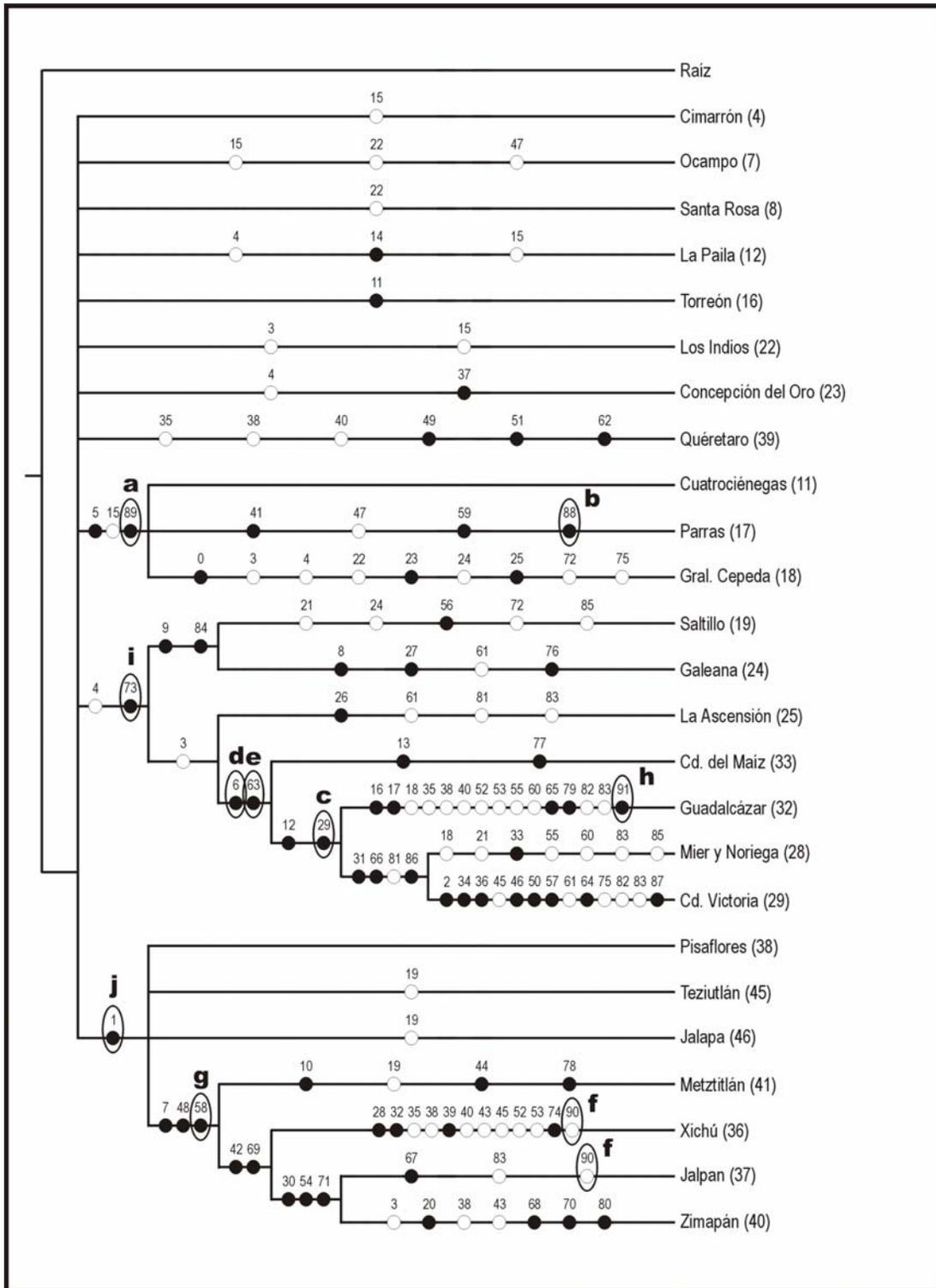


Figura 109. Cladograma de consenso estricto que muestra los posibles cambios (resaltados con elipses). Long = 88, CI = 53, RI = 60. **a.** *Leuchtenbergia principis* distribuida únicamente en Coahuila, **b.** *Astrophytum myriostigma* subsp. *coahuilensis*, **c.** *L. principis*, **d.** *A. myriostigma*, **e.** *Mammilloidya candida* subsp. *candida*, **f.** *M. candida* subsp. *ortiz-rubiana*, **g.** *Mammillaria schiedeana* subsp. *schiedeana*, **h.** *M. schiedeana* subsp. *dumetorum*, **i.** *Thelocactus tulensis*, **j.** *Aporocactus flagelliformis*.

En este sentido, es posible que *Thelocactus tulensis* se distribuya hasta el cuadrante Cd. del Maíz puesto que las localidades conocidas se limitan a los cuadrantes adyacentes Guadalcázar al oeste y Cd. Victoria hacia el norte. De confirmarse localidades en este cuadrante, la reversión presentada para este cuadro sería omitida, pudiendo entonces afirmar que esta especie es propia del clado central de la SMO (Fig. 109, compárese con Fig. 101).

Este mismo caso se presenta con *Aporocactus flagelliformis* donde se encuentra como una reversión en el cuadrante Xichú. De confirmarse la existencia de esta especie en ese cuadro, esta especie respaldaría totalmente al clado meridional de la SMO (Fig. 109, compárese con fig. 101).

Como se observa en la figura 101, *A. flagelliformis* se encuentra en los cuadros Pisaflores, Teziutlán y Jalapa, pero estos no podrían formar parte del área de endemismo conformada por Xichú-Jalpan-Zimapán-Metzitlán debido a que en esta región el tipo de vegetación principalmente es matorral xerófilo y en los tres cuadros mencionados la vegetación predominante son bosques templados, de manera que la existencia de especies propias de climas áridos (*Astrophytum ornatum*, *Mammillaria longimamma*, *Strombocactus disciformis*, etc.) que sustentan a ramas de este clado, no sería posible.

Sin embargo, podrían conformar un área de endemismo respaldada por la presencia de otros taxones propios de ambientes templados lo que daría la pauta para combinar los resultados presentados aquí con los obtenidos por otros autores (Luna *et al.*, 1999, González-Zamora, 2003; Espinosa *et al.*, 2004) o con trabajos posteriores enfocados a regiones particulares. La existencia de *A. flagelliformis* en sitios con tipos de vegetación contrastantes y por lo tanto presente en seis de los siete cuadros de este clado, se debe a la capacidad de adaptación y a diferentes condiciones ambientales, pues en los bosques templados (encinares y mesófilos de montaña) frecuentemente se desarrolla como epífita y en los matorrales xerófilos generalmente es rupícola y prospera en sitios sombreados.

Con respecto a las áreas de endemismo obtenidas, es importante mencionar que al interior de estas se encuentran regiones con especies que les son propias dado que según la distribución conocida, algunas especies se restringen sólo a algún cuadro. Así, el ejemplo más representativo a este respecto se puede observar en el área meridional de la provincia compuesta por cuatro cuadros donde a su vez, Metztlán, Xichú y Zimapán son por sí solas áreas de endemismo. Esta observación es importante, sobre todo en lo referente a las estrategias de conservación, pues en ocasiones el considerar áreas demasiado grandes puede ser impracticable y se hace necesario entonces encontrar

regiones con dimensiones menores que contengan la mayor cantidad de la diversidad posible y donde los recursos económicos puedan ser aplicados. De esta manera la región del sur de la SMO, a manera de ejemplo, podría fragmentarse en sitios donde se concentren las especies microendémicas quedando también protegidos aquellos taxones con una distribución más amplia. Es necesario el empleo de un método para ordenar y jerarquizar a las áreas consideradas (*e. g.* análisis de complementariedad) de tal forma que las decisiones tomadas den prioridad a aquellas áreas que protejan a la mayor cantidad de especies.

Es claro que el tamaño de la gradilla ofrece distintos patrones de endemismo, pero algunos se mantienen de manera consistente, de la misma forma que la riqueza de especies. Los resultados obtenidos con los dos tamaños de gradilla empleados aquí, reflejan dos regiones hacia donde se concentran especies microendémicas: una en el centro de la SMO detectada principalmente en la zona limítrofe de los estados de Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas y la segunda en el sur de la provincia desde Xichú hasta Metztitlán.

La primera región mencionada (para la gradilla de 1° x 1°) consta de tres áreas de endemismo (Guadalcázar, Mier y Noriega-Cd. Victoria y Cd. del Maíz) y en conjunto ahí se agrupan 19 especies restringidas sólo a esa región y la riqueza de especies asciende a 42 especies (fig. 101, mientras que en la región ubicada al sur de la provincia compuesta por dos áreas de endemismo (Xichú-Jalpan-Zimapán-Metztitlán y Querétaro), restringen su distribución 22 especies a algunos de los cuadros y la riqueza es de 35 especies. Además, estas dos grandes regiones comparten entre sí sólo a 10 especies por lo que el número total de entidades existentes en ambas regiones es de 66 especies, representando el 75% de las 88 especies consideradas en este estudio.

Por su parte, tanto en las tres áreas de endemismo del norte de la SMO (Parras, General Cepeda y Saltillo-Galeana) como en los cuadros que no quedaron agrupados (parte superior del cladograma) se distribuyen 29 especies de las cuales 15 son propias del norte de la provincia, representando el 17% del total de especies estudiadas. A su vez esta región comparte sólo ocho especies con el centro y sur de la provincia de manera que esta escasa afinidad sugiere que esta área probablemente está más relacionada con el Altiplano Mexicano, quedando entonces los límites de la SMO con dimensiones más parecidas a la SMO de las provincias bióticas basada en rasgos morfotectónicos propuesta por Ferrusquía-Villafranca (1990).

## ÍNDICES DE ENDEMISMO

La búsqueda de un índice adecuado que no esté relacionado con la riqueza de especies es el principal objetivo de este análisis; ya que se pretende obtener áreas que se caractericen por la presencia de especies endémicas, independientemente de su riqueza. De esta manera, Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001) probaron diferentes análisis para demostrar que el empleo del índice adecuado puede detectar áreas de endemismo que no toman en cuenta a la riqueza. En los resultados obtenidos aquí se tiene que, al igual que en los trabajos de los mencionados autores, el índice denominado como endemismo ponderado corregido (EPC) está menos relacionado con la riqueza que el endemismo ponderado (EP). Si bien se obtienen más o menos las mismas áreas, con estos índices, estas varían en orden de importancia, lo que podría proveer información en cuanto a que en las regiones donde se concentran las especies de distribución restringida, también confluyen especies ampliamente distribuidas, determinando centros de alta diversidad, a los cuales se les debe poner especial atención enfocada a la conservación.

No obstante que se probaron dos diferentes tamaños de gradilla, las áreas de endemismo propuestas arrojan resultados donde persisten varias regiones (*e. g.* Rayones-Galeana, Cd. Victoria-Guadalcázar, Xichú, Metztitlán, entre otras), que a su vez son congruentes con los resultados del PAE.

