

00322



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

58

AREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACION DE MAMIFEROS TERRESTRES NEOTROPICALES DE MEXICO CON BASE EN METODOS BIOGEOGRAFICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A

GABRIELA GARCIA MARMOLEJO



DIRECTOR DE TESIS: DR. JUAN JOSE MORRONE LUPI
CO-DIRECTOR DE TESIS: BIOL. TANIA ESCALANTE ESPINOSA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2003



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

autorizo a la Dirección General de Bibliotecas,
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional

NOMBRE: Gabriela García
Marmolejo
FECHA: 19 JUN - 2003
FIRMA: [Firma]

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres
neotropicales de México con base en métodos biogeográficos"

realizado por GARCÍA MARMOLEJO GABRIELA

con número de cuenta 9421432-3, quién cubrió los créditos de la carrera de BIOLOGÍA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario
Co-director de Tesis
Propietario
Propietario
Suplente
Suplente

DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI
BIÓL. TANIA ESCANTE ESPINOSA
M. EN C. LIVIA SOCORRO LEÓN PANIAGUA
DR. JOAQUÍN ARROYO CABRALES
M. EN C. RAÚL CONTRERAS MEDINA

[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]

Consejo Departamental de BIOLOGÍA

[Firma]
M. EN C. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ CHÁVEZ

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGÍA

*Con todo mi cariño, respeto y admiración
a la gran mujer que me dio la vida.*

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

*"Nosotros (la indivisa divinidad
que opera en nosotros) hemos
soñado el mundo. Lo hemos
soñado resistente, misterioso, visible,
ubícuo en el espacio y firme en el
tiempo, pero hemos consentido
en su arquitectura tenues y eternas
intersticias de simrazón para saber
que es falso"*

Borges

Avatares de la tortuga

AGRADECIMIENTOS

Son incontables las personas y circunstancias a las que AGRADEZCO profundamente por ayudarme directa o indirectamente a concluir esta tesis; que para poder referir circunscribo a nombrar únicamente a las personas que colaboraron de manera directa en la elaboración.

A mi comité tutorial MUCHÍSIMAS GRACIAS por su tiempo empleado en revisar, en escuchar los problemas "técnicos", en compartir sus puntos de vista y sugerencias, y por toda la atención brindada durante el transcurso y culminación de esta tesis.

Dr. Juan J. Morrone

Biól. Tania Escalante

M. en C. Livia León

Dr. Joaquín Arroyo

M. en C. Raúl Conteras

Muy especialmente deseo agradecer a mis dos directores por su dedicación, apoyo e interés demostrado siempre que los requerí.

A mis compañeros y maestros del museo (aunque no los mencione) la atención y tiempo que me brindaron para enseñarme facilitándome el trabajo.

Alejandro Gordillo, Armando Luis, Cesar Ríos, Clarissa Solis, Erick García, Gerardo Ambríz, Itzel Durán, José Luis Salinas (Gordito), Luis Antonio Sánchez, Magali Honey, Marysol Trujano, Roxana Acosta, Yoshinori Nakasawa, etc., etc., etc.

A mi familia, por su cariño y ayuda, por apoyar mis decisiones y contribuir en ellas. GRACIAS: mamá, Rodri, tío Juan, tía Male, abuelita María, abuelita Inés.

A mis amiguitas por todos los momentos compartidos, por soportarme y por estar cuando necesité que así fuera... por solidarias! GRACIAS: Clarissa, Marysol, e Itzel. Y a Tania por brindarme su ayuda incondicional y amistad sin conocerme.

Gracias A. Ilhucamina por tu ayuda, por tu tiempo y TODO lo demás que compartiste... y por contribuir en gran parte a la realidad del sueño que en el presente no existe y sin embargo esta.

... y dejo un "GRACIAS" en el viento para todo lo demás y los demás que no mencioné, por estar extraviado en el tiempo, pero que muy profundamente agradezco.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	6
Biogeografía histórica aplicada a la conservación	8
Panbiogeografía	9
Análisis de Parsimonia de Endemismos	10
Regiones biogeográficas de México	11
Provincias biogeográficas neotropicales	13
Mamíferos neotropicales	15
Importancia de la conservación de las especies silvestres	16
Área Naturales Protegidas en México (ANP)	18
Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)	19
Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCM)	20
JUSTIFICACIÓN	25
OBJETIVOS	26
Objetivo general	26
Objetivos particulares	26
MATERIAL Y MÉTODOS	27
Panbiogeografía	27
Análisis de Parsimonia de Endemismos con eliminación progresiva de caracteres (PAE-PCE)	28
Análisis de complementariedad	30
Diversidad filogenética	32
Comparación de los nodos con áreas de importancia biológica nacional	32
RESULTADOS	34
Trazos individuales	34
Trazos generalizados	50
Nodos panbiogeográficos	58
Análisis de complementariedad	67
Diversidad taxonómica	71
Comparación de nodos con áreas de importancia biológica nacional	76
1. Áreas Naturales Protegidas en México (ANP)	77
2. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)	77
3. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCM)	78
4. Nodos panbiogeográficos no coincidentes	79
Propuesta de áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales de México	79
DISCUSIÓN	90
CONCLUSIONES	101
REFERENCIAS	102
APÉNDICES	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Provincias biogeográficas de México	22
2. Áreas Naturales Protegidas	22
3. Regiones Terrestres Prioritarias	23
4. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres continentales no voladoras	23
5. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies continentales de quirópteros	24
6. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales	24
7. Trazo individual de <i>Baiomys musculus</i>	37
8. Trazo individual de <i>Liomys pictus</i>	37
9. Trazo individual de <i>Natalus stramineus</i>	37
10. Trazo individual de <i>Sciurus aureogaster</i>	37
11. Trazo individual de <i>Peromyscus aztecus</i>	37
12. Trazo individual de <i>Artibeus hirsutus</i>	37
13. Trazo individual de <i>Balantiopteryx plicata</i>	37
14. Trazo individual de <i>Carollia subrufa</i>	38
15. Trazo individual de <i>Eumops underwoodi</i>	38
16. Trazo individual de <i>Marmosa canescens</i>	38
17. Trazo individual de <i>Motossops greenhalli</i>	38
18. Trazo individual de <i>Musonycteris harrisoni</i>	38
19. Trazo individual de <i>Myotis fortidens</i>	38
20. Trazo individual de <i>Lepus flevigularis</i>	38
21. Trazos individuales de <i>Orthogeomys cuniculus</i> y <i>Peromyscus winkelmanni</i>	38
22. Trazo individual de <i>Rheomys mexicanus</i>	39
23. Trazo individual de <i>Rhogeessa parvula</i>	39
24. Trazo individual de <i>Sciurus colliaei</i>	39
25. Trazos individuales de <i>Scotinomys teguina</i> y <i>Spermophilus annulatus</i>	39
26. Trazo individual de <i>Sigmodon alleni</i>	39
27. Trazo individual de <i>Spermophilus adocetus</i>	39
28. Trazo individual de <i>Spilogale pygmaea</i>	39
29. Trazo individual de <i>Xenomys nelsoni</i>	39
30. Trazo individual de <i>Ateles geoffroyi</i>	40
31. Trazo individual de <i>Nyctinomops aurispinosus</i>	40
32. Trazo individual de <i>Oryzomys melanotis</i>	40
33. Trazo individual de <i>Habromys lepturus</i>	40
34. Trazo individual de <i>Microtus oaxacensis</i>	40
35. Trazo individual de <i>Microtus umbrosus</i>	40
36. Trazo individual de <i>Oryzomys chapmani</i>	40
37. Trazo individual de <i>Peromyscus melanocarpus</i>	41
38. Trazo individual de <i>Dermanura aztecus</i>	41
39. Trazo individual de <i>Microtus quasiater</i>	41
40. Trazos individuales de <i>Megadontomys thomasi</i> y <i>Habromys simulatus</i>	41
41. Trazos individuales de <i>Megadontomys cryophilus</i> , <i>Peromyscus ochraventer</i> y <i>Syvilagus insonus</i>	41
42. Trazo individual de <i>Neotoma angustapalata</i>	41
43. Trazo individual de <i>Nyctomys sumichrasti</i>	41
44. Trazo individual de <i>Oligoryzomys fulvescens</i>	42

45.	Trazo individual de <i>Peromyscus megalops</i>	42
46.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys mexicanus</i>	42
47.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	42
48.	Trazo individual de <i>Peromyscus mexicanus</i>	42
49.	Trazo individual de <i>Hylonycteris underwoodi</i>	42
50.	Trazo individual de <i>Hodomys alleni</i>	42
51.	Trazo individual de <i>Orthogeomys grandis</i>	43
52.	Trazo individual de <i>Sylvilagus cunicularius</i>	43
53.	Trazo individual de <i>Sigmodon mascotensis</i>	43
54.	Trazo individual de <i>Antrozous dubiaquercus</i>	43
55.	Trazo individual de <i>Neotomodon alstoni</i>	43
56.	Trazo individual de <i>Liomys spectabilis</i>	43
57.	Trazo individual de <i>Peromyscus hyloces</i>	43
58.	Trazo individual de <i>Peromyscus perfulvus</i>	44
59.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys chrysopsis</i>	44
60.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys microdon</i>	44
61.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys hirsutus</i>	44
62.	Trazo individual de <i>Rhogeessa gracilis</i>	44
63.	Trazo individual de <i>Romerolagus diazi</i>	44
64.	Trazo individual de <i>Zygozomys trichopus</i>	44
65.	Trazo individual de <i>Agouti paca</i>	45
66.	Trazo individual de <i>Bassaricus sumichrasti</i>	45
67.	Trazo individual de <i>Caluromys derbianus</i>	45
68.	Trazo individual de <i>Coendou mexicanus</i>	45
69.	Trazo individual de <i>Conepatus semistriatus</i>	45
70.	Trazo individual de <i>Heteromys desmarestianus</i>	45
71.	Trazo individual de <i>Marmosa mexicana</i>	45
72.	Trazo individual de <i>Myotis elegans</i>	45
73.	Trazo individual de <i>Myotis keaysi</i>	46
74.	Trazo individual de <i>Orthogeomys hispidus</i>	46
75.	Trazo individual de <i>Oryzomys phyllotis</i>	46
76.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys gracilis</i>	46
77.	Trazo individual de <i>Sciurus deppei</i>	46
78.	Trazo individual de <i>Tapirus bairdii</i>	46
79.	Trazo individual de <i>Tamandua mexicana</i>	46
80.	Trazo individual de <i>Balantiopteryx io</i>	47
81.	Trazo individual de <i>Conepatus leuconotus</i>	47
82.	Trazo individual de <i>Cyclopes didactylus</i>	47
83.	Trazo individual de <i>Dasyprocta mexicana</i>	47
84.	Trazo individual de <i>Megadontomys nelsoni</i>	47
85.	Trazo individual de <i>Orthogeomys lanius</i>	47
86.	Trazo individual de <i>Alouatta pigra</i>	47
87.	Trazo individual de <i>Heteromys gaureri</i>	47
88.	Trazos individuales de <i>Otonyctomys hatti</i> y <i>Procyon pygmaeus</i>	48
89.	Trazo individual de <i>Peromyscus yucatanicus</i>	48
90.	Trazo individual de <i>Reithrodontomys spectabilis</i>	48
91.	Trazo individual de <i>Sciurus yucatanensis</i>	48
92.	Trazo individual de <i>Glossophaga leachii</i>	48
93.	Trazo individual de <i>Heteromys goldmani</i>	48
94.	Trazo individual de <i>Liomys salvini</i>	48
95.	Trazo individual de <i>Myotis albescens</i>	48

96. Trazo individual de <i>Peromyscus zarhynchus</i>	49
97. Trazo individual de <i>Tylomys nudicaudatus</i>	49
98. Trazo generalizado I	52
99. Trazo generalizado II	52
100. Trazo generalizado III	53
101. Trazo generalizado IV	54
102. Trazo generalizado V	54
103. Trazo generalizado VI	55
104. Trazo generalizado VII	56
105. Trazo generalizado VIII	56
106. Nodos panbiogeográficos y provincias biogeográficas	82
107. Nodos panbiogeográficos y estados de la República Mexicana	83
108. Nodos panbiogeográficos y Áreas Naturales Protegidas	84
109. Nodos panbiogeográficos y Regiones Terrestres Prioritarias	85
110. Nodos panbiogeográficos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres continentales no voladoras	86
111. Nodos panbiogeográficos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies continentales de quirópteros	87
112. Nodos panbiogeográficos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales	88
113. Superposición de todas las propuestas de Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos de México	89

ÍNDICE DE CUADROS

	<u>Pág.</u>
1. Regionalización biogeográfica de México	12
2. Estadísticos básicos de los árboles obtenidos mediante el análisis de parsimonia	51
3. Taxones y provincias biogeográficas de los trazos generalizados	57
4. Provincias biogeográficas, taxones y trazos generalizados de los nodos	58
5. Lista de especies que participan en cada nodo	64
6. Complemento residual	67
7. Porcentaje acumulativo	68
8. Parejas de nodos con mayor riqueza de especies	68
9. Criterios para establecer prioridad	69
10. Pares de nodos complementarios	70
11. Índice de Colwell y Coddington	70
12. Diversidad filogenética	71
13. Nodos panbiogeográficos presentes en áreas de importancia biológica	76