Dado que tanto el EP como el EPC detectan casi las mismas áreas y éstas a su vez son muy parecidas a la riqueza de especies, una correlación puede establecer el grado de relación entre estas variables. Así, al analizar la riqueza contra el EP para los cuadros de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , se tiene que la relación entre éstas es significativa a un nivel de confianza del 99%, mientras que la relación entre riqueza y EPC no es significativa en el mismo nivel de confianza (Figs. 110 y 111). La gráfica de la regresión lineal de la riqueza contra el EP y el EPC manifiesta que el EP (dependiente de la riqueza) tiene una relación positiva y claramente se ve afectado, pues al incrementarse la riqueza de los cuadros el valor del EP aumenta (Figs. 110 y 111), esto es esperado dado que este índice toma en cuenta la totalidad de las especies existentes en los cuadrantes de la gradilla. Por el contrario, la recta de regresión obtenida para la riqueza contra el EPC prácticamente carece de pendiente (Figs. 110 y 111), resultando aproximadamente paralela al eje de las x, lo que denota independencia entre estas variables y esto prueba que aunque la riqueza de cada cuadro tome diferentes valores, el EPC en general permanece inalterable.

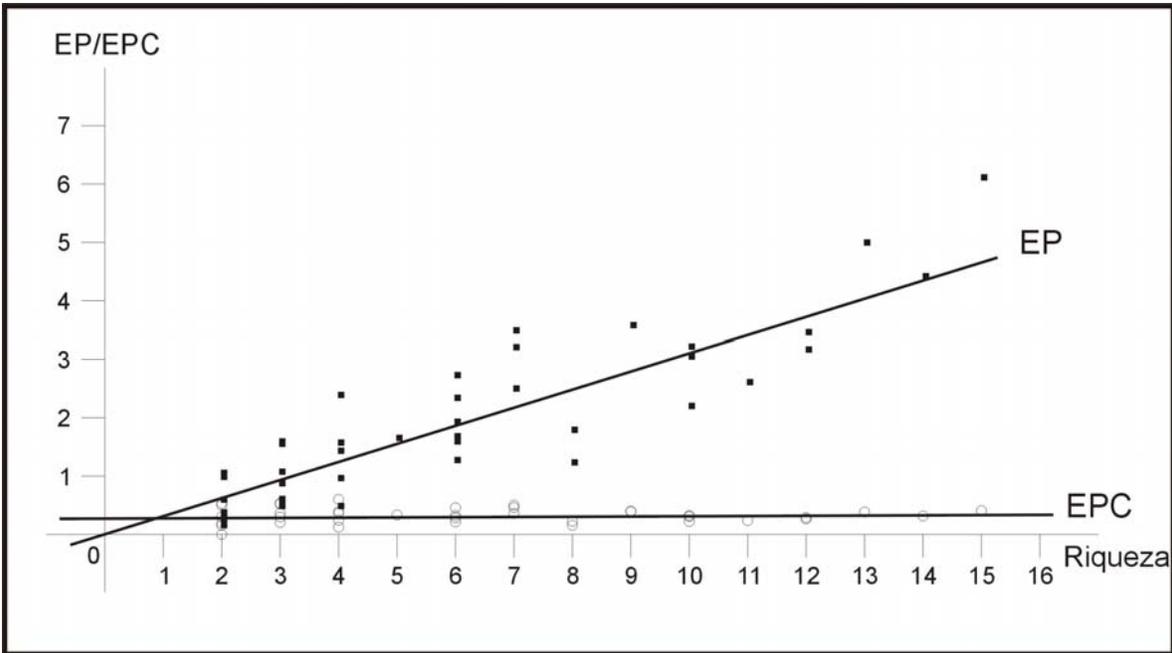


Figura 110. Rectas de regresión de riqueza de especies contra EP y EPC para los cuadros de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . EP.  $r = 0.889 \geq r(v = 64, \alpha = 0.01) = 0.250$ ; EPC.  $r = 0.099 \leq r(v = 64, \alpha = 0.01) = 0.250$ .

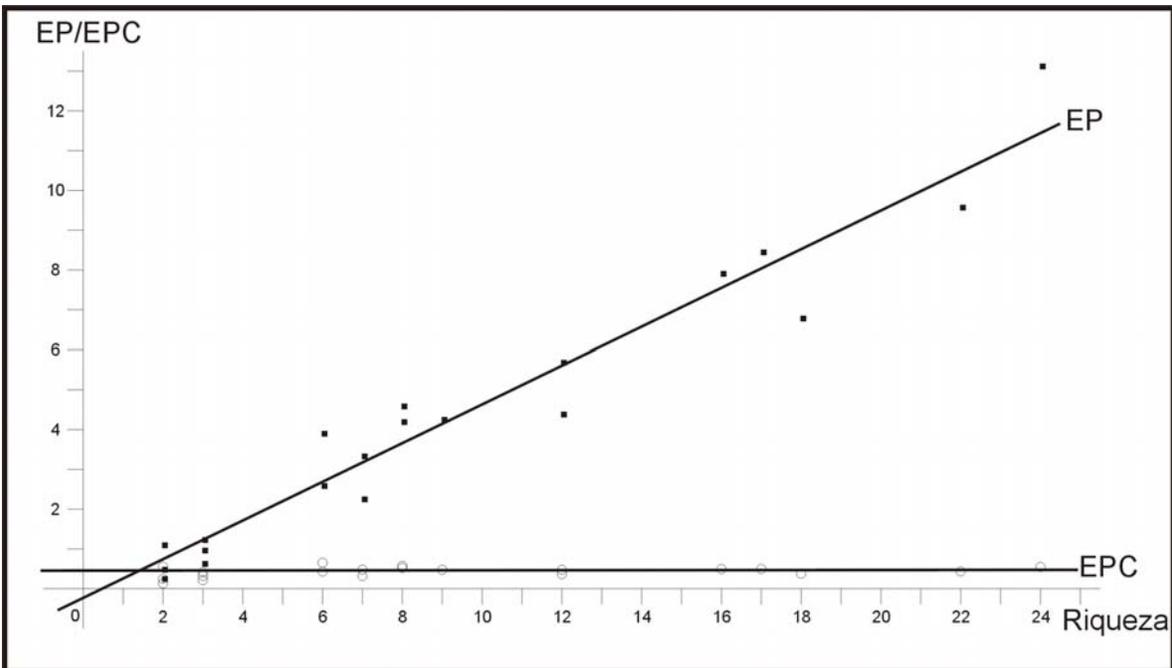


Figura 111. Rectas de regresión de riqueza de especies contra EP y EPC para los cuadros de  $1^\circ \times 1^\circ$ . EP.  $r = 0.974 \geq r(v = 23, \alpha = 0.01) = 0.396$ ; EPC.  $r = 0.242 \leq r(v = 23, \alpha = 0.01) = 0.396$ .

Dados estos resultados se puede concluir que el EPC es una medida de endemismo confiable independiente de la riqueza de especies y por lo tanto tomar a los cuadrantes con altos valores de EPC como áreas de endemismo para la toma de decisiones en el rubro de la conservación.

Esta observación demuestra que áreas ricas en especies tales como Doctor Arroyo, Peñamiller y Zimapán (de los cuadros de 0.5° x 0.5°) pueden ser consideradas menos prioritarias para la conservación, pues las especies existentes ahí se encuentran en otros cuadros que además poseen especies propias (e. g. Tula, Guadalcázar, Xichú, Cadereyta, entre otros). En los cuadros de 1° x 1° se pueden discriminar a cuadrantes como Mier y Noriega y Jalpan ricos en especies, pero no caracterizados por contener especies propias tales como Saltillo-Galeana, Guadalcázar, Cd. Victoria, Xichú, en donde existen las especies de estos cuadros.

El EPC toma en cuenta áreas que el EP excluye tales como Monclova, Monterrey y Rayones (en los cuadros de 0.5° x 0.5°) así como Cd. del Maíz y Querétaro (en los cuadros de 1° x 1°), asignándoles valores altos debido a la proporción de especies de distribución restringida que contienen, independientemente de su riqueza de especies.

Sin embargo, estos valores pudieran estar sobreestimados pues la riqueza existente en los cuadros marcados como más altos (Cuadro 9) podría modificarse, si se toman en cuenta a las especies de otras provincias del país cuya distribución penetra a algunas regiones de la SMO. Esto podría apreciarse principalmente en los cuadros clasificados en segundo, tercero y cuarto lugar en el EPC (Cuadro 9), que se encuentran en el norte y oeste de Coahuila, pues esa zona se encuentra en transición con el Altiplano Mexicano y con regiones de Estados Unidos. Los resultados podrían arrojar que esta área pertenece más bien a otra provincia y no a la SMO quedando entonces los límites de esta última provincia en la parte sur del estado de Coahuila.

En la parte central de la SMO, ubicada en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, este patrón también se manifiesta ya que varias especies que se encuentran en esta zona de la provincia no tienen una distribución preferentemente hacia la SMO (e. g. *Glandulicactus crassihamathus*, *Mammillaria bocasana*, *M. decipiens*, *M. erythrosperma*, entre otras) y los valores muy bajos o muy altos de estos cuadros se deben más bien a la no inclusión de otras especies que a la ausencia natural de estas en esos cuadros.

Aunque algunas especies se distribuyen principalmente en el Altiplano Mexicano y otras propias de otras provincias extienden su distribución hacia esa región, parece ser

que las condiciones extremas imperantes ahí, actúan como un factor limitante en la distribución de muchas especies hacia el interior de ese desierto. Con respecto a esto, existen áreas que podrían verse beneficiadas con futuros análisis donde se incluyan a más especies, especialmente en la región de la SMO que colinda con el Desierto Chihuahuense, esto ayudaría a delimitar con mayor claridad la frontera entre ambas provincias que puede considerarse más bien difusa. Esto no es así hacia el este y el sur de la SMO donde hay barreras naturales evidentes que limitan la distribución de las especies estudiadas aquí, tal es el caso de las partes altas de la propia SMO hacia el este y la Faja Volcánica Transmexicana hacia el sur en donde las condiciones ambientales no son favorables para el desarrollo de estas especies.

El hecho de que sólo se tomen en cuenta a especies que se distribuyan preferentemente en una región, excluyendo a aquellas que presentan otros patrones de distribución, trae como consecuencia que los cuadros de la periferia obtengan valores aparentemente muy bajos o muy altos. Este fenómeno es evidente en los trabajos de Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001) donde se aprecia una clara disminución en la riqueza de especies hacia las zonas donde convergen las áreas analizadas por estos autores con otras regiones: la región noreste de África, cuya distribución de algunos taxones parece continuarse hacia la península Arábiga (Linder, 2001), y la zona de la península del Cabo York en el noreste de Australia, donde parte de la flora existente ahí parece distribuirse también hacia Papua Nueva Guinea e islas contiguas (Crisp *et al.*, 2001).