RESUMEN

Debido a la acelerada pérdida de la biodiversidad en nuestro país, la conservación resulta una tarea impostergable, si se desea mantener la diversidad biológica que alberga. Elegir áreas prioritarias requiere evaluar la biodiversidad con el mayor número de herramientas disponibles para su adecuada conservación. La biogeografía histórica es una aproximación metodológica que analiza e interpreta los patrones de distribución de los seres vivos, cuyos resultados pueden emplearse para generar información útil para la conservación que permita identificar prioridades en términos de la diversidad biológica. Se compararon los patrones de distribución de 97 especies de mamíferos terrestres neotropicales de México, obteniéndose ocho trazos generalizados que se contrastaron para localizar nodos. Éstos últimos representan zonas de contacto biótico, cuyos elementos taxonómicos pertenecen a diversos orígenes, además son áreas de alta riqueza de especies (*hotspots*) y biogeológicamente compuestas, es decir poseen diversidad de relaciones geográficas y filogenéticas, por lo que su protección debería ser prioritaria. Se encontraron 16 nodos, distribuidos en ocho provincias biogeográficas (Costa del Pacífico, Costa del Golfo, Península de Yucatán, Chiapas, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transmexicano y Depresión del Balsas), las cuales corresponden a las zonas más importantes de mamíferos continentales del país respecto a la endemidad y a la riqueza de especies. Debido a la limitación de los recursos económicos nacionales destinados a la conservación y a las necesidades sociales, se jerarquizó la importancia relativa entre ellos, proponiéndose seis nodos como prioritarios. Éstos se ubican en cuatro estados de la República Mexicana: Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas; los dos últimos han sido considerados como los estados más diversos respecto a la mastofauna del país, y la presencia de múltiples nodos en su territorio, implica también su importancia histórica. Los nodos de Guerrero y Veracruz se ubican en las cordilleras nacionales más importantes de endemidad de mamíferos. Todos los nodos propuestos como prioritarios coincidieron con Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), lo cual implica que además de su importancia primaria para mamíferos, también lo es para otros elementos de la biodiversidad. Identificar el valor biológico de las

áreas a partir de argumentos históricos y biológicos que permitan reconocer áreas de importancia para mamíferos terrestres neotropicales de México, contribuye a orientar las prioridades para la selección de áreas como estrategia de conservación *in situ* en el país, que permita el uso sustentable de la diversidad biológica.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la distribución de los organismos permite entender el proceso de la evolución en el tiempo y el espacio, ya que su disposición espacial actual es el resultado de la formación vicariante de los grupos taxonómicos involucrados (Llorente *et al.*, 2000). Los métodos de la biogeografía histórica permiten analizar e interpretar los patrones de distribución de los seres vivos, con los cuales es posible identificar centros de diversidad y la importancia relativa entre estos, así como identificar prioridades en la selección de áreas, como alternativa para la protección de la biodiversidad *in situ*, que permita preservar tanto a las especies como a sus hábitats (Reynoso, 1994; Morrone y Espinosa, 1998; Morrone, 2000; Escalante, 2003).

Actualmente nos encontramos ante una crisis ecológica a escala mundial, entre cuyos componentes está la pérdida de la biodiversidad (Anaya *et al.*, 1992). La biodiversidad se define como la riqueza total en composición y número de formas de vida en la naturaleza, incluyendo la variedad y abundancia de genes, organismos, poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y procesos ecológicos (Núñez y Eguiarte, 1999), estos recursos representan un importante patrimonio mundial. En la actualidad, la extinción de especies es un proceso que los seres humanos han acelerado (Ehrlich, 1981). Las principales causas de la pérdida de la biodiversidad son la transformación de los ecosistemas, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales con fines económicos; esta desaparición y transformación de los ecosistemas disminuyen la viabilidad de las poblaciones silvestres, tanto animales como vegetales, provocando la extinción de los organismos, que en el mejor de los casos será a escala local o regional (Robinson y Redford, 1997). Dado lo anterior resulta fundamental contar con información confiable y precisa, tanto en el ámbito genético, ecológico y de la biodiversidad, que sustente las estrategias propuestas para el uso, manejo y conservación de las especies como reto para el desarrollo sustentable de la diversidad biológica.

Es responsabilidad de cada país proteger su diversidad biológica, así como aprovechar sus componentes de manera sustentable (INE-SEMARNAP, 2000). Este compromiso implica evaluar la biodiversidad a diferentes niveles, desde específico hasta ecosistémico, para su adecuada conservación (Scott, 1997; Posadas y Miranda, 1999;

Crisci *et al.*, 2000; Morrone, 2000). La conservación no es una tarea simple, mucho menos en un país como México, cuyas características geográficas, geológicas, topográficas, climáticas, etc. presentes tanto en altitud como en latitud, interactúan en tiempo y espacio produciendo múltiples biomas que reflejan una gran riqueza biológica, colocándolo entre los países más diversos del mundo (Fa y Morales, 1998; Ferrusquía, 1998; Ceballos, 1999; Toledo, 1999). México alberga al menos el 10% del total de especies vivas del planeta (Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; INE-SEMARNAP, 2000), y su riqueza mastofaunística coloca al país en el segundo lugar a nivel mundial (Ceballos *et al.*, 2002). En consideración con lo hasta ahora expuesto, el presente trabajo pretende, mediante el uso de métodos de la biogeografía histórica, contribuir a la conservación de los mamíferos terrestres de México.

La biogeografía histórica permite entender a la naturaleza desde una perspectiva histórica (Llorente *et al.*, 2000), la cual puede generar información necesaria para la conservación (Reynoso, 1994; Morrone y Espinosa, 1998; Crisci *et al.*, 2000; Morrone, 2000; Contreras-Medina *et al.*, 2001), debido a que considera a la biodiversidad dentro de su escenario espacio-temporal, el cual contempla no solo el número de especies, como tradicionalmente se ha evaluado la biodiversidad (Vane-Wright *et al.*, 1991; Humphries *et al.*, 1991; Arita *et al.*, 1997) sino también la riqueza de orígenes históricos (Morrone y Espinosa, 1998; Crisci *et al.*, 2000). El análisis de patrones de distribución de los organismos, enfatiza la dimensión espacial y temporal, haciendo posible comprender la diversidad biológica como resultado de la historia de la vida sobre la Tierra, permitiendo inferir su historia evolutiva y biogeográfica (Ceballos y Rodríguez, 1993; Posadas y Miranda, 1999; Crisci, 2001). La biogeografía histórica tiene cinco enfoques básicos: dispersalismo, biogeografía filogenética, panbiogeografía, biogeografía cladística y análisis de parsimonia de endemismos (Morrone y Crisci, 1995), que cuentan con al menos 30 métodos diferentes (Crisci, 2001), con aplicaciones tanto para conservación, como para establecer relaciones entre diferentes grupos taxonómicos, incluso extintos (Crisci *et al.*, 2000) utilizando diversas unidades y escalas geográficas (Escalante *et al.*, 2002). La tendencia actual de la biogeografía histórica es hacia la integración de algunos de sus métodos, debido a que no son excluyentes, como parte de un análisis único con capacidad de abordar diferentes problemas desde aproximaciones múltiples (Morrone y Crisci, 1995).

En el presente trabajo la biogeografía histórica será utilizada como herramienta para encontrar áreas de importancia biogeológica para mamíferos terrestres neotropicales, considerando tanto la riqueza relativa de elementos taxonómicos, como la riqueza de orígenes históricos que debieran ser prioritarias en términos de conservación (Morrone y Espinosa, 1998; Contreras-Medina *et al.*, 2001; Contreras-Medina y Elosa-León, 2001; Espinosa *et al.*, 2001), y aportar información que contribuya a orientar la elección de áreas destinadas a preservar la biodiversidad.

ANTECEDENTES

La biogeografía histórica ha sido aplicada a la conservación de la biodiversidad, analizando diferentes grupos taxonómicos y escalas geográficas. Entre estos trabajos se pueden citar: Posadas (1996) empleó el Análisis de Parsimonia de Endemismos basado en cuadrículas en el archipiélago de Tierra de Fuego de la región de Chile y Argentina para determinar áreas de endemismo, empleando taxones de plantas vasculares. Katinas *et al.* (1999) determinaron los patrones espaciales básicos de diferentes taxones plantas vasculares (principalmente), animales y hongos de la subregión Andina. Morrone (1999) propuso áreas importantes para la conservación empleando herramientas biogeográficas y utilizando algunos coleópteros de la familia Curculionidae en los Andes. Luna *et al.* (2000) obtuvieron trazos generalizados delineados a partir del Análisis de Parsimonia de Endemismos, y establecieron prioridades de conservación en los bosques mesófilos del estado de Hidalgo. Morrone y Márquez (2001) utilizaron Análisis de Parsimonia de Endemismos para clasificar áreas de acuerdo con sus taxones compartidos y las representaron mediante trazos generalizados, utilizando familias de coleópteros. Álvarez (2001) propuso áreas prioritarias para la conservación de aves en México, mediante un enfoque panbiogeográfico. Contreras-Medina *et al.* (2001) utilizaron tres métodos biogeográficos para identificar *hotspots* en las zonas de coincidencia de áreas de endemismo, nodos panbiogeográficos y refugios, empleando datos distribucionales de gimnospermas. Contreras-Medina y Elosa-León (2001) reconocieron áreas biogeográficas complejas y con alta diversidad de especies con base en la localización de nodos panbiogeográficos, empleando diferentes taxones de plantas (angiospermas y gimnospermas) y animales (vertebrados e invertebrados). Cavieres *et al.* (2002) utilizaron el Análisis de Parsimonia de Endemismos para identificar áreas prioritarias para la conservación de plantas vasculares en la región árida de Antofagasta en Chile. García-Barros *et al.* (2002) propusieron una modificación del Análisis de Parsimonia de Endemismos basado en cuadrículas, PAE-PCE (Eliminación Progresiva de Caracteres, por sus siglas en inglés) para identificar áreas de endemismo de diferentes taxones de plantas y animales en la Península Ibérica e Islas Baleares, con implicaciones en la conservación. Rojas-Soto *et al.* (2003) generaron una regionalización de la Península de

Baja California para las aves terrestres residentes analizando los patrones de distribución mediante el Análisis de Parsimonia de Endemismos.

En México, el empleo de los mamíferos como modelo en la biogeografía histórica es escaso. Algunos trabajos que se pueden citar son: Aguilar-Aguilar y Contreras (2001) encontraron el área de mayor diversidad de mamíferos marinos de México, con base en el reconocimiento de un nodo obtenido a partir de método panbiogeográfico. Morrone y Escalante (2002) compararon mediante el Análisis de Parsimonia de Endemismos, diferentes unidades geográficas: cuadrantes, ecorregiones y provincias biogeográficas, para analizar los patrones de distribución de los mamíferos terrestres en el país y valorar la importancia del tamaño del área entre las diferentes unidades geográficas, además establecieron relaciones entre ellas. Escalante (2003) propuso el empleo de métodos biogeográficos históricos para la elaboración de un Atlas Biogeográfico Mexicano, que sintetice tanto los patrones de distribución de los mamíferos terrestres mexicanos como la información relacionada que contribuya a maximizar la investigación científica de este grupo en el futuro. Escalante y Morrone (2001) y Escalante *et al.* (en prensa) analizaron los patrones de distribución de mamíferos terrestres mexicanos mediante el Análisis de Parsimonia de Endemismos aplicado a diferentes unidades geográficas a nivel nacional.

La biogeografía histórica aplicada a la conservación de la biodiversidad

La conservación de la biodiversidad tiene implícita una condición biogeográfica: ¿Cuál diversidad biológica y qué lugar han de ser conservados? Partiendo de métodos biogeográficos históricos es posible aportar información necesaria para la conservación dirigida básicamente a dos enfoques: descriptivo y analítico (Crisci *et al.*, 2000). El descriptivo incluye los patrones de distribución de las especies, la comparación de biotas de diferentes áreas, la identificación de áreas de endemismo y áreas de distribución. El enfoque analítico, se refiere al reconocimiento de homologías espaciales, la determinación de relaciones entre distintas áreas e incluso algunos de sus métodos pueden aplicarse directamente a establecer prioridades en el ámbito de conservación de la diversidad biológica; como la panbiogeografía, el Análisis de Parsimonia de Endemismos y la filogeografía (Crisci *et al.*, 2000; Morrone, 2000), pues son herramientas científicas que pueden analizar áreas geográficas relativamente grandes a partir de relativamente pocos datos, con resultados a corto plazo y con costos de presupuesto bajos (Reynoso, 1994).

La integración en un único enfoque que contemple los diferentes métodos biogeográficos, permite abordar problemas desde diferentes perspectivas (Morrone y Crisci, 1995). El presente trabajo pretende utilizar a la biogeografía histórica con aplicaciones de conservación mediante dos métodos básicamente: panbiogeografía y análisis de parsimonia de endemismos, los cuales contribuyen a generar información alternativa encaminada a orientar las decisiones respecto a las actividades de conservación que son una necesidad urgente y actual que enfrenta nuestro país, en cumplimiento a la responsabilidad del cuidado y protección de la biodiversidad que alberga.

Panbiogeografía

La panbiogeografía es un método biogeográfico propuesto por el botánico italiano Léon Croizat en la década de 1950, que permite analizar la distribución geográfica de los organismos basado en la comparación de trazos, para descubrir patrones mediante los cuales es posible comprender la diferenciación morfológica y la traslación en el espacio conjuntamente, asumiendo que las barreras geográficas evolucionan junto con las biotas (Llorente *et al.*, 2000). Se considera que las distribuciones de los taxones evolucionan en dos fases: a) fase de movilidad, cuando los factores climáticos y geográficos son favorables, los organismos expanden su área de distribución y adquieren su distribución ancestral máxima; b) fase de inmovilidad, al ocupar todo el espacio geográfico o ecológico disponible, la distribución del taxón se estabiliza, este periodo de inmovilidad permite el aislamiento espacial de las poblaciones en distintos sectores del área, mediante el surgimiento de barreras geográficas, y la consecuente diferenciación de nuevos taxones (Morrone, 2001). La panbiogeografía enfatiza la relevancia de la dimensión espacial para comprender los patrones y procesos evolutivos a partir de los trazos, además de proveer criterios útiles para el mapeo y reconocimiento de las características naturales de la biodiversidad (Crisci *et al.*, 2000).

El método consiste en dibujar en un mapa mediante puntos, las localidades donde se haya registrado un taxón y conectar sus áreas de distribución a partir de la distancia más cercana mediante una línea denominada trazo individual, que representa el sector del espacio donde tiene lugar la evolución del taxón. Las coincidencias entre trazos individuales permiten delinear los trazos generalizados, que representan una biota ancestral ampliamente distribuida en el pasado, la cual fue fragmentada por eventos físicos y resultan de la distribución geográfica de los taxones, delimitando biotas ancestrales basados en las homologías biogeográficas (Espinosa y Llorente, 1993). A partir de la intersección o confluencia de los trazos generalizados pueden localizarse los nodos, que son el resultado de fragmentos de historias bióticas y geológicas ancestrales diferentes que se encuentran en espacio-tiempo (Morrone, 2001). Los nodos son un elemento primario para detectar áreas complejas (Aguilar-Aguilar y Contreras, 2001), que podrían representar *hotspots*, áreas con alta riqueza de especies, que además incluyen elementos taxonómicos de diverso origen, es decir, poseen diversidad de relaciones

geográficas y filogenéticas (Morrone, 2000). Partiendo de este criterio, estas áreas representan zonas prioritarias para la conservación (Morrone y Espinosa, 1998; Crisci *et al.*, 2000; Contreras-Medina *et al.*, 2001).

Análisis de Parsimonia de Endemismos

El Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE, por sus siglas en inglés) fue propuesto inicialmente por Rosen (1988), con el propósito de obtener cladogramas de áreas que permitieran definir los límites de las regiones bióticas, postulando una analogía con la sistemática filogenética: agrupa áreas, utilizando los taxones compartidos de acuerdo con la solución más simple, de esta forma se optimiza la concordancia entre los patrones de distribución de múltiples taxones diferentes (García-Barros, *et al.*, 2002). Los cladogramas que se obtienen representan un conjunto de áreas anidadas, en las cuales las dicotomías terminales representan las áreas entre las cuales el intercambio biótico ha ocurrido más recientemente (Morrone y Crisci, 1995). Rosen y Smith (1988) aplicaron el PAE a partir de las localidades de presencia de invertebrados marinos fósiles, directamente de las distribuciones geográficas de los organismos, para determinar relaciones entre las áreas. Escalante y Morrone (2003) detallan una lista de autores que han utilizado el PAE con diferentes objetivos, unidades de estudio y taxones.

Actualmente se reconocen tres variantes de PAE de acuerdo a las unidades geográficas operativas que emplean: basado en localidades, en áreas de endemismo y en cuadrículas (Crisci *et al.*, 2000). El PAE permite delimitar áreas de endemismo, las cuales resultan de la superposición de las áreas de distribución de dos o más taxones, y son análogas al concepto de trazo generalizado para la panbiogeografía, debido a que éste se genera a partir de la superposición de dos o más trazos individuales (Posadas y Miranda, 1999; Crisci *et al.*, 2000). Con base en este fundamento, en el presente trabajo el PAE será utilizado para delinear trazos generalizados como se ha desarrollado anteriormente por Luna *et al.* (2000) y Morrone y Márquez (2001).

El PAE basado en cuadrículas (Morrone, 1994) utiliza las distribuciones de los taxones en cuadrículas superpuestas al área de estudio (Crisci *et al.*, 2000), sin

considerar las relaciones filogenéticas interespecíficas (García-Barros *et al.*, 2002). En este trabajo las provincias biogeográficas serán las unidades geográficas operativas sobrepuestas al país.

El método consta de los siguientes pasos (Morrone, 1994; Posadas y Miranda, 1999; Crisci *et al.*, 2000; Escalante *et al.*, 2001; Morrone y Escalante, 2002):

1. Superponer al área de estudio (República Mexicana) el sistema de regionalización previamente desarrollado (provincias biogeográficas).
2. Construir una matriz de presencia-ausencia con base en las unidades geográficas (filas) y los taxones (columnas), se codifica con "0" ó "1", dependiendo de la ausencia o presencia del taxón en las unidades geográficas, respectivamente.
3. Analizar la matriz mediante un algoritmo de parsimonia.
4. Identificar en el cladograma(s) obtenido(s) los grupos de áreas definidos por al menos dos taxones (sinapomorfías).
5. Representar en un mapa las sinapomorfías del clado(s) con base en los datos de distribución (localidades de registro) real de los taxones analizados.

Regiones biogeográficas de México

En México se han descrito múltiples regionalizaciones biogeográficas, que incluyen básicamente dos regiones biogeográficas: Neártica y Neotropical, subdivididas en dominios y provincias (Cabrera y Willink, 1980). Las diferentes regionalizaciones han empleado criterios geográficos, paleontológicos, florísticos o faunísticos, pero la tendencia actual es integrar tanto el enfoque biogeográfico como el ecológico, para caracterizar unidades naturales, asumiendo que los factores bióticos y abióticos constriñen las distribuciones de la especies a áreas definidas (Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; Leopold, 1997). Con el objeto de unificar los sistemas biogeográfico y ecológico, Morrone *et al.* (2002) propusieron 14 provincias biogeográficas para México, cinco de las cuales corresponden a la región Neártica y nueve a la región Neotropical (Cuadro 1).

Cuadro 1. Regionalización biogeográfica de México. Regiones y provincias biogeográficas terrestres presentes en México, de acuerdo con Morrone *et al.* (2002).

Región	Provincia
Neártica	<ul style="list-style-type: none"> • Baja California (BAJ) • California (CAL) • Sonora (SON) • Altiplano Mexicano (MPL) • Tamaulipas (TAM)
Neotropical	<ul style="list-style-type: none"> • Sierra Madre del Sur (SMS) • Sierra Madre Occidental (SMO) • Sierra Madre Oriental (SME) • Eje Volcánico Transmexicano (VOL) • Chiapas (CHI) • Golfo de México (MGU) • Península de Yucatán (YUC) • Costa Pacífica Mexicana (MPA) • Depresión del Balsas (BAL)

México es una zona de transición entre las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical (Newbigin, 1949; Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; Arita, 1993), ubicado en la zona intermedia de los climas templado y tropical (Fa y Morales, 1998). La región Neotropical se extiende desde Suramérica hasta la parte sur de México, prolongándose hacia el norte tanto al este como oeste de la altiplanicie mexicana, formando las tierras calientes, y además incluye las islas de las Antillas, a esta región corresponden nueve provincias biogeográficas, que se caracterizan tanto por su flora como por su fauna (Fig. 1).

Provincias biogeográficas neotropicales

Las provincias biogeográficas son áreas continuas con relativa homogeneidad de condiciones ecológicas, caracterizadas por un grupo particular de especies y con una fisiografía, clima, suelo y fisonomía vegetal muy similares (Fa y Morales, 1998). Al clasificar áreas de esta manera, se trata de representar sistemas cartográficos de áreas

"naturales" (Espinosa *et al.*, 2001). A continuación se mencionan las provincias neotropicales propuestas para el país:

Sierra Madre Occidental

Oeste de México, en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco, sobre los 1000 m de altitud.

Sierra Madre Oriental

Este de México, en los estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Tlaxcala y Querétaro, sobre los 1500 m de altitud.

Eje Volcánico Transmexicano

Centro de México, en los estados de Guanajuato, México, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala, Veracruz y Distrito Federal, sobre los 1000 m de altitud.

Depresión del Balsas

Centro de México, en los estados de Guerrero, México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla, en altitudes menores a los 2000 m.

Sierra Madre del Sur

Parte sur del centro de México, en los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Puebla, sobre los 1000 m de altitud.

Golfo de México

Planicie costera del Golfo de México, al este del país, en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca.

Costa Pacífica Mexicana

Planicie costera del Pacífico, al oeste de México, en los estados de Sinaloa, Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Península de Yucatán

Sureste de México, en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en altitudes menores a los 200 m.

Chiapas

Sureste de México, corresponde básicamente a la Sierra Madre de Chiapas, entre 500 a 2000 m de altitud.

En la zona más septentrional de la región Neotropical hay una influencia muy marcada de la región Neártica, con un tipo de vegetación muy heterogéneo, desde selvas húmedas hasta matorrales xerófilos. Entre las familias predominantes de plantas se encuentran las Agavaceae, Leguminosae y Compositae, aunque también son abundantes familias típicamente holárticas como las Pinaceae, Cupressaceae y Fagaceae (Cabrera y Willink, 1980). Hacia el sur, en las laderas de cañadas de tierras bajas y las planicies costeras tanto del Golfo de México como del Pacífico, se encuentra una de las regiones más húmedas del planeta, en algunas zonas la precipitación anual puede llegar a 10 000 mm, con una temperatura que oscila entre 23 a 30°C, con poca variación a lo largo del año. La vegetación dominante es la selva tropical, caracterizada por su gran diversidad de especies. Entre las familias importantes de plantas, podemos encontrar a las Leguminosae, Moraceae, Anonaceae, Bombacaceae, Burseraceae, Hipericaceae y Miristicaceae. Asimismo presenta numerosas especies de palmeras, lianas y epífitas. Los manglares son frecuentes en las costas, la especie predominante es el mangle rojo (*Rhizophora brevistyla*).

Por otro lado, la región Neotropical comprende también tierras frías, localizadas en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, y las cadenas montañosas del sur; en un intervalo altitudinal que se encuentra por encima de los 1000 m hasta más de 4000 m. La temperatura oscila entre los 8 y 23°C y la precipitación pluvial varía entre los 600 a 1300 mm anuales. La vegetación predominante está formada por bosques de pino (*Pinus spp.*), abeto (*Abies spp.*), encino (*Quercus spp.*) y bosques mixtos. En los bosques de pino, el estrato herbáceo suele estar dominado por gramíneas robustas que también

forman las estepas alpinas por encima de la línea del bosque, mezcladas con géneros de flores llamativas como *Senecio*, *Lupinus* y *Castilleja*, que llegan hasta la cota de la nieve.

La mayor parte de la República Mexicana se caracteriza por la escasez e irregular distribución de las lluvias, que por lo general no sobrepasa los 750 mm anuales y el período de sequía oscila entre 7 y 11 meses, con una temperatura media anual entre 18 a 20°C. Se caracteriza por una vegetación que varía de bosques xerófilos, frecuentemente espinosos, a matorrales abiertos, matorrales crasicaulales y estepas de gramíneas.

Biogeográficamente, México corresponde a una amplia zona de transición, que produce una alta diversidad biológica (Arita, 1993). Entre los mamíferos, como en aves, reptiles, anfibios e insectos (Newbigin, 1949; Ramírez-Pulido y Múdespacher, 1987), podemos encontrar fauna típica de la región Neártica con su distribución más sureña y para el caso de la fauna neotropical, se ubica el límite más norteño (Villar, 1986) para algunos órdenes de mamíferos: Primates, Xenarthra y Perissodactyla (Emmons y Feer, 1997), incluso para el orden Sirenia, cuyas especies son exclusivamente acuáticas.