Por otro lado, la inclusión de especies de distribución restringida tiene sus ventajas, pues define patrones que determinan la flora característica de alguna región y en este caso efectivamente la SMO posee especies de cactáceas propias, distribuyéndose preferentemente hacia la región de sotavento de la cordillera principal de la provincia. Además, dado que el índice EPC no está correlacionado con la diversidad, puede sugerirse entonces que las áreas de endemismo encontradas son válidas (no obstante, dentro de estas áreas deben definirse los límites reales de la distribución de las especies) y que los patrones de la flora cactológica de la SMO son robustos y podrían ser detectados con otros métodos y otros taxones.

Los resultados obtenidos en este análisis pueden servir de base para futuros trabajos donde se incluyan datos de distribución de otros taxones (animales, hongos y otras familias de plantas) y se espera que los valores se mantengan de manera proporcional, dado que las especies de la familia Cactaceae representan un elemento importante de la

flora de climas áridos y la adición de información, probablemente robustecería estos resultados.

Las áreas de endemismo obtenidas mediante el EPC son el resultado del agrupamiento de cuadros, no por las especies que les son propias o que tienen en común, sino por valores altos, por lo que una comparación directa con los resultados del PAE presentados aquí no es posible, pues este método se basa en la búsqueda de áreas de endemismo y la relación entre áreas, con base en las especies compartidas y propias a determinadas regiones. Sin embargo, las áreas encontradas tanto con el PAE como con los índices, muestran fuertes congruencias reflejando que con cualquiera de los dos métodos se puede llegar a la obtención de áreas de endemismo similares y esto denota que ciertas regiones de la SMO son importantes centros en cuanto a su flora cactológica se refiere (e. g. Guadalcázar, Cd. Victoria, Cadereyta, entre otras).

La búsqueda de patrones que reflejen indicios de áreas de endemismo probablemente se relaciona con la elección del tamaño de la gradilla. Linder (2001) hace énfasis en las dimensiones que deberían tener los cuadrantes para buscar patrones y en su trabajo elige una gradilla de tamaño relativamente grande ( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ), pues manifiesta que el objetivo de su estudio es buscar patrones de endemismo y riqueza de especies a nivel continental a través del África tropical. No obstante que Crisp *et al.* (2001) también realizaron su análisis a nivel continental, eligieron una gradilla de menor tamaño ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ) para la búsqueda de patrones en Australia. En ambos trabajos, además de tratar de encontrar patrones que denoten la riqueza de especies y de endemismo, correlacionaron a estas variables con factores medioambientales y dejaron claro que el tamaño de la gradilla elegida puede ser importante y verse reflejado en los resultados debido a que los factores ambientales pueden variar significativamente en cuadrantes de más de 100 km de longitud.

Esto se demuestra en el trabajo de Morrone y Escalante (2002) pues al emplear el PAE para la obtención de cladogramas de áreas de los patrones de distribución de mamíferos terrestres de México, emplearon diferentes unidades geográficas de análisis que fueron desde las más grandes (provincias biogeográficas y ecorregiones) hasta las más pequeñas (cuadrantes de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  y de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ) y sus resultados arrojan que el agrupamiento es mejor definido con áreas naturales que con cuadrantes, siendo la gradilla de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  la que produjo el cladograma de consenso con una gran politomía.

Estos resultados parecerían ser contradictorios con la idea de Linder (2001) y Crisp *et al.* (2001) en cuanto al tamaño de las áreas pues mientras Morrone y Escalante (2002)

obtienen patrones evidentes con áreas grandes pero principalmente naturales y definidas por un número considerable de especies, los primeros autores sugieren que patrones más finos se hallarían con áreas más pequeñas. Esta incongruencia es aparente pues Morrone y Escalante (2002) no mencionan cuántas especies exclusivas se encuentran en cada uno de los cuadrantes de las gradillas que emplearon en su análisis. Pudiera ser que ciertas especies limiten su distribución a regiones particulares, de manera que podrían ser reconocidas como microendémicas teniendo, por ejemplo, un área de distribución inferior a 2500 km<sup>2</sup> (aproximadamente el área de un cuadro de 0.5° x 0.5°), encontrando entonces patrones congruentes entre los resultados de Linder (2001), Crisp *et al.* (2001), con los presentados aquí y definiendo, a su vez, áreas de endemismo dentro de cada una de las provincias analizadas por ejemplo, en el trabajo de Morrone y Escalante (2002).

## **REPRESENTATIVIDAD EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN**

### **Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

En las ANP, a diferencia de las RTP y AICAS, se encuentra el número más bajo de cactáceas de distribución restringida y con problemas de conservación existentes dentro de los límites de la SMO, dado que sólo 19 especies (17%) ocurren en alguna de las cinco ANP mencionadas en el Cuadro 12.

En el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, por ejemplo, se obtuvo que sólo *Coryphantha poselgeriana* tiene parte de su distribución en esa área, pero según Pinkava (1984), también se distribuyen ahí *Astrophytum capricorne* y *Echinocereus longisetus*, especies de las que no se obtuvieron ejemplares de herbario que respaldaran su distribución en el área. *A. capricorne* es de las 32 especies que no están representadas en ningún sistema de conservación aquí analizados. Dos especies más con problemas de conservación que este autor refiere a Cuatrociénegas, restringidas probablemente a la SMO no pudieron ser incluidas en este análisis dado que de *Acharagma aguirreana* y de *Coryphantha werdermannii* tampoco se encontraron ejemplares de herbario. Este autor también lista a nueve especies existentes en Cuatrociénegas (que se encuentran en alguna categoría de riesgo) que no fueron incluidas en este trabajo por no ser endémicas a la SMO, ya que además de distribuirse en la provincia también se encuentran en el Altiplano Mexicano y aún más allá del territorio nacional.

Finalmente, 27 especies más son referidas por este autor como existentes en Cuatrociénegas y en total se tiene que en Cuatrociénegas existen 42 especies (de acuerdo con Guzmán *et al.*, 2003) referidas por Pinkava (1984), de las cuales algunas pudieron haber sido incluidas en este análisis tomando en cuenta su distribución restringida.

Hacia el sur de la SMO se encuentra la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán donde se obtuvieron registros para siete especies cuya distribución se restringe a la SMO. En Sánchez-Mejorada (1978) se reportan 48 especies de las cuales 12 se encuentran actualmente en alguna categoría de riesgo, ya sea en la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002) o en la lista roja de la UICN. De estas especies, siete no son endémicas a la provincia y las cinco restantes están incluidas en este trabajo. Para dos especies no listadas por este autor (*Mammillaria humboldtii* y *M. schiedeana*) se encontraron ejemplares de herbario para la región y la primera especie es considerada endémica de la Barranca de Metztitlán teniendo un intervalo de distribución muy estrecho.

En la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda se encontró el mayor número de especies (9) y tres de estas también se encuentran en la Barranca de Metztitlán (Cuadro 12). En el programa de manejo de esta reserva ([www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)) se listan 22 especies de la familia Cactaceae de las cuales siete se encuentran con problemas de conservación, pero de estas *Echinocactus platyacanthus* no es endémica de la SMO. Con respecto a las seis especies restantes, cinco sí están incluidas en este trabajo, mientras que de *Echinocactus grusonii* no se encontraron registros dentro de los límites de la Sierra Gorda pues los únicos ejemplares de herbario revisados corresponden a la región de la zona limítrofe entre los estados de Hidalgo y Querétaro donde en la actualidad se encuentra la presa de Zimapán.

Por lo tanto, el listado del programa de manejo de la Sierra Gorda y los resultados de este trabajo, sólo coinciden en cinco especies (*Astrophytum ornatum*, *Lophophora diffusa*, *Mammillaria hahniana*, *M. parkinsonii* y *Pilosocereus cometes*) y aquí se encontró que además *Aporocactus flagelliformis*, *Mammillaria longimamma*, *Strombocactus disciformis* y *Thelocactus leucacanthus* tienen localidades que se encuentran dentro del polígono de la reserva.

Por el contrario, en Arreguín-Sánchez y Fernández-Nava (2004) se enlistan a 42 especies de cactáceas, 20 más que en el programa de manejo de la CONANP, de las cuales 10 tienen problemas de conservación y de estas, ocho son consideradas endémicas o cuasiendémicas para la SMO y están contenidas en este estudio.

*Mammillaria decipiens* es citada en Arreguín-Sánchez y Fernández-Nava (2004) sin embargo, no se encontraron registros en este trabajo para la Sierra Gorda. Por otro lado, en el listado de estos autores no se consideran a *A. flagelliformis* y *M. parkinsonii* de las cuales en este estudio sí se encontraron ejemplares de herbario para la ANP, de manera que el listado de estos autores y los resultados presentados aquí coinciden únicamente para siete especies. Si se conjunta la información de los tres trabajos se tiene que 11 especies tienen localidades dentro de los límites de la reserva (las nueve especies citadas aquí, *E. grusonii* referido por la CONANP y *M. decipiens* listada por Arreguín-Sánchez y Fernández-Nava (2004), no obstante habría que corroborar estas distribuciones ya sea con ejemplares colectados previamente a los cuales no se pudo tener acceso para este trabajo, o bien realizar exploraciones en campo y comprobar su existencia dentro de los límites de la reserva.

La mayoría de las ANP ubicadas en la SMO son de pequeñas dimensiones (excepto Sierra Gorda, Cumbres de Monterrey y Maderas del Carmen, las cuales tienen dimensiones mayores al D. F., por ejemplo) y gran parte de sus áreas corresponden a tipos de vegetación donde la existencia de cactáceas no es muy común (encinares, selvas y bosques mesófilos). Deberían realizarse colectas botánicas sistemáticas que cubran toda el área de cada reserva con la finalidad de proveer listados confiables de la flora cactológica de cada región. Estos trabajos, en adición a análisis realizados con otros taxones (e. g. animales, hongos y otras familias de plantas) robustecerían el catálogo de especies, con lo cual se podría evaluar si las ANP están verdaderamente cumpliendo con su papel en la conservación de la biota mexicana. Quizá esto pudiera dar la pauta para redefinir los límites de las ANP existentes o promover la creación de otras regiones que garanticen la adecuada protección de las especies existentes en el territorio nacional.

Una gran cantidad de especies microendémicas propias del centro de la SMO no tienen protección dado que no existen reservas en zonas de gran diversidad tales como Cd. del Maíz, El Huizache y Matehuala en San Luis Potosí, Mier y Noriega, Doctor Arroyo, Rayones y Galeana en Nuevo León y Tula, Jaumave, y la parte este de Cd. Victoria en Tamaulipas. No obstante, algunas regiones pertenecen o se encuentran parcialmente incluidas en reservas estatales (El Huizache pertenece a la reserva "Real de Guadalcazar" y parte de la reserva "El Cielo" se extiende al Valle de Jaumave).