Mamíferos neotropicales

La mastofauna de la República Mexicana incluye 522 especies nativas, agrupadas en 12 órdenes, 47 familias y 292 géneros, lo que coloca al país en el segundo lugar de especies de mamíferos a nivel mundial (Ceballos *et al.*, 2002). Los órdenes mejor representados son Rodentia y Chiroptera, que juntos conforman el 79% de la mastofauna nacional (Fa y Morales, 1998). Aproximadamente el 30% de las especies son endémicas y el resto son una combinación de especies con afinidades neárticas y neotropicales (Ceballos y Rodríguez, 1993; Ceballos *et al.*, 2002) en proporciones similares, excepto el orden Chiroptera que equivale aproximadamente al 30% de estas especies y la mayoría son de afinidad neotropical (Arita, 1993; Ceballos *et al.*, 2002). La composición mixta de las biotas neártica y neotropical en el país es conspicua, no siendo así el límite de distribución entre ellas, este límite no corresponde a una barrera geográfica natural para el caso de los mamíferos, mas bien está asociado a la tolerancia ambiental; el clima y la

altitud fijan los límites que alcanzan los elementos neotropicales, que parecen ser menos tolerantes respecto a los elementos neárticos (Fa y Morales, 1998). El límite de transición de ambas biotas de mamíferos, de acuerdo con Fa y Morales (1998), corresponde aproximadamente con la división de provincias biogeográficas neárticas y neotropicales de Morrone *et al.* (2002) (Fig. 1).

La región Neotropical se caracteriza por la casi ausencia de insectívoros (Newbigin, 1949). Todos los carnívoros, artiodáctilos y perisodáctilos de esta región son inmigrantes, pues su evolución se llevó a cabo en América del Norte, en contraste con los primates del Nuevo Mundo, que son típicamente sudamericanos, al igual que los edentados (Newbigin, 1949).

Importancia de la conservación de las especies silvestres

La conservación implica políticas y programas que se utilizan para la preservación a largo plazo de las comunidades naturales bajo condiciones que proporcionen el potencial para su evolución continua (CONANP, 2002). El problema más importante que trata de resolver la conservación es evitar la extinción, que a pesar de ser un proceso natural y común ha aumentado a causa de la actividad humana (Kauffman y Harries, 1996).

Nuestro país dispone de leyes para la conservación de los animales silvestres, sin embargo, la protección de la fauna es escasa, no existen controles efectivos, pero a pesar de eso, aún quedan especies valiosas, aunque en muchas regiones varias especies han desaparecido debido a la destrucción de su hábitat (Eccardi *et al.*, 1984). Las poblaciones de vida silvestre son vulnerables y no podrán vivir en un futuro a largo plazo quedando aisladas en reservas y parques nacionales, ni sería posible mantener su viabilidad genética y demográfica (Robinson y Redford, 1997), sin embargo, las reservas son una estrategia de conservación *in situ* que promueve la conservación de la diversidad biológica. Por ello, se torna importante proponer o diseñar métodos de análisis para robustecer los criterios al seleccionar áreas para protección. Para el caso de los mamíferos mexicanos, el 44% de las especies enfrenta problemas de conservación, y las

proporciones de taxones en riesgo y extintos colocan a México entre los primeros países con estas categorías (Ceballos *et al.*, 2002).

Se han propuesto diferentes criterios relacionados a la conservación de la biodiversidad, como la protección prioritaria de especies endémicas, debido a que la mayoría de éstas se encuentra en alguna categoría de riesgo, además tienden a presentar áreas de distribución restringida, es por ello que zonas de alto endemismo deben considerarse primordialmente (Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; Ceballos y Rodríguez, 1993; Arita *et al.*, 1997).

Como estrategias de conservación *in situ*, México cuenta con áreas decretadas y legisladas para su protección, mediante la creación del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP), aunque estas áreas no necesariamente cumplen con las características básicas para mantener poblaciones viables a largo plazo (Hernández, 1992; Arriaga *et al.*, 2000), debido a que los criterios para determinarlas y establecerlas en el pasado han sido conflictivos (Vélez, 1991; Álvarez, 2001) y usualmente criterios no científicos (De la Garza, 1992; Hernández, 1992; Reynoso, 1994; Peterson *et al.*, 2000). Actualmente, las estrategias que promueve el SINANP tienen por objeto incorporar nuevas áreas que permitan una representatividad equitativa de las diferentes provincias biogeográficas de México, considerando hábitats de especies de flora y fauna endémicas y aquellas incluidas en alguna categoría de riesgo (De la Garza, 1992; INE-SEMARNAP, 2000). También existen proyectos nacionales encaminados a identificar zonas que permitan mantener poblaciones viables a largo plazo, mediante proponer áreas prioritarias en términos de la conservación de la biodiversidad en general, e incluso existen propuestas de áreas prioritarias para grupos específicos, como las aves o los mamíferos, cuyos criterios empleados son básicamente de importancia biológica para cada grupo en particular. Así, actualmente se cuenta con Regiones Terrestres Prioritarias (Conabio, 2000), Regiones Hidrológicas Prioritarias (CNA, 1998), Regiones Marinas Prioritarias (Conabio, 1998) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (CIPAMEX-Conabio, 1999). Respecto a la conservación de mamíferos a nivel nacional, no existen proyectos similares, sin embargo, la comunidad científica ha propuesto Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (Arita *et al.*, 1997; Ceballos, 1999).

Todos estos proyectos están encaminados a proteger adecuadamente la biodiversidad *in situ*, que permitan mantener poblaciones viables a largo plazo, en

cumplimiento con el deber nacional de regular su aprovechamiento sustentable, lo cual es una política ambiental establecida en la Constitución Política Mexicana desde 1917 (INE-SEMARNAP, 2000), que ha permitido promover la búsqueda de estrategias, mediante múltiples proyectos, en materia de conservación (De la Garza, 1992).

Áreas Naturales Protegidas en México

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son una estrategia de conservación *in situ*, que dentro de las políticas ambientales tienen la mayor definición jurídica (INE-SEMARNAP, 2000). Constituyen porciones representativas terrestres o acuáticas del territorio nacional, de su biodiversidad y de los diferentes ecosistemas, donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado por el hombre. Estas áreas están decretadas federalmente, por tanto su uso está regulado estrictamente, sometidas a regímenes especiales de protección, conservación, investigación, restauración y desarrollo. Dentro de estas áreas se promueven programas de manejo que incrementan la oportunidad de conservación de la biodiversidad contemplando ecosistemas, poblaciones, especies y patrimonio genético en el territorio nacional (Arriaga *et al.*, 2000; Vargas *et al.*, 2000; SEMARNAT, 2002a).

Actualmente, el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP) comprende 127 áreas decretadas (Fig. 2), que cubren más del 8% de territorio nacional (17 millones de hectáreas) (CONANP, 2002). Cada área tiene una categoría de manejo que permite identificar el tipo de función que tiene, necesaria para administrar y manejar los recursos que se protegen. Las categorías son las siguientes:

- Reserva de la Biosfera (RB)
- Monumento Natural (MN)
- Parque Nacional (PN)
- Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN)
- Área de Protección de Flora y Fauna Silvestres (APFF)

Además de las categorías reconocidas por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), existen otras que se encuentran en recategorización mediante revisiones. Independientes de la Federación, existen ANPs no

incorporadas al SINANP, únicamente reconocidas a nivel estatal, las cuales son sometidas a evaluación con base en los elementos establecidos para el funcionamiento del sistema para poder ser incorporadas a nivel federal (SEMARNAT 2000a). De manera general, las ANPs constituyen una mezcla heterogénea de los ecosistemas que contienen parte de la diversidad biológica nacional (Anaya *et al.*, 1992).

Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)

Como otra opción de las estrategias de conservación *in situ*, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) promovió el proyecto de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), al final de la década de 1990. El objetivo de dicho proyecto es detectar áreas continentales nacionales importantes desde un punto de vista de la biodiversidad. Actualmente se consideran 151 RTPs que cubren 504,796 km², representando el 26% del territorio nacional (Fig. 3) (Arriaga *et al.*, 2000). Estas áreas son una propuesta de la comunidad científica del país, elegidas principalmente mediante criterios biológicos, que se destacan por poseer atributos biológicos comparativamente mayores que el resto del país (*hotspots*), que deben ser consideradas en algún programa de protección, su conservación es una prioridad debido a sus características naturales, como la presencia de especies endémicas, riqueza de ecosistemas, su integridad ecológica, etc. (SEMARNAP, 2000b; SEMARNAT, 2002a).

Estas áreas son un marco de referencia utilizado en la toma de decisiones en términos de conservación, que se han propuesto para su incorporación al SINANP. Cabe mencionar que el 95% de la superficie de las ANPs decretadas están correlacionadas con las RTPs, de igual manera es importante recalcar que para estas últimas se consideró entre los criterios para establecerlas, la extensión del área, cuya superficie permita la existencia de procesos ecológicos a largo plazo, fundamentales si se pretende una adecuada conservación *in situ*, que incluso para ANPs decretadas no se cumple (SEMARNAP, 2000b; SEMARNAT, 2002a).

A pesar de la importancia prioritaria de dichas áreas, los resultados no se consideran definitivos, y se requiere actualizar la información que hasta el momento se tiene, mediante considerar diversos enfoques (Arriaga *et al.*, 2000).

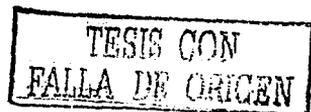
Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCM)

Como esfuerzo adicional de estrategias de conservación *in situ* en el país, algunos autores (Arita *et al.*, 1997; Ceballos, 1999) han propuesto Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCM), ante la necesidad de conservar la diversidad biológica los mamíferos de México a largo plazo. Estas propuestas son trabajos pioneros nacionales enfocados a identificar zonas de importancia en el país para la conservación de éste grupo específicamente. Aún falta considerar criterios adicionales relacionados con aspectos fundamentales, como la delimitación de las áreas con base en los rasgos fisiográficos del lugar, y en las características biológicas y ecológicas de las especies que pretenden protegerse; como el tamaño mínimo del área requerido por los diferentes taxones de acuerdo a su ámbito hogareño, que asegure mantener poblaciones viables. Sin embargo, las áreas propuestas son una contribución importante encaminada a intensificar la protección de los mamíferos de México. Los siguientes trabajos se propusieron a partir de diferentes métodos y asignando distinta prioridad a las especies, a pesar de evaluar las prioridades con diversos criterios, algunas de las áreas propuestas como prioritarias coinciden (Figs. 4, 5 y 6).

Arita *et al.* (1997) propusieron áreas prioritarias independientes para mamíferos terrestres no voladores (Fig. 4) y voladores (Fig. 5), debido a que tanto los patrones espaciales ecológicos como sus áreas de distribución son significativamente diferentes entre quirópteros y el resto de los órdenes. Evaluaron los mamíferos terrestres exclusivamente continentales, asignándoles mayor importancia a especies con distribución restringida, especies raras y endémicas, e identificaron cuales de ellas enfrentan problemas de conservación, además consideraron los patrones geográficos para identificar las especies que tienen distribución restringida en el país, pero no en el continente. Ellos asignaron tal importancia debido a que las especies con distribuciones

más pequeñas (raras) son más susceptibles a la extinción que las especies ampliamente distribuidas, además de no estar consideradas en alguna categoría de riesgo (principalmente las especies de mamíferos no voladores). Asimismo estimaron el tamaño del área de distribución de cada especie para identificar aquellas con distribución restringida y localizar las áreas con el mayor número de especies raras. Finalmente dividieron al país en cuadrantes (0.5 grado por lado) y calcularon su valor de acuerdo al número de especies restringidas presentes y el grado de restricción, para proponer las áreas prioritarias.

Ceballos (1999) evaluó todos los mamíferos terrestres mexicanos (incluyendo especies insulares) y propuso un grupo de áreas complementarias mínimas para la protección de los mamíferos terrestres del país no incluidos en el SINANP. Para ello asignó preferencia a las especies en el siguiente orden: especies en peligro de extinción, especies de distribución restringida y especies de amplia distribución. Las especies con mayor vulnerabilidad a la extinción no tienen adecuada representación en las ANPs, es decir un porcentaje alto no se encuentra representado en éstas áreas. Con el objeto de contribuir a proteger de la manera más completa posible los mamíferos terrestres mexicanos, utilizó las especies no representadas en reservas, y a partir de su área de distribución se determinaron 13 cuadrantes en el país (0.5 grado por lado), que permitirían proteger el 80% de dichas especies (Fig. 6).



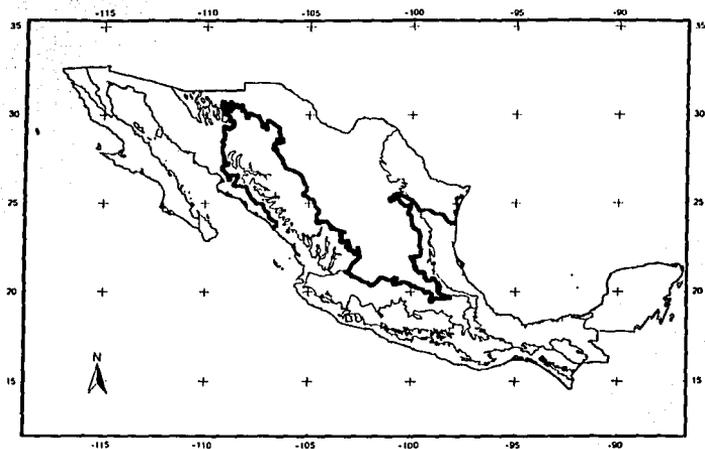


Figura 1. Provincias biogeográficas de México (Morrone *et al.*, 2002). La línea más gruesa indica el límite entre las regiones Neártica y Neotropical.

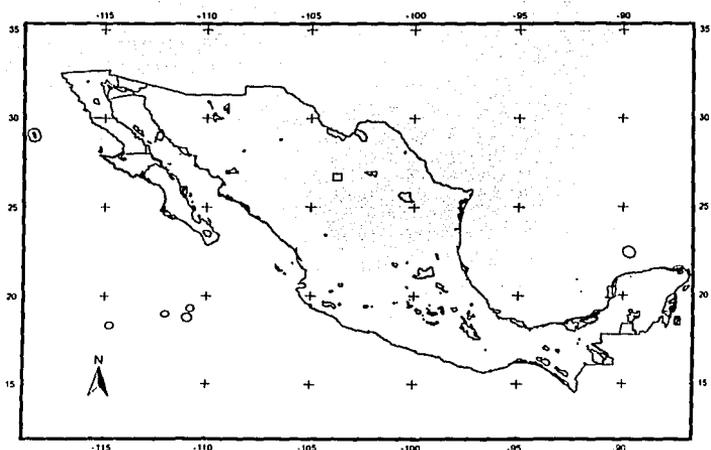


Figura 2. Áreas Naturales Protegidas de México. (INE-SEMARNAT 2001).

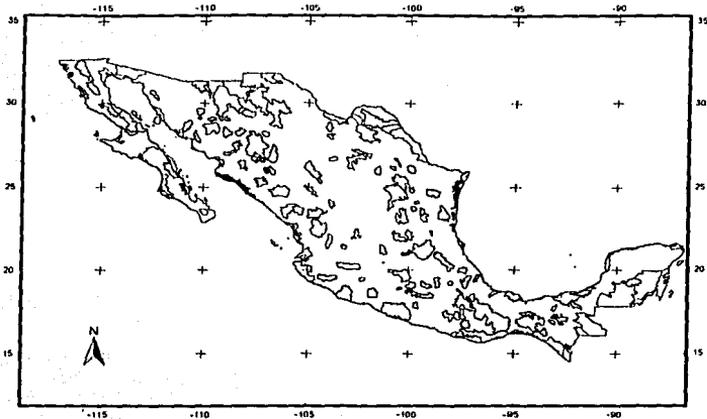


Figura 3. Regiones Terrestres Prioritarias (Conabio, 2000).

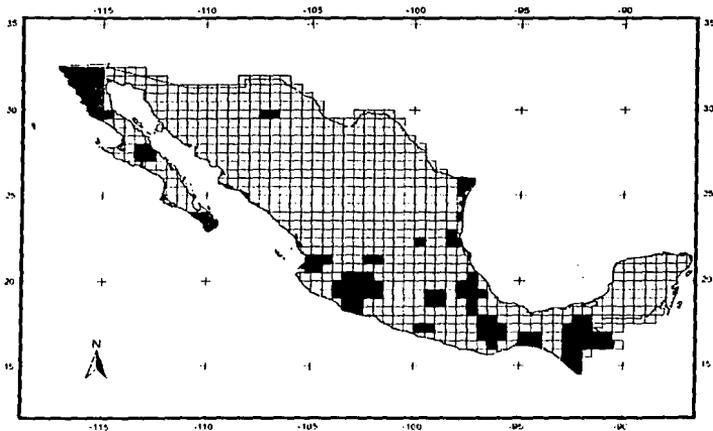


Figura 4. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres continentales no voladores (Arita *et al.*, 1997).

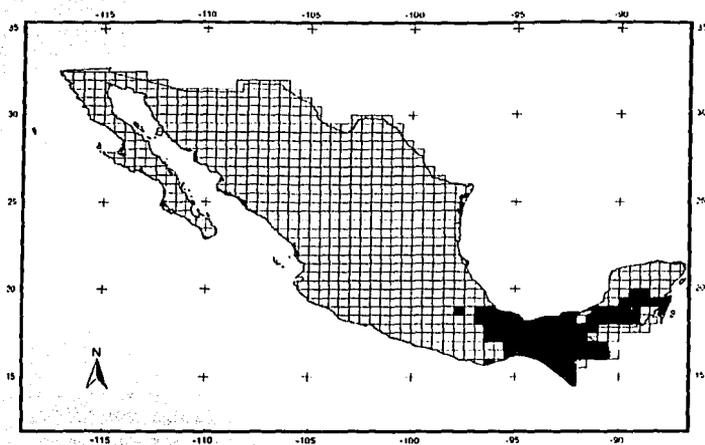


Figura 5. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies continentales de quirópteros (Arita *et al.*, 1997).

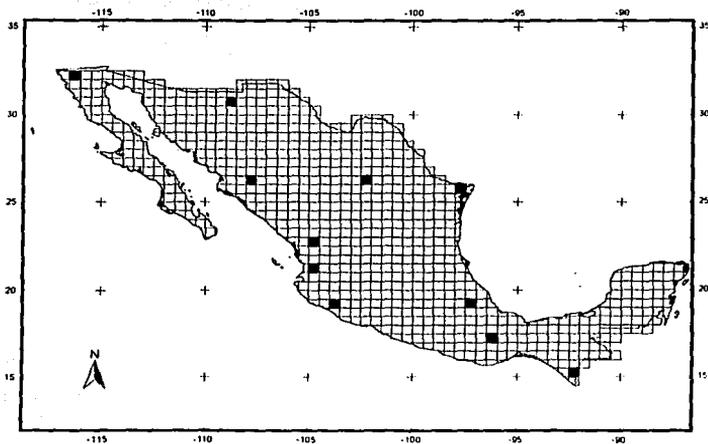


Figura 6. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales (Ceballos, 1999).

JUSTIFICACIÓN

Debido a la inestabilidad ecológica mundial provocada por las actividades antropogénicas, se ha incrementado el proceso de extinción de las especies (Ehrlich, 1981; Kauffman y Harries, 1996). La mastofauna mexicana es un grupo bien representado en el país, que como casi todos los grupos biológicos sufre las consecuencias de este proceso. Para México se han reportado al menos 11 especies extintas de mamíferos durante el siglo XX (Ceballos, 1999), por lo que se vuelve fundamental conservar lo que alberga el país actualmente. La conservación *in situ* es una estrategia que permite a los organismos continuar su evolución en condiciones naturales, conservar al mismo tiempo muchas especies y proteger ecosistemas enteros, incluyendo los componentes abióticos que a su vez mantienen los ciclos biogeoquímicos (Eguiarte y Piñero, 1999). La conservación es una actividad que necesita evaluarse con criterios múltiples, por lo que los esfuerzos dirigidos a proteger una fracción de la diversidad biológica a partir de la identificación de áreas prioritarias a conservar, cimentados en información científica que asegure la elección de las áreas adecuadas, contribuye a orientar las decisiones de conservación. La biogeografía es una disciplina que permite formular información útil para la conservación, considerando la ubicación espacial de la biodiversidad, sin aislarla del contexto espacio-temporal y los mamíferos son un grupo útil para emplear este método debido a la capacidad de dispersión limitada que presenta este grupo (Escalante, 2003). En este trabajo se emplearon distintos enfoques biogeográficos históricos (panbiogeográfico y Análisis de Parsimonia de Endemismos) para aprovechar las ventajas de cada método y así identificar áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales en el país.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar las homologías biogeográficas presentes en las especies seleccionadas de mamíferos terrestres neotropicales de México, empleando métodos biogeográficos históricos, para proponer áreas de conservación en los sitios de alta diversidad filogenética y biogeológicamente compuestas, con base en la localización de nodos.

Objetivos particulares

1. Localizar la existencia de biotas ancestrales ampliamente distribuidas en el pasado a partir de trazos generalizados, mediante la aplicación de herramientas panbiogeográficas y del Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE).
2. Definir los nodos mediante la coincidencia de trazos generalizados para localizar áreas de alta riqueza, evaluando las condiciones actuales de las áreas encontradas superponiéndolas con el mapa de uso de suelo y vegetación del país.
3. Comparar los nodos obtenidos con Áreas Naturales Protegidas, Regiones Terrestres Prioritarias y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos.
4. Proponer áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales, con base en la importancia relativa de los nodos, empleando diferentes métodos: análisis de complementariedad, diversidad filogenética, índice de Colwell y Coddington y el estatus de conservación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron 97 especies de mamíferos terrestres neotropicales presentes en México, pertenecientes a ocho órdenes, 21 familias y 56 géneros, de acuerdo con su tipo de distribución. Se eligieron únicamente aquellas especies de distribución neotropical relativamente restringida, registradas desde la parte sur de Estados Unidos hasta América Central y cuyos datos distribucionales disponibles tuvieran más de un registro de localidad de colecta. La clasificación taxonómica se basó en la nomenclatura propuesta por Ceballos *et al.* (2002) para los mamíferos terrestres de México (Apéndice 1).

Se construyó una base de datos que consta de 5871 registros, con las localidades de colecta en el país para cada taxón, expresadas en coordenadas geográficas (latitud y longitud), obtenidas de Hall (1981), que contiene los principales datos distribucionales de los mamíferos de América del Norte disponibles actualmente. Las localidades fueron georeferidas con cartas topográficas escala 1:250 000 (INEGI, 1988), el gacetero de localidades del INEGI (INEGI, 1995) y la base de localidades para aves del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias de la UNAM (MZFC). Además se incluyó una base de datos integrada con referencias de ejemplares de colecciones de mamíferos (Ceballos y Arita 1996; López-Wilchis, 1996; López-Wilchis y López-Jardínez, 1998; ver Escalante *et al.*, 2002). Los datos geográficos de cada localidad fueron validados respecto a los límites estatales (INEGI, 1990a) y nacionales (INEGI, 1990c), utilizando el software ArcView[®] versión 3.2 (ESRI, 1999).

Panbiogeografía

El método panbiogeográfico permite realizar análisis de distribución geográfica de los organismos mediante la comparación de trazos para descubrir patrones. Se basa en tres conceptos básicos: trazo individual, trazo generalizado y nodo.

Trazo individual. Consiste en una línea que conecta en un mapa las localidades de registro de un taxón o de un grupo de taxones relacionados (Morrone, 2001), de tal forma que la longitud de la línea sea mínima, para obtener un árbol de tendido mínimo, y

representa las coordenadas espaciales del taxón, donde tuvo lugar la evolución del mismo (Morrone, 2001).

Trazo generalizado. Se delinea cuando coinciden dos o más trazos individuales de diferentes taxones, se califica como homología biogeográfica primaria y representa una biota ancestral fragmentada por eventos físicos o geológicos (Morrone, 2001).

Nodo. Son las áreas donde convergen o se intersectan dos o más trazos generalizados, representan zonas compuestas, donde fragmentos bióticos y geológicos ancestrales estuvieron en contacto, incluyen elementos taxonómicos de origen diverso (Morrone, 2001). Estas áreas poseen alta riqueza de especies en cuanto a orígenes históricos (Morrone y Espinosa, 1998; Álvarez, 2001).

Para obtener los trazos individuales, se construyó para cada taxón un mapa con las localidades de registro, representadas mediante puntos, empleando el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView[®] versión 3.2 (ESRI, 1999), que genera mapas electrónicos en formato shape file (.shp). A partir de cada mapa de distribución puntual, se dibujó el trazo individual de cada especie, aplicando el método de distancia mínima para construir árboles de tendido mínimo (Espinosa y Llorente, 1993), empleando el mismo software, que permite medir con exactitud la distancia entre las localidades en el mapa.

Análisis de Parsimonia de Endemismos con Eliminación Progresiva de Caracteres (PAE-PCE)

El Análisis de Parsimonia de Endemismos es un método biogeográfico que emplea un algoritmo de parsimonia para obtener cladogramas de área a partir de las distribuciones geográficas de los organismos, estableciendo relaciones entre diferentes unidades biogeográficas por la presencia de sinapomorfias geográficas. Con base en el cladograma generado, éste método permite encontrar trazos generalizados (Luna *et al.*, 2000; Morrone y Márquez, 2001), que es la siguiente etapa de este análisis.