De acuerdo a la distribución conocida de las especies analizadas aquí, se observa que las localidades de algunas de ellas quedan apenas por fuera de los límites de algunas ANP (*Echinocereus knippelianus*, *Glandulicactus crassihamathus*, *Mammillaria lenta*, *M.*

*decipiens*, *M. mathildae*, *Mammilloidya candida*, *Turbinicarpus alonsoi*, *T. subterraneus*, *T. valdezianus*). La mayoría de las ANP consideran entre los ecosistemas presentes (aunque en porcentajes menores) al matorral xerófilo, matorral submontano y bosques tropicales caducifolio donde suelen prosperar gran número de cactáceas. Algunas ANP fueron creadas con un enfoque antropocéntrico o bien con la finalidad de proteger ecosistemas con densa vegetación arbórea (encinares, pinares, etc.) relegando, en ocasiones, a la vegetación xerófila sólo como parte de las zonas de amortiguamiento, de manera que la probabilidad de que especies adaptadas a condiciones ambientales particulares no prosperan precisamente en esos ecotonos es alta. Un caso extremo en este sentido es el Parque Nacional Cerro de las Campanas ubicado en Querétaro, donde el “ecosistema” presente es ¡reforestación de eucalipto! Esta es un área prácticamente inservible pues este árbol produce sustancias alelopáticas que impiden que otras especies crezcan o se desarrollen adecuadamente, de manera que en esa región por el momento solamente crece esta especie introducida hace ya muchos años al territorio nacional y que, paulatinamente puede ir ganando terreno, el cual debería ser ocupado por vegetación propia de la región. Este lugar debería servir como ejemplo para poner en práctica proyectos orientados a la recuperación de zonas deterioradas por el inadecuado manejo y uso del hombre, de manera que se promuevan trabajos dirigidos a la restauración ecológica y funcionar como laboratorios naturales donde se pongan en práctica técnicas que motiven su implementación en otras zonas del país con problemas similares y no cubrir extensas regiones con vegetación exótica.

### **Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)**

Las RTP existentes en la SMO cubren un área mucho más extensa que las ANP, además de que las supera en número. Muchas de estas regiones son de grandes dimensiones (e. g. Tokio, Sierra Gorda-río Moctezuma) y sus límites se basan en criterios bióticos y abióticos de modo que en cada región se favorezcan condiciones ambientales para el sostenimiento de la biodiversidad, contrariamente al hecho de que algunas ANP fueron decretadas por sus bellezas naturales, usos recreacionales, importancia histórica o enfocadas a salvaguardar una o pocas especies animales o vegetales, por lo que las áreas importantes para la conservación de la biodiversidad no están incluidas (Peterson *et al.*, 2000).

Estas RTP tienen el propósito de servir como marco de referencia para ser anexadas al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP), con problemas de manejo que garanticen la preservación de los ambientes existentes, pero desafortunadamente hasta hoy ninguna de estas regiones ha sido decretada oficialmente como parte de las ANP.

La representatividad de las cactáceas en las RTP es superior que en las ANP, esto es esperado ya que como se ha mencionado, superan en número y extensión a las ANP. Pese a que la mayor parte de estas regiones contemplan vegetación templada, algunas de estas se ubican en zonas estratégicas donde la concentración de cactáceas es importante (e. g. Valle de Jaumave, El Huizache), y esto es evidente en los resultados. Sin embargo, sólo poco más de la mitad de las especies estudiadas aquí (56%) se encuentran en al menos una RTP, quedando una vez más, gran número de especies desprotegidas (Cuadro 12), muchas de las cuales son microendémicas (e. g. *Aztekium hintonii*, *Coryphantha maiz-tablasensis*).

La RTP Cuatrociénegas tiene las mismas dimensiones que el ANP del mismo nombre y el análisis comparativo de su representatividad de cactáceas ha sido ya descrito en el apartado anterior.

Existe una RTP ubicada igualmente en Coahuila que corresponde a la Sierra de La Paila; sus límites aproximados se consideran a partir de la cota altitudinal de los 1100 msnm y la vegetación predominante es el matorral xerófilo, existiendo en reducidas áreas bosques de pino y pastizales. En este trabajo, se registraron únicamente localidades de *Echinocereus longisetus* en esta RTP, sin embargo, en el trabajo de Moeller-Villar (1993) se reportan seis especies (incluidas en este trabajo pero de las que no se obtuvieron registros dentro de esta RTP) además de reportar la existencia de *Acharagma aguirreana*, especie sujeta a protección especial y no incluida en este análisis. Sin embargo, de acuerdo a las localidades obtenidas de *Ariocarpus kotschoubeyanus*, *Astrophytum capricorne*, *Leuchtenbergia principis*, *Thelocactus rinconensis* y *Turbincarpus beguinii*, es probable que efectivamente dichas especies se distribuyan en la Sierra de La Paila y regiones circunvecinas. De hecho, en un estudio realizado en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila (Wehbe y Elizondo, 1986) se reporta la existencia de 50 especies y 11 citadas para el municipio por otros autores, pero que los primeros no lograron encontrar.

De manera que si se toman en cuenta ambas cifras, se tiene que de las 61 especies probablemente distribuidas en Ramos Arizpe, 17 se encuentran con problemas de conservación y son consideradas endémicas o cuasiendémicas a la SMO en este trabajo.

Dos de estas especies no fueron incluidas en este análisis (*Thelocactus macdowellii*, *Turbincarpus mandragora*) por presentar descripciones deficientes en la localidad o por no haberse encontrado ejemplares de herbario. En este trabajo se encontraron registros de seis de estas especies con problemas de conservación para el municipio de Ramos Arizpe, de las referidas por Wehbe y Elizondo (1980), además se encontraron ejemplares de herbario de las nueve especies restantes de las cuales algunas localidades se encuentran cerca del límite municipal de Ramos Arizpe. Ciertas causas que pudieran afectar la discrepancia en los resultados presentados aquí con los obtenidos por otros autores se manifiestan en el apartado de consideraciones finales.

Tanto en el trabajo de Moeller-Villar (1993) para la Sierra de La Paila como en Wehbe y Elizondo (1986) para el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, las especies reportadas no son congruentes entre sí sobre todo por el hecho de que en Wehbe y Elizondo (1986) no reportan las especies que el primer autor menciona para su estudio, además de que no es posible definir qué especies se encontraron en cada muestreo dado que no refieren esos datos. Por ejemplo, Moeller-Villar (1993) reporta la presencia de *Ariocarpus kotschoubeyanus* que Wehbe y Elizondo (1986) no mencionan y que probablemente se encuentre en otras partes del municipio, además de poder estar en los alrededores de la Sierra de la Paila. Esta especie está distribuida desde las inmediaciones de Cadereyta, Querétaro hasta el centro de Coahuila.

Hacia la parte oeste del estado de Tamaulipas se ubica la RTP Valle de Jaumave y en este estudio se encontraron registros para 12 especies en esa región (Cuadro 12). En el trabajo de Martínez-Ávalos y Jiménez (1993) se reportan 52 especies para el Valle de Jaumave, de las cuales 15 tienen problemas de conservación. Dos de estas especies no fueron incluidas en este análisis y de cuatro no se encontraron registros que respaldaran su distribución en esa área: *Mammillaria albicoma*, *M. melaleuca*, *Turbincarpus gielsdorfianus* y *T. subterraneus*. No obstante, aquí se obtuvieron registros para tres especies (*Coryphantha glanduligera*, *Mammillaria carmenae*, *M. roseoalba*) que los autores no registraron para el área.

Probablemente una de las razones de esta discrepancia se deba a que los límites de la RTP no coinciden con el área muestreada por estos autores, ejemplo de esto es la localización de *M. carmenae*, que se considera existe sólo en un área muy reducida perteneciente al municipio de Victoria. Quizá estos autores limitaron su trabajo propiamente al valle discriminando parte de las sierras circundantes, las cuales son consideradas dentro de la RTP y donde se encuentran las poblaciones de esta especie.

Hacia el este del Valle de Jaumave se encuentra el municipio de Victoria, donde Hernández (1998) refiere 39 especies, de las cuales 13 tienen problemas de conservación y de estas 10 fueron consideradas endémicas o cuasiendémicas a la SMO e incluidas en este trabajo. Aunque esta región no forma parte de la RTP Valle de Jaumave, se consideró su análisis dada la cercanía con la mencionada región y su afinidad de flora cactológica. De acuerdo con los límites del municipio de Victoria, en este trabajo se obtuvieron únicamente registros para *Mammillaria laui* y de 5 de las 9 especies restantes se obtuvieron registros para el municipio de Jaumave, muy cerca de la zona limítrofe con Victoria. La discusión acerca de la falta de información en este trabajo para algunas especies se encuentra en el apartado de consideraciones finales.

El Valle de Jaumave y la región de sotavento del municipio de Victoria, podrían considerarse como parte integral de una sola región dado que la distribución de algunas especies ocupa parte de esta área (e. g. *Mammillaria baumii*, *M. carmenae*, *M. laui*, *M. roseoalba*, *Obregonia denegrii*).

### **Áreas de Importancia para la conservación de las Aves (AICAS)**

Las AICAS coinciden en gran medida con las RTP y algunas ANP, de manera que la discusión acerca de la representatividad en esas áreas está ya contemplada en los apartados anteriores. Sin embargo cuatro especies no representadas en las ANP ni en las RTP sí se encuentran en algunas AICAS: *Aztekium ritterii*, en la Sierra de Arteaga; *Mammillaria aurihamata*, en la Sierra Catorce; *Turbincarpus pseudopectinatus* y *T. zaragozae*, en San Antonio Peña Nevada.

Es evidente que a mayor número de áreas y de mayores dimensiones el porcentaje de especies protegidas aumenta, no obstante varias áreas no están enfocadas para la protección exclusiva de la biota propia de ambientes áridos, donde la mayoría de las especies de cactáceas prosperan; sin embargo, para proteger a la totalidad de cactáceas con problemas de conservación, o bien de distribución restringida, tendrían que modificarse los límites de muchas áreas o regiones, además de proponer nuevas zonas. La idea propuesta de Hernández y Bárcenas (1995) es importante y hasta cierta medida una de las opciones más viables, pues proponen que para cubrir la distribución de las especies microendémicas podría crearse una red de reservas esparcidas, las cuales podrían ser de dimensiones pequeñas.

Por último, considerando a las especies referidas en los diferentes trabajos citados aquí y de las cuales no se encontraron registros en alguna área de conservación, el número de especies protegidas asciende a 59 (67%), es decir sólo se anexan tres especies más (*Acharagma roseana*, *Astrophytum capricorne* y *Mammillaria melaleuca*) a las que teóricamente se encuentran protegidas (Cuadro 12), y aunque el porcentaje es relativamente alto, hace falta tomar en cuenta a la totalidad de las especies sobre todo que gran parte de ellas son microendémicas (e. g. *Aztekium hintonii*, *Coryphantha maiztablasensis*, *Geohintonia mexicana*, *Mammillaria grusonii*, *M. mathildae*, *Stenocactus sulphureus*, *Thelocactus hastifer*, *Turbincarpus alonsoi*, entre otras).

## CONSIDERACIONES FINALES

Desafortunadamente, al restringir la obtención de la información únicamente a los ejemplares de herbario, muchas especies quedaron excluidas (e. g. *Turbincarpus lophophoroides*, *Echinocereus schmollii*) y aunque en algunas publicaciones (Hernández *et al.*, 2001) se hace referencia de algunas especies (e. g. *Ariocarpus agavoides*), esto es más bien la excepción que la regla, por lo que se determinó, no incluir estos datos, pues en la mayoría de las publicaciones las coordenadas geográficas no se mencionan.

De igual forma, al tomar como base para la selección de taxones a Guzmán *et al.*, 2003, algunas especies quedaron excluidas del análisis por ser consideradas subespecies de otras (*Ariocarpus bravoanus* se considera subespecie de *A. fissuratus*) cuya distribución no es preferentemente en la SMO; o bien, al ser consideradas como subespecies de otras fueron consideradas en conjunto (e. g. *Turbincarpus knuthianus* subespecie de *T. saueri*, *Mammillaria gasseriana* sinonimia de *Mammillaria stella-de-tacubaya*).

Este estudio pretende demostrar el valor de los datos de colecta, tal y como se encuentran en los herbarios.

La inclusión de las 23 especies cuasiendémicas en el presente estudio se debió a: 1) que son especies listadas en la Norma Oficial Mexicana ECOL-059-2001 (SEMARNAT, 2002) o en la Lista Roja de UICN ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)), 2) que su distribución es preferentemente en la Sierra Madre Oriental, 3) que la mayor parte de las localidades están incluidas en algunos de los cuadros de las gradillas elaboradas que no necesariamente se ubican totalmente dentro de los límites de la provincia y 4) que algunas de las subespecies aceptadas (e. g. *Mammillaria decipiens* subsp. *decipiens*) o

sinonimias de especies aceptadas (e. g. *Mammillaria phantasma*) están en alguna categoría de riesgo. A este respecto, existen algunas especies que no fueron incluidas por las restricciones mencionadas o bien por no haberse encontrado ejemplares de herbario. Esto podría haber afectado los resultados y posiblemente manifestar otros patrones de distribución, sin embargo, la adición de la totalidad de las especies propias de la SMO (aún sin problemas de conservación) podría robustecer las áreas de endemismo sugeridas aquí.

Con respecto a *Mammillaria zeilmanniana* y de la cual sólo se tiene un registro, no se puede asegurar que tenga una distribución más amplia. Sin embargo, fue incluida en el análisis dado que la localidad queda comprendida en el cuadro Querétaro de la gradilla de 1° x 1° y en el cuadro El Zamorano de la gradilla de 0.5 ° x 0.5° (Figs. 4 y 5).

Existen algunos ejemplares cuyas localidades son dudosas, pues su ubicación sugiere que falta trabajo de campo para corroborar dicha distribución, o bien que esté mal determinada. Tal es el caso de *Mammillaria coahuilensis*, de la que sólo se encontró un registro y éste se encuentra en el municipio de Mazapil en Zacatecas (Fig. 46) y aunque está cerca de la frontera con Coahuila, no existen ejemplares depositados en los herbarios consultados que señalen su distribución en otras regiones; en Guzmán *et al.* (2003) la registra únicamente para el estado de Coahuila (de donde proviene el epíteto específico) y este primer autor (Guzmán, com. pers.) pone en duda la determinación correcta de los dos únicos ejemplares depositados en MEXU. Otros dos casos similares son el de *Aporocactus flagelliformis*, que presenta un registro en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, mientras que el resto de los registros se encuentran desde los alrededores de Jalapa, Veracruz hasta el noreste de Guanajuato (Fig. 10) y el de *Coryphantha glanduligera*, de la cual se encontró un registro cuya localidad se ubica en el norte del estado de Nuevo León, mientras que la mayoría de las localidades se concentran hacia la zona limítrofe de Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas (Fig. 21). La determinación de estos ejemplares de herbario depositados en el Herbario Nacional (MEXU) se complica, por el hecho de que no cuentan con estructuras reproductivas.

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto por el PAE como con los índices, se presenta la posibilidad de subdividir a la SMO en dos o quizá tres regiones en cuanto a las especies características de cada zona. Las principales barreras que marcan estas disyunciones son la cuenca del Pánuco y el sistema montañoso Saltillo-Monterrey.

La Cuenca del Pánuco es una depresión que tiene una dirección aproximada suroeste-noreste y marca una importante barrera que limita la distribución tanto de las especies del

sur de la SMO como de las del centro. Dicha barrera se torna difusa conforme se aleja de la costa, de manera que hacia el centro del estado de Querétaro, este de Guanajuato y suroeste de San Luis Potosí desaparece, permitiendo la existencia relativa de un “corredor”, por donde pudo continuarse la distribución de algunas especies. Sin embargo, hacia esa región comienza a presentarse la aridez propia del Altiplano Mexicano, de manera que a su vez limita la distribución de especies hacia el centro del país.

El sistema montañoso Saltillo-Monterrey es un conjunto de sierras que inicia aproximadamente al sur de Monterrey y se continúa hacia el sur de Saltillo, donde rápidamente comienza a perder altitud hasta llegar al norte de Gómez Farías, Coahuila, derivando en un conglomerado de lomeríos los cuales dejan varias planicies entre ellos. Este sistema montañoso tiene una dirección noroeste-sureste y altitudes de poco más de 3000 m. Estas sierras marcan la distribución norte de varias especies del centro de la SMO, quedando como corredor hacia el norte de la provincia las partes bajas de este sistema montañoso, de manera que algunas especies se distribuyen hasta el centro-sur de Coahuila.

El área donde se distribuyen las cactáceas de la SMO se encuentra de alguna manera rodeada de barreras que limitan su distribución, lo cual pudo haber sido un factor determinante en la caracterización y especiación de la flora cactológica de la provincia. Esta área puede definirse desde el centro de Hidalgo en dirección noroeste hasta las inmediaciones de la Sierra de La Paila y quizá hasta Cuatrociénegas.

Hacia el este de esta área, se encuentran las partes altas de la SMO cuya vegetación predominante son encinares, bosques de pino y mesófilos de montaña. Este sistema montañoso se encuentra desde el norte de Puebla y se continúa en dirección noroeste hasta Saltillo-Monterrey. Las cactáceas encuentran su hábitat en la región de sotavento de esta cordillera donde, en consecuencia de la sombra orográfica producida por la misma sierra, la precipitación pluvial se hace más cada vez más escasa.

Hacia el sur de la provincia, se encuentra la Faja Volcánica Transmexicana donde existen los picos más altos del país. Esta barrera es el límite sur de la distribución de muchas especies, aunque algunas se encuentran más allá de esta cordillera (e. g. *Echinocactus platyacanthus*, *Myrtillocactus geometrizans*). Las especies del sur de la SMO limitan su distribución hacia el centro del estado de Hidalgo y zonas contiguas de Veracruz, así como hacia el centro sur de Querétaro.

Hacia el oeste de la provincia se encuentra el Altiplano Mexicano, que también funciona como barrera. Como se ha mencionado antes, las condiciones extremas en esta

zona árida son un factor limitante para que varias especies se distribuyan en esa región, a diferencia de las condiciones climáticas que tienden a ser más estables en las partes bajas de la cordillera de la SMO, donde el porcentaje de humedad relativa proveniente del Golfo de México no se pierde por completo como hacia el interior del Altiplano Mexicano, donde hay sequías que pueden prolongarse incluso por varios años.

Finalmente, hacia el norte de la SMO se encuentran las mismas condiciones que ofrece el Altiplano Mexicano, continuándose hacia Estados Unidos en el estado de Texas, donde se observa una clara disminución en la riqueza de especies. Sin embargo, muchas especies que se distribuyen en el norte de la SMO y en el Altiplano Mexicano extienden su distribución hacia el sur de Estados Unidos, como por ejemplo *Ariocarpus fissuratus*, *Echinocereus poselgeri*, *Epithelantha micromeris*, *Escobaria dasyacantha*, *Glandulicactus uncinatus*, *Lophophora williamsii*, *Thelocactus bicolor*, entre otras.

Con respecto a las áreas de conservación, existen algunas regiones propuestas que aunque tienen carácter de reserva estatal (Área Natural Protegida Real de Guadalcázar) no fueron consideradas por el hecho de no estar incluidas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) y el polígono de dicha región, no pudo obtenerse en versión digital. Sin embargo, algunas de estas áreas se encuentran en lugares claves para la protección de muchas especies incluidas en este estudio.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo representa una contribución donde se propone la delimitación de áreas de endemismo con base en especies de distribución restringida de la familia Cactaceae en la SMO.

La información disponible de la familia Cactaceae en los principales herbarios del país no es congruente con la distribución conocida de muchos taxones, y esto se debe en gran parte a que un porcentaje considerable de los ejemplares colectados quedan confinados a herbarios locales o extranjeros o bien, resguardados en colecciones de plantas vivas, muchas de las cuales son de carácter privado, por lo que la información queda sepultada en las libretas de estos colectores y los especímenes fuera del alcance de muchos investigadores. Por otro lado, también es frecuente que las etiquetas de los ejemplares carezcan de datos relacionados con su distribución o de información precisa de la localidad de recolecta.

Los resultados obtenidos con el PAE manifiestan, de manera general, tres regiones que se relacionan por su flora cactológica y aunque el uso de dos gradillas de tamaño distinto arrojan áreas de endemismo diferentes, reflejan patrones similares, indicando que el centro y sur de la SMO son regiones donde se concentra un alto porcentaje de especies de distribución restringida. Estas áreas debido a la gran diversidad de hábitats existentes por el complejo relieve, tipos de suelo, vegetación y clima, han favorecido la diversificación y la especialización de muchos taxones a ambientes con características medioambientales específicas.

Los resultados de los índices de endemismo encuentran más o menos las mismas áreas entre sí. No obstante se reflejan que las áreas caracterizadas por contener especies microendémicas también tienen una alta diversidad. Dado que la correlación entre la riqueza de especies y el EPC no es significativa, se puede tomar a esta última variable como una medida confiable del endemismo. Este índice define regiones que son congruentes con los resultados del PAE presentados aquí.

Es necesario redefinir los límites de las áreas de conservación ya propuestas o crear nuevas con el objetivo de incluir a los hábitats donde las cactáceas de distribución restringida prosperan. Las áreas y los ambientes donde existen son en ocasiones tan reducidos y frágiles, que la modificación por el cambio de uso de suelo o la creación de vías de comunicación podrían acabar con poblaciones enteras e incluso provocar la extinción de las especies. La comunidad científica debe proponer planes, proyectos y

estrategias que motiven a las autoridades a realizar y ejecutar iniciativas que se enfoquen a la conservación del ambiente con planes de manejo que beneficien a las poblaciones locales que muchas veces dependen de estos lugares para sobrevivir.