Para obtener los trazos generalizados se procedió a construir una matriz de presencia-ausencia, de taxones (columnas) *versus* provincias biogeográficas (filas) (Morrone *et al.*, 2002). Los trazos individuales obtenidos de cada especie se

superpusieron independientemente con cada una de las 14 provincias biogeográficas y se codificaron de la siguiente manera: si el taxón se encuentra presente en la unidad biogeográfica seleccionada (provincia), se le asigna "1", y cuando el taxón está ausente "0". Se omitieron los taxones distribuidos en una sola provincia, porque se consideran como autapomorfías, las cuales no son útiles para establecer relaciones entre las unidades geográficas (Luna *et al.*, 2000; García-Barros *et al.*, 2002), igualmente fueron omitidas de la matriz las especies presentes en todas las provincias debido a que representan sinapomorfías totales. Además se agregó un área hipotética para enraizar el árbol, a la cual se le asignó en todas las columnas "0". Posteriormente, la matriz se analizó con un algoritmo de parsimonia mediante el programa PAUP versión 4 (Swofford, 1999), utilizando la opción de Búsqueda Heurística con el criterio de Goloboff para K=2. Siguiendo el método, de acuerdo con Luna *et al.* (2000) y propuesto como PAE-PCE por García-Barros *et al.*, (2002), se identificaron las sinapomorfías (especies) que definían cada uno de los cladogramas principales del árbol obtenido del análisis y se eliminaron esas especies de la matriz, posteriormente se repitió el procedimiento hasta obtener cero sinapomorfías en los cladogramas generados.

Con base en las sinapomorfías de los cladogramas principales de cada uno de los árboles obtenidos del análisis de parsimonia, se dibujaron los trazos generalizados con un formato digital vectorial en el mismo software Arc View[®] de la siguiente manera: se superpusieron los trazos individuales de las sinapomorfías (especies) que definían el clado(s) principal(es) del cladograma del primer análisis y se dibujó el trazo generalizado donde los trazos individuales coincidieran. Es importante aclarar que no todos los trazos individuales pertenecientes al mismo trazo generalizado coinciden con la totalidad de su longitud, pero si preferentemente la mayor parte de su extensión, sugiriendo que la historia común la comparten la mayor parte del tiempo que han existido. El procedimiento se repitió con cada cladograma obtenido de los diferentes análisis realizados. Cabe mencionar que para algunos casos, cladogramas de diferentes análisis derivaron en trazos generalizados con el mismo patrón, los cuales se incluyeron en un solo trazo generalizado. Posteriormente los mapas con trazos generalizados se superpusieron para determinar los nodos en los puntos donde se intersectaran dos o más de éstos trazos; se marcaron en un mapa del país de acuerdo con Fortino y Morrone (1997), y se nombraron respecto a su ubicación geográfica con base en la geomorfología perdurable del terreno o

una localidad cercana, mediante un atlas del medio físico (INEGI, 1988). Se caracterizó cada nodo de acuerdo con las regiones geomórficas (Tamayo, 1968), provincias fisiográficas (Cervantes-Zamora *et al.* (1990) y provincias morfotectónicas del país (Ferrusquía, 1998). Además cada nodo se comparó con un mapa de uso de suelo y vegetación (SSP, 1981) y un mapa hipsográfico (INEGI *et al.*, 1990). Respecto a la determinación de los nodos, es revelante señalar que no todas las especies pertenecientes a un mismo trazo generalizado intervienen en cada uno de los nodos de los que participa cada trazo. Una vez reconocidos los nodos, se procedió a jerarquizar prioridades, en relación con la importancia relativa entre éstas áreas mediante los métodos de análisis de complementariedad y diversidad filogenética.

Análisis de complementariedad

El análisis de complementariedad puede ser utilizado para clasificar los nodos en orden prioritario, considerando la mayor diversidad biológica posible (Vane-Wright *et al.*, 1991; Faith y Walker, 1996; Scott, 1997) y asignando mayor importancia a las áreas con mayor riqueza de especies (Scott, 1997). El análisis de complementariedad permite establecer jerarquías tanto entre pares de áreas como entre cada una de las áreas, igualmente permite identificar la diversidad biológica máxima en un número mínimo de áreas, que es un requisito fundamental para la conservación, debido a la disponibilidad de recursos económicos limitados (Vane-Wright *et al.*, 1991; Scott, 1997; Carton de Grammont, 2002), que debieran invertirse en minimizar la pérdida de la diversidad biológica, impactando lo menos posible al ambiente (Anaya *et al.*, 1992).

De acuerdo con Humphries *et al.* (1991), el principio de complementariedad consiste en la elección de dos áreas que juntas mantengan la mayor diversidad biológica posible. La primera área (nodo) debe tener la mayor riqueza de especies y la segunda debe ser el nodo con el mayor número de especies adicionales, es decir aquellas no representadas en el primer nodo elegido, el valor complementario de un par de áreas está dado por las especies no compartidas entre ambas áreas (Faith, 1994; Faith y Walker, 1996).

Para establecer prioridades entre los nodos con base en la diversidad biológica máxima, se empleó el complemento residual, que es el valor de la diferencia entre el número total de taxones analizados y el número de taxones presentes en un área (Faith, 1994), por lo que la mayor diversidad biológica de una área específica es inversamente proporcional al valor de complemento residual.

Para establecer el número mínimo de áreas requeridas en la unidad geográfica seleccionada, que permita representar el porcentaje total de las especies empleadas en el análisis, se utilizó la porción complementaria acumulada, que se determina a partir de la suma del porcentaje de especies adicionales de cada área elegida. Se escogió el área cuyo valor de complemento residual fue menor entre todos los nodos, posteriormente se eligió la siguiente área prioritaria de acuerdo con el número máximo de especies adicionales, es decir aquel nodo que contara con el número mayor de especies no compartidas, con el mismo criterio se continuó la selección de áreas adicionales hasta tener representados en las áreas elegidas el 100% de los taxones utilizados (Vane-Wright *et al.*, 1991). La forma de la curva acumulada de la diversidad de la secuencia prioritaria da una medida de dispersión geográfica de la diversidad del grupo, en el rango geográfico utilizado (Vane-Wright *et al.*, 1991). Es importante aclarar que para el caso de valores porcentuales iguales de áreas diferentes, se consideró la ubicación geográfica, eligiendo aquel nodo que estuviera en alguna provincia biogeográfica adicional, con el objeto de tener representado el mayor número de biotas con historias biogeográficas diversas.

Para calcular el valor de la diferencia respecto a la composición mantenida entre un par de nodos, se empleó el Índice de Complementariedad propuesto por Colwell y Coddington (1994), que permite medir las especies compartidas en dos áreas mediante el siguiente algoritmo:

$$ICC = (A+B-2j) / (A+B-j)$$

donde:

A= Número de especies en el área 1

B= Número de especies en el área 2

j = Número de especies compartidas entre ambas áreas;

el valor de complementariedad varía de cero a uno. Cero indica coincidencia total respecto a la composición de especies del par de nodos y cuando el valor es igual a uno la complementariedad es total, es decir ninguna especie es compartida entre los dos nodos. El ICC multiplicado por 100 es igual al porcentaje de especies complementarias para cada par de nodos.

Diversidad filogenética

La diversidad filogenética se refiere a la cuantificación de las diferentes categorías taxonómicas representadas en un conjunto de especies, la cual permite establecer prioridades entre los grupos de especies que se evalúan, de acuerdo a la máxima diversidad jerárquica representada, otorgando mayor importancia a las categorías taxonómicas superiores (Faith, 1994). Se obtuvo la diversidad filogenética de cada nodo, contando las diferentes categorías taxonómicas representadas en cada uno de ellos de la siguiente manera: número total de órdenes, número proporcional de familias por orden, número de géneros por familia, número total de géneros y número total de especies, para cada nodo. A partir del número total de especies que participaron en al menos uno de los nodos obtenidos, se calculó el porcentaje de cada categoría taxonómica en cada uno de ellos.

Comparación de los nodos con áreas de importancia biológica nacional

La parte final de este trabajo consistió en comparar el mapa de los nodos obtenidos, con mapas de áreas nacionales importantes para la conservación, establecidas mediante criterios diferentes a los obtenidos aplicando métodos biogeográficos históricos, para determinar la importancia de dichas áreas, con base en su valor histórico, en caso de que las áreas ya establecidas y las propuestas coincidieran, y proponer áreas potencialmente prioritarias para la conservación de mamíferos neotropicales de México, específicamente

en áreas que no son consideradas actualmente. El mapa de nodos biogeográficos se comparó con los siguientes mapas:

- ◆ Áreas Naturales Protegidas (ANP), escala 1:4 000 000 INE-SEMARNAT (2001).
- ◆ Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), escala 1:1 000 000 Conabio (2000).
- ◆ Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCM), escala 1:4 000 000 cuadrantes de 0.5° de latitud X 0.5° longitud.
 1. Mamíferos terrestres continentales no voladores (APCM_N) Arita *et al.* (1997).
 2. Mamíferos terrestres continentales voladores (APCM_M) Arita *et al.* (1997).
 3. Mamíferos terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales (APCM_R) Ceballos (1999).

Además se consideró la presencia en los nodos de especies listadas en alguna categoría de riesgo, según la NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Se otorgó prioridad a los nodos con mayor representación de dichas especies, debido a su necesidad primaria de conservación, con el fin de utilizar el mayor número de criterios disponibles, que permitan establecer la importancia relativa lo más objetivamente posible entre los nodos encontrados.

RESULTADOS

Trazos individuales

Se obtuvieron 97 trazos individuales, los cuales se dibujaron en mapas de la República Mexicana (Figs. 7-97), y se agruparon de acuerdo con su distribución en 12 bloques que se describen a continuación.

Amplia distribución. Cinco especies del orden Rodentia. Sus trazos individuales se extienden desde la región norte de la Península de Baja California hasta la Península de Yucatán, atravesando el centro y ambas costas del país (Figs. 7-11).

Costa Pacífica. 20 especies representantes de cinco órdenes: Chiroptera, Didelphimorphia, Rodentia, Carnivora y Lagomorpha. Sus trazos individuales se extienden desde la región norte de la Península de Baja California hasta la Península de Yucatán, atravesando al país únicamente por la costa Pacífica, algunas especies llegan a tener distribución en la costa del Golfo, pero únicamente en la región de Veracruz que colinda con la parte del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Figs. 12-29).

Costas y Altiplano Mexicano. Tres especies representantes de los órdenes: Chiroptera, Primates y Rodentia. Sus trazos individuales se extienden a lo largo de las planicies costeras, tanto del Golfo como del Pacífico, atraviesan el Altiplano Mexicano y llegan hasta la Península de Yucatán (Figs. 30-32).

Centro de México. Cinco especies del orden Rodentia. Sus trazos individuales se extienden a lo largo de la región central del país, sus distribuciones son restringidas y no llegan a las costas (Figs. 33-37).

Centro de México y Sierras Madre. 12 especies representantes de tres órdenes: Chiroptera, Lagomorpha y Rodentia. Sus trazos individuales se extienden en la región central del país sin llegar a la Península de Yucatán (excepto una especie del orden Rodentia), pasando por las Sierras Madre: Oriental, Occidental y del Sur (Figs. 38-46).

Centro de México y planicies costeras. Dos especies representantes del orden Rodentia. Sus trazos individuales se extienden a lo largo de la región central de México, atraviesan la Sierra Madre del Sur, la Sierra Madre Oriental y solo una especie cruza la Sierra Madre Occidental, hasta llegar a las planicies costeras en ambas costas (Figs. 47-48).

Centro de México y Costa Pacífica. Cinco especies representantes de tres órdenes: Chiroptera, Lagomorpha y Rodentia. Sus trazos individuales se extienden a lo largo de la costa Pacífica desde Sinaloa sin llegar a la Península de Yucatán y aunque se extienden a lo largo de la planicie costera del Pacífico, también pasan por la región central del país (Figs. 49-53).

Eje Volcánico Transmexicano. 11 especies representantes de tres órdenes: Chiroptera, Lagomorpha y Rodentia. Sus trazos individuales se presentan en el Eje Neovolcánico Transversal, llegan tanto a la costa del Golfo como a la costa Pacífica, en general son especies cuyas distribuciones son relativamente restringidas (Figs. 54-64).

Sureste de México. 15 especies representantes de seis órdenes: Chiroptera, Carnívora, Xenarthra, Didelphimorphia, Perissodactyla y Rodentia. Sus trazos individuales se extienden en la región sureste de México, tanto en la parte central como en la planicie costera del Golfo hasta la Península de Yucatán y solo llegan a la costa Pacífica en los estados de Oaxaca y Chiapas (Figs. 65-79).

Costa del Golfo de México. Seis especies representantes de tres órdenes: Chiroptera, Xenarthra y Rodentia. Sus trazos individuales se extienden a lo largo de la planicie costera del Golfo de México sin llegar a la Península de Yucatán, llegan a la costa Pacífica únicamente en la parte del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Figs. 80-85).

Península de Yucatán. Siete especies representantes de tres órdenes: Primates, Carnívora y Rodentia. Sus trazos individuales se restringen a Chiapas y la Península de Yucatán (Figs. 86-91).

Chiapas y Centro de México. Seis especies representantes de dos órdenes: Chiroptera y Rodentia. Sus trazos individuales se restringen a Chiapas y la parte sur del centro de México (Figs. 92-97).

AMPLIA DISTRIBUCIÓN



Figura 7. *Baiomys musculus*.



Figura 8. *Liomys pictus*.