Si es cierto que la familia Cactaceae es relativamente joven y que actualmente está en proceso de diferenciación (Guzmán *et al.*, 2003), las poblaciones de las especies microendémicas, más que estar colapsando su distribución, actualmente se están adaptando a condiciones cada vez más generales. Desafortunadamente, las presiones humanas han modificado gran parte de los espacios que podrían ocupar algunos taxones, por lo que las opciones de colonizar nuevos hábitats cada vez son menos probables y quizá en el futuro algunas especies queden relegadas verdaderamente a espacios muy reducidos. La gran diversidad de formas vivientes y de paisajes que existen en México es una riqueza de gran valor económico, científico y cultural, con la que todos debemos estar comprometidos, no sólo para explotarla conciente e inteligentemente, sino estudiarla y conservarla para la posteridad. Está en las manos de la comunidad científica y del gobierno crear, promover y fomentar proyectos y acciones de diversas índoles que se relacionen con la educación y el aprendizaje, hacia una coexistencia con la naturaleza cada vez más afín con el propósito original de la vida.

El proceso evolutivo es lento a nuestros ojos. México tiene la fortuna de albergar el mayor porcentaje de especies de esta familia endémica al continente americano y si la humanidad continua devastando el ambiente en aras del progreso no armónico con la naturaleza, el futuro será incierto para una familia que apenas comienza a ver la luz (*dixi*).

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Aguilar, R., R. Contreras-Medina y G. Salgado-Maldonado. 2003. Parsimony Analysis of Endemicity (PAE) of Mexican hydrological basins based on helminth parasites of freshwater fishes. *Journal of Biogeography* **30**: 1861-1872.
- Arizmendi, M. C. y L. Márquez (editores). 2000. *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves de México (AICA's)*. Cipamex-CONABIO-CCA-FMCM. México, D. F.
- Arreguín-Sánchez, M. L. y R. Fernández-Nava. 2004. Flora de la Sierra Gorda, Querétaro. En: Luna, I. J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental: un enfoque multidisciplinario*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 193-214.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coord.). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. CONABIO, México. [www.conanp.gob.mx/anp/](http://www.conanp.gob.mx/anp/).
- Bárceñas, R. T. 1999. *Patrones de distribución de cactáceas en el estado de Guanajuato*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Benson, L. 1982. *The Cacti of the United States and Canada*. Stanford University Press. Stanford.
- Bravo. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. I. Segunda Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991a. *Las cactáceas de México*. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991b. *Las cactáceas de México*. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Brummitt, R. K. y C. E. Powell. 1992. *Authors of plant names*. Royal Botanic Gardens, Kew, Inglaterra.
- Buxbaum, F. 1958. The phylogenetic division of the subfamilia Cereoideae, Cactaceae. *Madroño* **14**: 177-216.
- Casas-Andreu, G. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Provincias herpetofaunísticas. Mapa IV.8.6.A. *Atlas Nacional de México*. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.

- Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo-Olguín, R. Lucero-Márquez, J. M. Espinoza-Rodríguez, E. Miranda-Viquez y A. Pineda-Velázquez. 1990. Clasificación de regiones naturales de México II, IV.10.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1: 4 000000. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Cipamex-Conabio. 1999. *Áreas de importancia para la conservación de las aves*. Escala 1: 250000. Consejo Internacional para la preservación de las Aves Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- CONABIO. 1997. *Provincias biogeográficas de México*. Escala 1: 4 000000. México.
- CONABIO. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- CONABIO. 1999. *Ecorregiones de México*. Escala 1: 1 000000. México.
- Cota, J. H. y R. S. Wallace. 1996. La citología y la sistemática molecular en la familia Cactaceae. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **41**: 27-44.
- Cracraft, J. 1991. Patterns of diversification within continental biotas: hierarchical congruence among the areas of endemism of Australian vertebrates. *Australian Systematic Botany* **4**: 211-227
- Craw, R. C. 1988. Continuing the synthesis between panbiogeography, phylogenetic systematics and geology as illustrated by empirical studies on the biogeography of New Zealand and the Chatham Islands. *Systematic Zoology* **37**: 291-310.
- Crisci, J. V., L. Katinas y P. Posadas. 2000. *Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica*. Sociedad Argentina Botánica. Buenos Aires, Argentina.
- Crisp, M. D., S. Laffan, H. P. Linder y A. Monro. 2001. Endemism in the Australian flora. *Journal of Biogeography* **28**: 184-198.
- Dony, J. G. y Denholm, I. 1985. Some quantitative methods for assessing the conservation value of ecologically similar sites. *Journal of Applied Ecology* **22**: 229-238.
- Downie, S. R., y J. D. Palmer. 1994. A chloroplast DNA phylogeny of the Caryophyllales based on structure and inverted repeat restriction site variation. *Systematic Botany* **19**: 236-252.
- Espinosa, D., C. Aguilar y S. Ocegueda. 2004. Identidad biogeográfica de la Sierra Madre Oriental y posibles subdivisiones bióticas. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental: un enfoque multidisciplinario*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 487-500.
- ESRI. 2001. *ArcView GIS versión 3.2a*. Environmental Scientific Research Institute, Inc., E. U.

- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. Provincias biogeográficas con base en rasgos morfotectónicos. Mapa IV.8.10. *Atlas Nacional de México*. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- García-Trejo, E. y A. Navarro. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. *Acta Zoológica Mexicana* **20** (2): 167-185.
- Goloboff, P. 1997. *NONA versión 2.0*. Publicado por el autor.
- Gómez-Hinostrosa, C. y H. Hernández. 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiversity and Conservation* **9**: 403-418.
- González-Zamora, A. 2003. *Biogeografía histórica de las especies de la familia Asteraceae endémicas a los bosques templados de la Sierra Madre Oriental*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.
- Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. UNAM, CONABIO. México, D. F.
- Hernández-Cerda, M. y G. Carrasco-Anaya. 2004. Climatología. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 63-108.
- Hernández, H. y R. Bárcenas. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Conservation Biology* **9** (5): 1176-1188.
- Hernández, H., C. Gómez-Hinostrosa y R. Bárcenas. 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hotspot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation* **10**: 1097-1112.
- Hernández, J. T. 1998. Cactáceas del municipio de Victoria, Tamaulipas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **43** (1): 17-23.
- Herrera, P. 2005. *Análisis biogeográfico de los musgos del estado de Querétaro*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM, México, D. F.
- INEGI. 1981. *Carta topográfica*. Ciudad Valles. F14-8. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1982. *Carta topográfica*. Pachuca. F14-11. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1991a. *Carta topográfica*. Pachuca. Hidalgo. F14D81. Escala 1: 50 000.
- INEGI. 1991b. *Carta topográfica*. Zacualtipán. Hidalgo. F14D62. Escala 1: 50 000.
- INEGI. 1993. *Carta topográfica*. Metztlán. Hidalgo. F14D61. Escala 1: 50 000.
- INEGI. 1995. *Carta topográfica*. Jacala. Hidalgo. F14C49. Escala 1: 50 000.
- INEGI. 1998a. *Carta topográfica*. Ciudad Mante. F14-5. Escala 1: 250 000.

- INEGI. 1998b. *Carta topográfica*. Ciudad Victoria. F14-2. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998c. *Carta topográfica*. Concepción del Oro. G14-10. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998d. *Carta topográfica*. Guanajuato. F14-7. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998e. *Carta topográfica*. Linares. G14-11. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998f. *Carta topográfica*. Matehuala. F14-1. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998g. *Carta topográfica*. Monterrey. G14-7. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998h. *Carta topográfica*. Querétaro. F14-10. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998i. *Carta topográfica*. Río Bravo. G14-8. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 1998j. *Carta topográfica*. San Luis Potosí. F14-4. Escala 1: 250 000.
- INEGI. 2001. *Carta topográfica*. San Nicolás. Hidalgo. F14C59. Escala 1: 50 000.
- Judd, W. S., C. S. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens y M. J. Donoghue. 2002. *Plant Systematics: A phylogenetic approach*. 2a ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts, E. U.
- Kirkpatrick, J. B. y Brown, M. J. 1984. The palaeogeographic significance of local endemism in Tasmanian higher plants. *Search* **15**: 112-113.
- León-Paniagua, L., E. García, J. Arroyo-Cabrales y S. Castañeda Rico. 2004. Patrones biogeográficos de la mastofauna. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 469-486.
- Linder, H. P. 2001. Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *Journal of Biogeography* **28**: 169-182.
- Long, A. J., Crosby, M. J. , Stattersfield, A. J. y Wege, D. C. 1996. Towards a global map of biodiversity: Patterns in the distribution of restricted-range birds. *Global Ecology and Biogeography Letters* **5**: 281-304.
- Luna, I., O. Alcántara, D. Espinosa y J. J. Morrone. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forests: a preliminary vicariance model applying Parsimony Analysis of Endemicity to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography* **26**: 1299-1305.
- Luna, I., J. J. Morrone, O. Alcántara y D. Espinosa. 2001. Biogeographical affinities among Neotropical cloud forests. *Plant Systematics and Evolution* **228**: 229-239.
- Luna, I., O. Alcántara y R. Contreras-Medina. 2004. Patterns of diversity, endemism and conservation: An example with Mexican species of Ternstroemiaceae Mirb. ex DC. (Tricolpates: Ericales). *Biodiversity and Conservation* **13**: 2723-2739.
- Martínez-Ávalos, J. y J. Jiménez. 1993. Las cactáceas del Valle de Jaumave, Tamaulipas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **38** (4): 75-81.

- McAllister, D. E., S. P. Platania, F. W. Schueler, M. E. Baldwin y D. S. Lee. 1986. Ichthyofaunal patterns on a geographic grid. En: Hocutt, C. H. y E. O. Wiley (eds.). *Zoogeography of North American freshwater fishes*. Wiley, Nueva York, E. U., pp. 17-51.
- Méndez-Larios, I., J. L. Villaseñor, R. Lira, J. J. Morrone, P. Dávila y E. Ortíz. 2005. Toward the identification of a core zone in the Tehuacán-Cuicatlán biosphere reserve, Mexico, based on Parsimony Analysis of Endemicity of flowering plant species. *Interciencia* **30** (5): 267-274.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch de Mittermeier. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (Comps.) *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO. México, D. F., pp. 63-73.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch de Mittermeier. 1997. *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX. México, D. F.
- Moeller-Villar, G. 1993. Nota sobre la sierra de La Paila (listado de cactáceas y otras suculentas). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **38** (3): 57-60.
- Morrone, J. J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology* **43**: 438-441.
- Morrone, J. J., D. Espinosa, C. Aguilar y J. Llorente. 1999. Preliminary classification of the Mexican biogeographic provinces: a Parsimony Analysis of Endemicity based on plant, insect and bird taxa. *The Southwestern Naturalist* **44** (4): 507-513.
- Morrone, J. J. y T. Escalante. 2002. Parsimony analysis of endemicity (PAE) of Mexican terrestrial mammals at different area units: When size matters. *Journal of Biogeography* **29**: 1095-1104.
- Müller, P. 1973. *The dispersal centres of terrestrial vertebrates in the Neotropical realm: A study in the evolution of the Neotropical biota and its native landscapes*. Junk, The Hague.
- Navarro, A. G., H. Garza-Torres, S. López de Aquino, O. Rojas-Soto y L. A. Sánchez-González. 2004. Patrones biogeográficos de la avifauna. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 439-467.
- Nixon, K. C. 2000. *Winclada*. Publicado por el autor.
- Nyffeler, R. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence from *trnK/makK* and *trnL-trnF* sequences. *American Journal of Botany* **89**: 312-326.

- Ortega, G. F., R. L. Sedlock y R. C. Speed. 2000. Evolución tectónica de México durante el fanerozoico. En: Llorente B. J., E. González y N. Papavero (eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. II. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO, Bayer. México, D. F., pp. 3-59.
- Peterson, A. T., S. L. Egbert, V. Sánchez-Cordero y K. P. Price. 2000. Geographic analysis of conservation priority: Endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* **93**: 85-94.
- Pinkava, D. J. 1984. Vegetation and flora of the bolson of Cuatrociénegas region, Coahuila, Mexico: IV. Summary, endemism and corrected catalogue. *Journal of Arizona-Nevada Academy of Science* **19**: 23-47.
- Porzecanski, A. L. y J. Cracraft. 2005. Cladistic analysis of distributions and endemism (CADE): using raw distributions of birds to unravel the biogeography of the South American aridlands. *Journal of Biogeography* **32**: 261-275.
- Ramírez-Pulido, J. y A. Castro-Campillo. 1990. Provincias mastofaunísticas. Mapa IV.8.8.A. *Atlas Nacional de México*. Vol. III. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Rojas-Soto, O., O. Alcántara y A. Navarro. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, México: A Parsimony Analysis of Endemism and distribution modelling approach. *Journal of Biogeography* **30**: 449-461.
- Rosen, B. R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography. En: A. A. Myers y P. S. Giller (eds.). *Analytical Biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman y Hall, Londres y Nueva York., pp. 437-481.
- Ruiz-Jiménez, C., O. Alcántara e I. Luna. 2004. Límites de la Sierra Madre Oriental. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental: un enfoque multidisciplinario*. Facultad de Ciencias, UNAM, CONABIO. México, D. F., pp. 7-24.
- Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D. F.
- Rzedowski, J. y R. Trujillo. 1990. Vegetación Potencial. Mapa IV.8.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* **14**: 3-21.

- Rzedowski, J. 1991b. El endemismo de la flora fanerogámica mexicana: Una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* **15**: 47-64.
- Sánchez-Mejorada, H. 1978. *Manual de campo de las cactáceas y suculentas de la Barranca de Metztitlán*. Sociedad Mexicana de Cactología, A. C. México, D. F.
- Sánchez-Mejorada, H. 1982. *Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México*. Dirección de Recursos Naturales, Gobierno del estado de México. Toluca, México.
- Sarukhán, J. y R. Dirzo. 1992. *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO. México, D, F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México y de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2001. México, D. F.
- Usher, M. B. 1986. Wildlife conservation evaluation: Attributes, criteria and values. En: M. B. Usher (Ed.). *Wildlife conservation evaluation*. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.
- Vélez-Tirado, M. P. 1991. *Representatividad mastofaunística en el Sistema Nacional de Áreas Nacionales Protegidas*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.
- Villarreal, J. A. 1994. Flora vascular de la Sierra de la Paila, Coahuila, México. *Sida* **16** (1): 109-138
- Villaseñor, J. L. 2001. *Catálogo de autores de plantas vasculares de México*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México, D. F.
- Wallace, R. S. y E. D. Forquer. 1995. Molecular evidence for the systematic placement of *Echinocereus pensilis* (K. Brandegees) J. Purpus (Cactaceae: Cactoideae, Echinocereae). *Haseltonia* **3**: 105-129.
- Wehbe, J. A. y J. L. Elizondo. 1986. Estudio florístico de las cactáceas del municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* **31** (4): 97-102.
- Williams, P. H. y C. J. Humphries. 1994. Biodiversity, taxonomic relatedness, and endemism in conservation. En: P. L. Forey, C. J. Humphries y R. I. Vane-Wright (eds.). *Systematics and conservation evaluation*. Clarendon Press, Oxford, Inglaterra., pp. 269-287.

Williams, P. H., C. J. Humphries y K. J. Gaston. 1994. Centres of seed-plant diversity: The family way. *Proceedings of the Royal Society of London B* **256**: 67-70.

[www.conabio.gob.mx/aicas/](http://www.conabio.gob.mx/aicas/)

[www.conanp.gob.mx/anp/](http://www.conanp.gob.mx/anp/)

[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

## APÉNDICE 1

Lista de especies empleadas en este trabajo. En este trabajo se busco información de todos los nombres existentes para los taxones considerados en este trabajo por lo que fue necesario estandarizar dicha información y la clasificación de Guzmán *et al.* (2003) es una propuesta equilibrada de los taxones aceptados con sus correspondientes sinonimias por lo que se siguió a estos autores. Se indica la categoría de riesgo propuesta por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001), por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y las especies que están incluidas en el apéndice I (CITES) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres.

Abreviaturas de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001

**P** En peligro de extinción

**A** Amenazada

**Pr** Sujeta a protección especial

Abreviaturas de las Listas Rojas de la IUCN de Especies Amenazadas

**EW** Extinta en estado silvestre

**CR** En peligro crítico

**EN** En peligro

**VU** Vulnerable

**NT** Casi amenazada

**LC** Preocupación menor

**DD** Datos insuficientes

**NE** No evaluada

**I** Taxón incluido en el apéndice I de CITES

*Acharagma roseana* (Boed.) E. F. Anderson **Pr**

*Aporocactus flagelliformis* (L.) Lem. **Pr**

*Ariocarpus agavoides* (Castañeda) E. F. Anderson **Pr, VU, I**

*Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum. **Pr, NT, I**

*Ariocarpus retusus* Scheidw. **Pr, I**

*Astrophytum capricorne* (A. Dietr.) Britton et Rose **A**

*Astrophytum myriostigma* Lem. **A**

*Astrophytum ornatum* (DC.) Britton et Rose **A**

*Aztekium hintonii* Glass et Fitz Maurice **Pr**

*Aztekium ritterii* (Boed.) Boed. **A, I**

*Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff. **A**

*Coryphantha durangensis* (K. Schum.) Britton et Rose **Pr**

*Coryphantha glanduligera* (Otto et A. Dietr.) Lem. **A**

*Coryphantha maiz-tablasensis* Backeb. **A, EN**

*Coryphantha nickelsiae* (K. Brandegees) Britton et Rose **A**

*Coryphantha posegeriana* (A. Dietr.) Britton et Rose **A**

*Coryphantha pulleineana* (Backeb.) Glass **Pr**

*Coryphantha wohlschlageri* Holzeis **Pr**

*Cumarinia odorata* (Boed.) Buxb. **Pr, VU**

*Disocactus phyllanthoides* (DC.) Barthlott **A**

*Echinocactus grusonii* Hildm. **P, CR**

*Echinocereus knippelianus* Liebner **A**

*Echinocereus longisetus* (Engelm.) Lem. **A**

*Echinocereus nivosus* Glass et R. A. Foster **Pr**

*Echinocereus reichenbachii* (Walp.) Haage **A**

*Escobaria laredoi* (Glass et R. A. Foster) N. P. Taylor **Pr**

*Escobaria missouriensis* (Sweet) D. R. Hunt **A**

*Geohintonia mexicana* Glass et Fitz Maurice **Pr**

*Glandulicactus crassihamathus* (F. A. C. Weber) Backeb. **A**

*Leuchtenbergia principis* Hook **A**

*Lophophora diffusa* (Croizat) Bravo **A, VU**

*Mammillaria albicoma* Boed. **Pr, EN**  
*Mammillaria albiflora* (Werderm.) Backeb. **CR**  
*Mammillaria aurihamata* Boed. **Pr, R**  
*Mammillaria baumii* Boed. **Pr**  
*Mammillaria bocasana* Poselg. **Pr**  
*Mammillaria carmenae* Castañeda **P**  
*Mammillaria coahuilensis* (Boed.) Moran **A**  
*Mammillaria decipiens* Scheidw. **Pr**  
*Mammillaria duwei* Rogoz et P. J. Braun **Pr, EN**  
*Mammillaria erythrosperma* Boed. **A**  
*Mammillaria grusonii* Runge **Pr**  
*Mammillaria hahniana* Werderm. **A**  
*Mammillaria herrerae* Werderm. **P, CR**  
*Mammillaria humboldtii* C. Ehrenb. **A**  
*Mammillaria klissingiana* Boed. **A**  
*Mammillaria laui* D. R. Hunt **P**  
*Mammillaria lenta* K. Brandegees **A**  
*Mammillaria longimamma* DC. **A**  
*Mammillaria mathildae* Kraehenb. et Krainz **P, VU**  
*Mammillaria melaleuca* Salm-Dyck **A**  
*Mammillaria microhelia* Werderm. **Pr, VU**  
*Mammillaria nana* Mottram **Pr**  
*Mammillaria orcuttii* Boed. **Pr**  
*Mammillaria parkinsonii* C. Ehrenb. **Pr**  
*Mammillaria pilispina* J. A. Purpus **Pr**  
*Mammillaria plumosa* F. A. C. Weber **A**  
*Mammillaria roseoalba* Boed. **Pr**  
*Mammillaria schiedeana* C. Ehrenb. **Pr**

*Mammillaria stella-de-tacubaya* Heese **Pr, VU**

*Mammillaria surculosa* Boed. **Pr**

*Mammillaria weingartiana* Boed. **A, VU**

*Mammillaria zeilmanniana* Boed. **Pr, EN**

*Mammilloidia candida* (Scheidw.) Buxb. **A**

*Obregonia denegrii* Fric **A, VU, I**

*Pelecyphora aselliformis* C. Ehrenb. **Pr, I**

*Pelecyphora strobiliformis* (Werderm.) Fric *et* Schelle **A, I**

*Pilosocereus cometes* (Scheidw.) Byles *et* G. D. Rowley **Pr**

*Strombocactus disciformis* (DC.) Britton *et* Rose **A, I**

*Thelocactus hastifer* (Werderm. *et* Boed.) F. M. Knuth **Pr, VU**

*Thelocactus leucacanthus* (Pfeiff.) Britton *et* Rose **Pr**

*Thelocactus rinconensis* (Poselg.) Britton *et* Rose **A**

*Thelocactus tulensis* (Poselg.) Britton *et* Rose **A**

*Turbincarpus alonsoi* Glass *et* S. Arias **CR, I**

*Turbincarpus beguinii* (N. P. Taylor) Mosco *et* Zanovello **Pr, I**

*Turbincarpus booleanus* G. S. Hinton **CR, I**

*Turbincarpus gielsdorfianus* (Werderm.) Vác. John *et* Ríha **P, CR, I**

*Turbincarpus horripilus* (Lem.) Vác. John *et* Ríha **VU, I**

*Turbincarpus laui* Glass *et* R. A. Foster **Pr, VU, I**

*Turbincarpus pseudomacroechele* (Backeb.) Buxb. *et* Backeb. **P, VU, I**

*Turbincarpus pseudopectinatus* (Backeb.) Glass *et* R. A. Foster **Pr, VU, I**

*Turbincarpus saueri* (Boed.) Vác. John *et* Ríha **I**

*Turbincarpus schmiedickeanus* (Boed.) Buxb. *et* Backeb. **I**

*Turbincarpus subterraneus* (Backeb.) A. D. Zimmerman **A, VU, I**

*Turbincarpus valdezianus* (H. Moeller) Glass *et* R. A. Foster **Pr, VU, I**

*Turbincarpus viereckii* (Werderm.) Vác. John *et* Ríha **NT, I**

*Turbincarpus zaragozae* (Glass *et* R. A. Foster) Glass **VU, I**

## APÉNDICE 2

Lista de especies endémicas de la SMO empleadas en este trabajo. Número de cuadros donde fue registrada cada especie en las gradillas de 0.5° x 0.5° y de 1° x 1°.