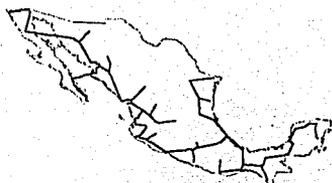


Figura 9. *Notalus stramineus*.



Figura 10. *Sciurus aureogaster*.



Figura 11. *Peromyscus aztecus*.

COSTA PACÍFICA



Figura 12. *Artibeus hirsutus*.



Figura 13. *Balantiopteryx plicata*.



Figura 14. *Carollia subrufa*.



Figura 15. *Eumops underwoodi*.

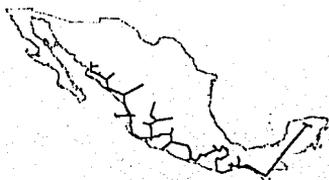


Figura 16. *Marmosa canescens*.



Figura 17. *Molossops greenhalli*.

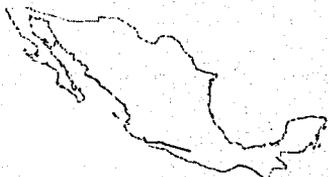


Figura 18. *Musonycteris hamsoni*.

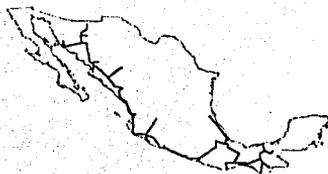


Figura 19. *Myotis fortidens*.

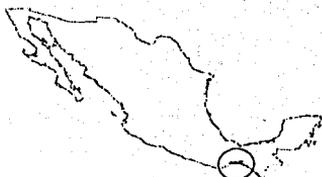


Figura 20. *Lepus flavigularis*.

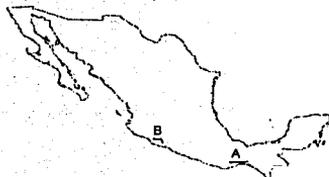


Figura 21. A. *Orthogeomys cuniculus*,
B. *Peromyscus winkelmani*.



Figura 22. *Rheomys mexicanus*.

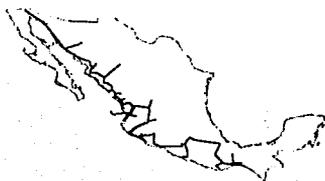


Figura 23. *Rhogeessa parvula*.



Figura 24. *Sciurus colliae*.

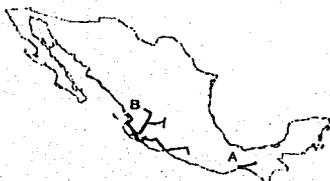


Figura 25. A. *Scotinomys teguina*,
B. *Spermophilus annulatus*.

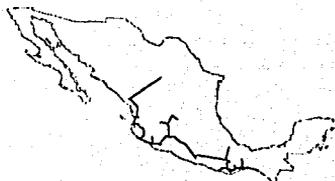


Figura 26. *Sigmodon alleni*.



Figura 27. *Spermophilus adocetus*.



Figura 28. *Spilogale pygmaea*.



Figura 29. *Xenomys nelsoni*.

COSTAS Y ALTIPLANO MEXICANO



Figura 30. *Ateles geoffroyi*.



Figura 31. *Nyctinomops aurispinosus*.



Figura 32. *Oryzomys melanotis*.

CENTRO DE MÉXICO



Figura 33. *Habromys lepturus*.



Figura 34. *Microtus oaxacensis*.



Figura 35. *Microtus umbrinus*.



Figura 36. *Oryzomys chapmani*.



Figura 37. *Peromyscus melanocarpus*.

CENTRO DE MÉXICO Y SIERRAS MADRE



Figura 38. *Dermanura aztecus*.



Figura 39. *Microtus quasiater*.

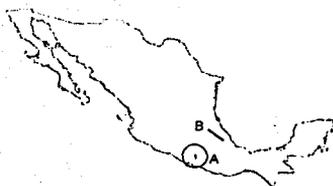


Figura 40. A. *Megadontomys thomasi*,
B. *Habromys simulatus*.



Figura 41. A. *Megadontomys cryophilus*,
B. *Peromyscus ochraventer*,
C. *Sylvilagus insonus*.



Figura 42. *Neotoma angustapalata*.



Figura 43. *Nyctomys sumichrasti*.

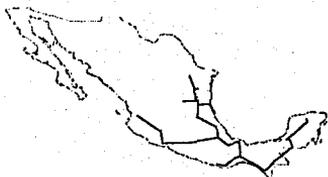


Figura 44. *Oligoryzomys fulvescens*.



Figura 45. *Peromyscus megalops*.



Figura 46. *Reithrodontomys mexicanus*.

CENTRO DE MÉXICO Y PLANICIES COSTERAS



Figura 47. *Reithrodontomys sumichrasti*.



Figura 48. *Peromyscus mexicanus*.

CENTRO DE MÉXICO Y COSTA PACÍFICA



Figura 49. *Hylonycteris underwoodi*.



Figura 50. *Hodomys alleni*.



Figura 51. *Orthogeomys grandis*.



Figura 52. *Sylvilagus cunicularius*.

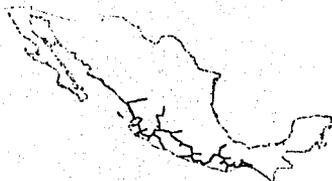


Figura 53. *Sigmodon mascotensis*.

EJE VOLCÁNICO TRANSMEXICANO



Figura 54. *Antrozous dubiaquercus*.

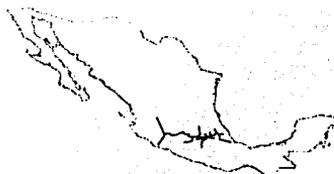


Figura 55. *Neotomodon alstoni*.



Figura 56. *Liomys spectabilis*.



Figura 57. *Peromyscus hylocetes*.

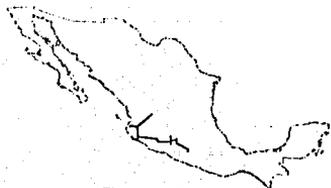


Figura 58. *Peromyscus perfulvus*.



Figura 59. *Reithrodontomys chrysopsis*.

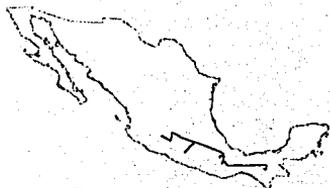


Figura 60. *Reithrodontomys microdon*.



Figura 61. *Reithrodontomys hirsutus*.

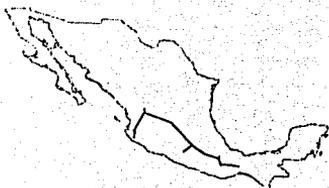


Figura 62. *Rhogeessa gracilis*.

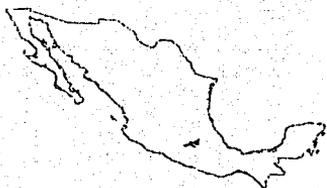


Figura 63. *Romerolagus diazi*.

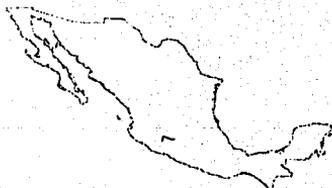


Figura 64. *Zygogeomys trichopus*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SURESTE DE MÉXICO



Figura 65. *Agouti paca*.



Figura 66. *Bassariscus sumichrasti*.



Figura 67. *Caluromys derbianus*.

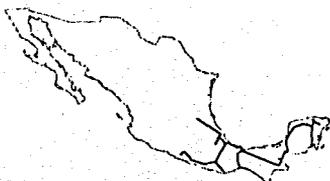


Figura 68. *Coendou mexicanus*.



Figura 69. *Conepatus semistriatus*.



Figura 70. *Heteromys desmarestianus*.

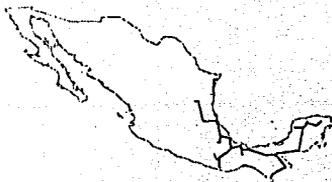


Figura 71. *Marmosa mexicana*.



Figura 72. *Myotis elegans*.

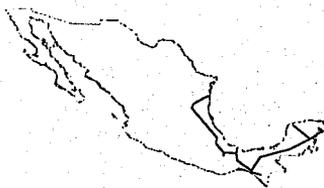


Figura 73. *Myotis Keaysi*.



Figura 74. *Orthogeomys hispidus*.



Figura 75. *Otolylomys phyllotis*.



Figura 76. *Reithrodontomys gracilis*.



Figura 77. *Sciurus deppel*.



Figura 78. *Tapirus bairdii*.

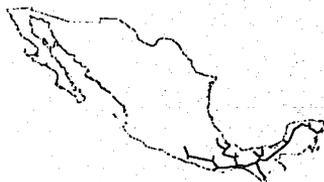


Figura 79. *Tamandua mexicana*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COSTA GOLFO DE MÉXICO



Figura 80. *Balantiopteryx io*.

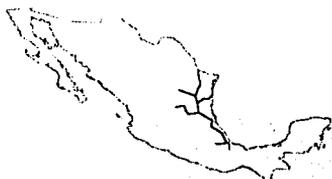


Figura 81. *Conepatus leuconotus*.

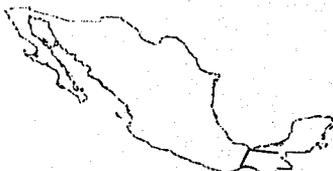


Figura 82. *Cyclopes didactylus*.

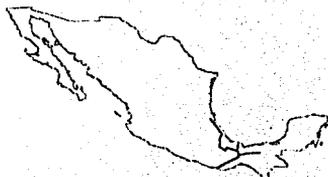


Figura 83. *Dasyprocta mexicana*.

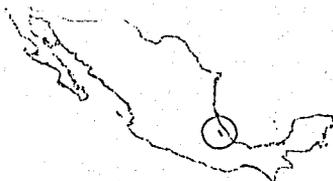


Figura 84. *Megadontomys Nelson*.

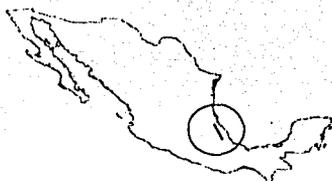


Figura 85. *Orthogeomys lanus*.

PENÍNSULA DE YUCATÁN



Figura 86. *Alouatta pigra*.



Figura 87. *Heteromys gaumeri*.



Figura 88. A. *Otomyctomys hattii*,
B. *Procyon pigmaeus*.



Figura 89. *Peromyscus yucatanicus*.

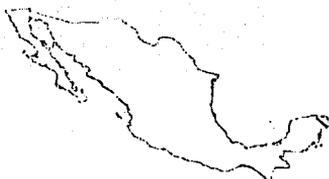


Figura 90. *Reithrodontomys spectabilis*.



Figura 91. *Sciurus yucatanensis*.

CHIAPAS Y CENTRO DE MÉXICO



Figura 92. *Gossophaga leachii*.



Figura 93. *Heteromys goldmani*.



Figura 94. *Liomys salvini*.



Figura 95. *Myotis albescens*.



Figura 96. *Peromyscus zerbhynchus*.

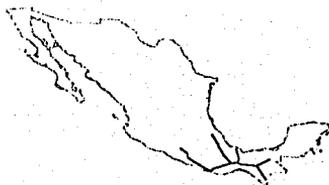


Figura 97. *Tylomys nudicaudatus*.

TESIS CON
EVALUACIÓN DE ORIGEN

Trazos generalizados

A partir de la matriz de datos original construida con base en los trazos individuales, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 200$, $IC= 0.45$, $IR= 0.66$) (Apéndice 2), sus clados principales generaron los trazos generalizados I, II y III (Cuadro 2). El segundo análisis se llevó a cabo con 74 especies, se obtuvieron dos cladogramas más parsimoniosos ($L= 190$, $IC= 0.38$, $IR= 0.60$), a partir de los cuales se generaron los trazos generalizados IV, V y VII. El tercer análisis se llevó a cabo con 58 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 148$, $IC= 0.39$, $IR= 0.60$), que generó el trazo generalizado VI. El cuarto análisis se llevó a cabo con 52 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 142$, $IC= 0.36$, $IR= 0.55$), que generó dos trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados I y II. El quinto análisis se llevó a cabo con 46 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso que no participó en los trazos generalizados. El sexto análisis se llevó a cabo con 44 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 119$, $IC= 0.36$, $IR= 0.57$), el cual generó tres trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados III, IV y VI. El séptimo análisis se llevó a cabo con 41 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 116$, $IC= 0.35$, $IR= 0.54$), que generó tres trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados I, IV y VI. El octavo análisis se llevó a cabo con 35 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 96$, $IC= 0.36$, $IR= 0.57$), que generó el trazo generalizado VIII. El noveno análisis se llevó a cabo con 33 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 96$, $IC= 0.34$, $IR= 0.52$), que generó dos trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados VI y VII. El décimo análisis se llevó a cabo con 28 especies, se obtuvieron tres cladogramas más parsimoniosos, que no participaron en los trazos generalizados. El décimo primer análisis se llevó a cabo con 27 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 73$, $IC= 0.35$, $IR= 0.55$), que generó dos trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados I y II. El análisis décimo segundo se llevó a cabo con 25 especies, se obtuvieron dos cladogramas más parsimoniosos que no participaron en ningún trazo generalizado. El análisis décimo tercero se llevó a cabo con 23 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 67$, $IC= 0.34$, $IR= 0.56$), generó un trazo que quedó incluido en el trazo generalizado IV. El análisis décimo cuarto se llevó a cabo con 21 especies, se obtuvo un cladograma único más parsimonioso ($L= 58$, $IC= 0.36$, $IR= 0.58$), que generó dos trazos que quedaron incluidos en los trazos generalizados I y IV. El

análisis terminó cuando no hubo ninguna sinapomorfia que definiera los cladogramas del cladograma obtenido. Es importante mencionar que los cladogramas obtenidos en los diferentes análisis, que no generaron trazos generalizados, fue debido a que las sinapomorfias que definían los cladogramas no tenían distribuciones congruentes en el mapa.