Num. de referencia	Especie	Registros totales	Localidades únicas	Gradilla 0.5°	Gradilla 1°
0	<i>Acharagma roseana</i>	1	1	1	1
1	<i>Aporocactus flagelliformis</i>	28	28	12	6
2	<i>Ariocarpus agavoides</i>	3	2	1	1
3	<i>A. kotschoubeyanus</i>	15	14	8	8
5	<i>Astrophytum capricorne</i>	101	97	17	10
6	<i>A. myriostigma</i>	14	14	6	3
7	<i>A. ornatum</i>	38	38	7	4
8	<i>Aztekium hintonii</i>	1	1	1	1
9	<i>A. ritterii</i>	4	4	2	2
10	<i>Cephalocereus senilis</i>	11	11	3	1
13	<i>Coryphantha maiz-tablasensis</i>	1	1	1	1
14	<i>C. nickelsiae</i>	1	1	1	1
16	<i>C. pulleineana</i>	2	1	1	1
17	<i>C. wohlschlagerei</i>	3	2	1	1
18	<i>Cumarinia odorata</i>	3	3	2	2
20	<i>Echinocactus grusonii</i>	7	7	1	1
21	<i>Echinocereus knippelianus</i>	2	2	2	2
22	<i>E. longisetus</i>	4	4	3	3
23	<i>E. nivosus</i>	2	2	1	1
24	<i>E. reichenbachii</i>	2	2	2	2
25	<i>Escobaria laredoi</i>	3	3	1	1
26	<i>E. missouriensis</i>	1	1	1	1
27	<i>Geohintonia mexicana</i>	1	1	1	1
29	<i>Leuchtenbergia principis</i>	19	19	7	6
30	<i>Lophophora difusa</i>	15	14	2	2
31	<i>Mammillaria albicoma</i>	2	2	2	2
34	<i>M. baumii</i>	3	2	2	1
36	<i>M. carmenae</i>	1	1	1	1
37	<i>M. coahuilensis</i>	1	1	1	1
41	<i>M. grusonii</i>	1	1	1	1
42	<i>M. hahniana</i>	20	16	4	3
44	<i>M. humboldtii</i>	1	1	1	1
46	<i>M. laui</i>	2	2	1	1
49	<i>M. mathildae</i>	3	3	1	1
50	<i>M. melaleuca</i>	1	1	1	1
54	<i>M. parkinsonii</i>	19	19	4	2
56	<i>M. plumosa</i>	6	4	2	1
57	<i>M. roseoalba</i>	5	5	4	1

Continuación

Num. de referencia	Especie	Registros totales	Localidades únicas	Gradilla 0.5°	Gradilla 1°
58	<i>M. schiedeana</i>	21	18	8	5
60	<i>M. surculosa</i>	3	3	2	2
61	<i>M. weingartiana</i>	8	8	3	3
63	<i>Mammilloya candida</i>	163	155	14	6
64	<i>Obregonia denegrii</i>	8	8	2	1
66	<i>Pelecyphora strobiliformis</i>	5	4	2	2
67	<i>Pilosocereus cometes</i>	2	2	2	1
68	<i>Stenocactus sulphureus</i>	2	2	2	1
69	<i>Strombocactus disciformis</i>	28	27	4	3
70	<i>Thelocactus hastifer</i>	4	4	1	1
71	<i>T. leucacanthus</i>	25	25	4	2
72	<i>T. rinconensis</i>	3	3	2	2
73	<i>T. tulensis</i>	103	101	9	6
74	<i>Turbinicarpus alonsoi</i>	1	1	1	1
75	<i>T. beguinii</i>	2	2	2	2
76	<i>T. booleanus</i>	1	1	1	1
77	<i>T. gielsdorfianus</i>	1	1	1	1
78	<i>T. horripilus</i>	2	2	1	1
79	<i>T. laui</i>	1	1	1	1
80	<i>T. pseudomacrolele</i>	2	2	1	1
81	<i>T. pseudopectinatus</i>	6	6	4	3
82	<i>T. saueri</i>	7	6	4	2
83	<i>T. schmiedickeanus</i>	16	16	8	5
84	<i>T. subterraneus</i>	2	2	2	2
85	<i>T. valdezianus</i>	4	4	3	2
86	<i>T. viereckii</i>	3	3	2	2
87	<i>T. zaragozae</i>	2	2	1	1

### APÉNDICE 3

Lista de especies cuasiendémicas de la SMO empleadas en este trabajo. Número de cuadros donde fue registrada cada especie en las gradillas de 0.5° x 0.5° y de 1° x 1°.

Num. de referencia	Especie	Registros totales	Localidades únicas	Gradilla 0.5°	Gradilla 1°
4	<i>Ariocarpus retusus</i>	101	97	17	10
11	<i>Coryphantha durangensis</i>	2	1	2	1
12	<i>C. glanduligera</i>	52	49	9	3
15	<i>C. poselgeriana</i>	23	22	15	7
19	<i>Disocactus phyllanthoides</i>	9	9	5	3
28	<i>Glandulicactus crassihamathus</i>	9	9	1	1
32	<i>Mammillaria albiflora</i>	1	1	1	1
33	<i>M. aurihamata</i>	1	1	1	1
35	<i>M. bocasana</i>	61	58	5	3
38	<i>M. decipiens</i>	10	9	5	4
39	<i>M. duwei</i>	4	4	2	1
40	<i>M. erythrosperma</i>	10	10	4	3
43	<i>M. herrerae</i>	4	4	3	2
45	<i>M. klissingiana</i>	9	8	2	2
47	<i>M. lenta</i>	4	4	2	2
48	<i>M. longimamma</i>	25	25	6	4
51	<i>M. microhelia</i>	3	3	1	1
52	<i>M. nana</i>	52	50	4	2
53	<i>M. orcuttii</i>	4	4	2	2
55	<i>M. pilispina</i>	42	42	3	2
59	<i>M. stella-de-tacubaya</i>	10	3	2	1
62	<i>M. zeilmanniana</i>	1	1	1	1
65	<i>Pelecyphora aselliformis</i>	8	8	1	1

## APÉNDICE 4

Matrices de datos para la presencia (1) y ausencia (0) de las 88 especies en: a) 66 cuadros (gradilla de 0.5° x 0.5°) y b) 25 cuadros (gradilla de 1° x 1°) ubicados en la Sierra Madre Oriental. Ver Apéndices 2 y 3 para el nombre de las especies.

**a)**

ÁREAS	TAXONES									
	0000000000	1111111111	2222222222	3333333333	4444444444	5555555555	6666666666	7777777777	8888888888	
	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789	0123456789
Sesteadero	0000000000	0000100000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Cimarrón	0000000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Puerto Blanco	0000000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
El Berrendo	0000000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Santa Rosa	0000000000	0000000000	0010000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Ocampo	0000000000	0000010000	0010000000	0000000000	0000000100	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Cuatrociénegas	0000010000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Monclova	0000000000	0000110000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
El Papalote	0000000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Barranquitas	0000000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
La Paila	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Cerro Bola	0000001000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0100000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Mayrán	0000010000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Estación Marte	0000010000	0000010000	0010000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
El Tulillo	0001010000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Ramos Arizpe	0000100000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000001000
Monterrey	0000000000	0000000000	0000100000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
España	0000000000	0100000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Viesca	0000001000	0100010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Parras	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
El Cinco	0000000000	0000010000	0000101000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
General Cepeda	1000110000	0000000000	0000110000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0010010000	0000000000
Saltillo	0000100000	0000000000	0100000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0010000000	00001000
Rayones	0000000001	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0001000000	0000000000
Los Indios	0001000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
El Vergel	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000100	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Concepción del Oro	0000100000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000



b)

ÁREAS

TAXONES

Cimarrón	0000000000	1111111111	2222222222	3333333333	4444444444	5555555555	6666666666	7777777777	88888888
Ocampo	0000000000	0000010000	0010000000	0000000000	0000000100	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Santa Rosa	0000000000	0000000000	0010000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Cuatrociénegas	0000010000	0000010000	0000000001	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
La Paila	0000100000	0000110000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Torreón	0000000000	0100000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Parras	0000011000	0000010000	0000000001	0000000000	0100000100	0000000001	0000000000	0000000000	0000000000
General Cepeda	1001110000	0000010000	0011110001	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0010010000	0000000000
Saltillo	0000100001	0000000000	0100100000	0000000000	0000000000	0000001000	0000000000	0011000000	00001100
Los Indios	0001000000	0000010000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Concepción del Oro	0000100000	0000000000	0000000000	0000000100	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
Galeana	0000100011	0000000000	0000000100	0000000000	0000000000	0000000000	0100000000	0001001000	00001000
La Ascensión	0001100000	0000000000	0000001000	0000000000	0000000000	0000000000	0100000000	0001000000	01010000
Mier y Noriega	0001101000	0010000010	0100000001	0101000000	0000000000	0000010000	1001001000	0001000000	01010110
Ciudad Victoria	0011101000	0010000000	0000000001	0100101000	0000011000	1000000100	0101101000	0001010000	01110011
Guadalcázar	0001101000	0010001110	0000000001	0000000000	1000000000	0011010010	1001010000	0001000001	00110000
Ciudad del Maíz	0001101000	0001000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0001000000	0000000100	00000000
Xichú	0000000100	0000000000	0000000010	0010010011	1011010010	0011000010	0001000001	0000100000	00000000
Jalpan	0100000100	0000000000	0000000000	1000000000	0010000010	0000100010	0001000101	0100000000	00010000
Pisaflores	0100000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	00000000
Querétaro	0000000000	0000000000	0000000000	0000010010	1000000001	0100000000	0010000000	0000000000	00000000
Zimapan	0101000100	0000000000	1000000000	0010000010	0011000010	0000100010	0000000011	1100000000	10000000
Metztitlán	0100000100	1000000001	0000000000	0000000000	0000100010	0000000000	0000000000	0000000010	00000000
Teziutlán	0100000000	0000000001	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	00000000
Jalapa	0100000000	0000000001	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	00000000