CUADRO 2. Estadísticos básicos de los árboles obtenidos mediante el análisis de parsimonia. Se especifica el número de especies que participan en cada análisis, el número de sinapomorfias que definen el cladograma y los trazos generalizados generados.

ANÁLISIS	ESPECIES QUE PARTICIPAN EN EL ANÁLISIS	ESPECIES QUE DEFINEN LOS CLADOS	TRAZOS OBTENIDOS	LONGITUD DEL ÁRBOL	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	ÍNDICE DE RETENCIÓN	GOLOBOFF
1	85	11	I, II, III	200	0.45	0.66	-60.62
2	74	16	IV, V, VII	190	0.38	0.60	-51.01
2	74	16	IV, V	193	0.38	0.59	-51.01
3	58	6	VI	148	0.39	0.60	-40.05
4	52	6	I, II	142	0.36	0.55	-34.88
5	46	2	NINGUNO	109	0.38	0.59	-30.65
6	44	3	III, IV, VI	119	0.36	0.57	-29.31
7	41	6	I, IV, VI	116	0.35	0.54	-27.13
8	35	2	VIII	96	0.36	0.57	-22.80
9	33	5	VI, VII	96	0.34	0.52	-21.57
10	28	1	NINGUNO	77	0.36	0.57	-18.22
10	28	1	NINGUNO	78	0.35	0.56	-18.22
10	28	1	NINGUNO	78	0.35	0.56	-18.22
11	27	2	I, II	77	0.35	0.55	-17.55
12	25	2	NINGUNO	73	0.34	0.55	-15.80
12	25	2	NINGUNO	73	0.34	0.55	-15.80
13	23	2	IV	67	0.34	0.55	-14.77
14	21	2	I, IV	58	0.36	0.55	-13.77
15	19	0	NINGUNO	54	0.35	0.56	-12.25

A continuación se describe la ubicación de cada trazo generalizado. Asimismo, se enuncian las provincias biogeográficas (Morrone *et al.*, 2002) que atraviesa cada uno de los trazos y se listan las especies que definen a cada trazo generalizado. Las especies se separan en taxones voladores y no voladores, con el objeto de enfatizar las diferentes capacidades de dispersión entre los taxones incluidos en un mismo trazo.

Trazo generalizado I

LOCALIZACIÓN: Se extiende en el lado Pacífico del país, desde el sur de Sinaloa, la región occidental de Nayarit, Jalisco y Colima, en Michoacán llega a la parte central y atraviesa Guerrero en la región costera, cruza Oaxaca por la región central hasta el Istmo de Tehuantepec.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Depresión del Balsas
Costa del Pacífico
Sierra Madre del Sur
Eje Volcánico Transmexicano

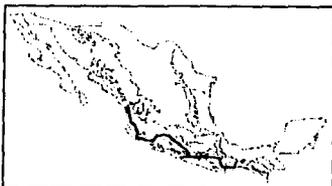


Figura 98. El trazo se define por 11 especies, dos voladoras y nueve no voladoras.

TAXONES

No voladores
Baiomys musculus
Liomys pictus
Marmosa canescens
Peromyscus aztecus
Peromyscus megalops
Rheomys mexicanus
Sigmodon alleni
Sigmodon mascotensis
Spermophilus adocetus

Voladores

Balantiopteryx plicata
Eumops underwoodi

Trazo generalizado II

LOCALIZACIÓN: Se extiende en la región mesoamericana por la costa Pacífica, cruza por los estados de Colima y Michoacán, en Guerrero atraviesa la región central, donde se desplaza al sur llegando a la costa y atraviesa la parte suroeste de Oaxaca hasta llegar a la porción más sureña del mismo estado.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Depresión del Balsas
Costa del Pacífico
Sierra Madre del Sur

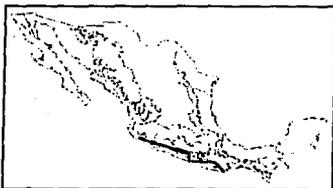


Figura 99. El trazo se define por siete especies, dos voladoras y cinco no voladoras.

TAXONES

No voladores
Megadontomys thomasi
Orthogeomys grandis
Peromyscus winkelmanni
Spermophilus annulatus
Spilogale pygmaea

Voladores

Molossops greenhalli
Musononycteris harrisoni

Trazo generalizado III

LOCALIZACIÓN: Se extiende a lo largo del Eje Volcánico Transmexicano y una pequeña porción sur de la Sierra Madre Oriental, cruza por la región central de Michoacán, atraviesa el Estado de México, pasa por la parte norte de Morelos, el occidente de Tlaxcala y cruza Puebla hasta la región occidental del centro de Veracruz.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Depresión del Balsas
Sierra Madre Oriental
Eje Volcánico Transmexicano

TAXONES

No voladores
Peromyscus hylocetes
Reithrodontomys sumichrasti
Sciurus aureogaster



Figura 100. El trazo se define por tres especies, no voladoras, que pertenecen al mismo orden.

Trazo generalizado IV

LOCALIZACIÓN: Se extiende tanto por la costa Pacífica sur como por la costa del Golfo y una parte de la Península de Yucatán. En la costa Pacífica pasa por Guerrero, toda la costa de Oaxaca, atraviesa la región norte de Chiapas, cruza Tabasco, hasta la parte centro de Campeche. En la región del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca se bifurca recorriendo la parte noreste del mismo estado, atraviesa Veracruz por el extremo occidental, pasando por la parte este en Puebla, norte de Hidalgo, este de San Luis Potosí y sur de Tamaulipas.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Depresión del Balsas
Chiapas
Costa del Golfo
Costa del Pacífico
Sierra Madre Oriental
Sierra Madre del Sur
Península de Yucatán

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 101. El trazo se define por 11 especies, tres voladoras y ocho no voladoras.

TAXONES

No voladores

Agouti paca
Bassaricus sumichrasti
Heteromys goldmani
Peromyscus melanocarpus
Reithrodontomys mexicanus
Scotinomys teguina
Tamandua mexicana
Tylomys nudicaudatus

Voladores

Balantiopteryx io
Dermanura aztecus
Myotis keaysi

Trazo generalizado V

LOCALIZACIÓN: Se extiende en una pequeña región del sureste del país, en la costa Pacífica se presenta únicamente en la región del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca y hacia la costa del Golfo de México pasa por la parte sur de Veracruz, atraviesa Tabasco y el norte de Chiapas.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Costa del Golfo
Costa del Pacífico



Figura 102. El trazo se define por tres especies no voladoras.

TAXONES

No voladores

Cyclopes didactylus
Heteromys desmarestianus
Lepus flavigularis

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Trazo generalizado VI

LOCALIZACIÓN: Se extiende tanto por la costa Pacífica como por la costa del Golfo y en la Península de Yucatán. En la costa Pacífica cruza por Guerrero, oeste de Oaxaca y se une con el trazo del Golfo, que se extiende desde la parte sur de Tamaulipas, este de San Luis Potosí, norte de Hidalgo, la porción límite este de Puebla, Veracruz, hasta la región norte de Chiapas, atraviesa Tabasco, Campeche, la parte centro y sur de Yucatán hasta Quintana Roo.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Chiapas
Costa del Golfo
Costa del Pacífico
Sierra Madre Oriental
Sierra Madre del Sur
Eje Volcánico Transmexicano
Península de Yucatán

TAXONES

No voladores
Ateles geoffroyi
Caluromys derbianus
Coendou mexicanus
Habromys simulatus
Marmosa mexicana
Orthogeomys hispidus
Orthogeomys lanius
Oryzomys melanotis
Otodylomys phyllotis
Peromyscus yucatanicus
Sciurus deppei
Tapirus bairdii

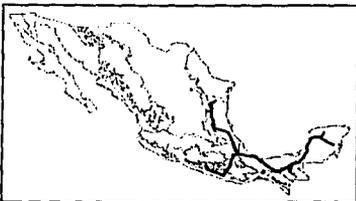


Figura 103. El trazo se define por 14 especies, dos voladoras y 12 no voladoras.

Voladores

Carollia subrufa
Myotis albescens

Trazo generalizado VII

LOCALIZACIÓN: Se extiende en la parte centro-sur del país, desde la región del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, recorriendo el estado por su parte norte, cruza Puebla, el noroeste de Morelos, el sureste del Estado de México hasta el centro de Guerrero.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS

Depresión del Balsas
Costa del Pacífico
Sierra Madre del Sur
Eje Volcánico Transmexicano



Figura 104. El trazo se define por cuatro especies, tres voladoras y una no voladora.

TAXONES

No voladores
Microtus oaxacensis

Voladores
Glossophaga leachii
Hyionycteris underwoodi
Rhogeessa gracili

Trazo generalizado VIII

LOCALIZACIÓN: Se restringe al estado de Sinaloa y una pequeña porción al norte de Nayarit.

PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS
Costa del Pacífico

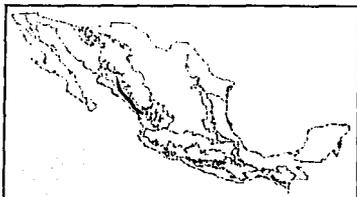


Figura 105. El trazo se define por tres especies, dos voladoras y una no voladora.

TAXONES

No voladores
Sylvilagus cunicularius

Voladores
Artibeus hirsutus
Tadarida aurispinos

Los trazos generalizados se dibujaron a partir de patrones espaciales comunes de especies con diferentes capacidades de dispersión, excepto el trazo generalizado IV que cruza el Eje Volcánico Trasmexicano, representado únicamente por especies no voladoras que pertenecen al mismo orden. Todos los trazos generalizados atraviesan más de una provincia biogeográfica, excepto el trazo generalizado VIII, presente únicamente en la provincia Costa del Pacífico Mexicano (Cuadro 3).

CUADRO 3. Taxones y provincias biogeográficas de los trazos generalizados. Se indica el número de especies incluidas en cada trazo generalizado (se separan en especies voladoras y no voladoras), además se indica el total de nodos en que participa cada trazo y las provincias biogeográficas que atraviesa cada uno de ellos.

TRAZO GENERALIZADO	ESPECIES NO VOLADORAS	ESPECIES VOLADORAS	TOTAL DE ESPECIES POR TRAZO	TOTAL DE NODOS EN QUE PARTICIPA	PROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS							
					BAL	CHI	MGU	MPA	SME	SMS	VOL	YUC
I	9	2	11	6	❖			❖			❖	❖
II	5	2	7	5	❖			❖			❖	
III	3	0	3	3	❖				❖		❖	
IV	8	3	11	13	❖	❖	❖	❖	❖	❖	❖	❖
V	3	0	3	3								
VI	12	2	14	8		❖	❖	❖	❖	❖	❖	❖
VII	1	3	4	4	❖			❖		❖	❖	
VIII	1	2	3	1				❖				

BAL. Depresión del Balsas; **CHI.** Chiapas; **MGU.** Costa del Golfo; **MGA.** Costa del Pacífico; **SME.** Sierra Madre Oriental; **SMS.** Sierra Madre del Sur; **VOL.** Eje Volcánico Transmexicano; **YUC.** Península de Yucatán.

Nodos panbiogeográficos

Se detectaron 16 nodos en los lugares donde convergen los trazos generalizados, se ubican en siete estados de la República Mexicana: cinco en Oaxaca, tres en Guerrero, dos en Chiapas, Veracruz y Michoacán, uno en Campeche y uno en Nayarit (Fig. 107). Asimismo, los nodos se distribuyen en ocho de las nueve provincias biogeográficas neotropicales (Fig. 106) propuestas para México por Morrone *et al.* (2002). El número máximo de trazos generalizados que participaron en un nodo fue de cinco, intersectándose en el nodo 10 Zoquiapan (Cuadro 4). Cada uno de los nodos se describe a continuación, se indica su ubicación de acuerdo con las unidades orogénicas (Tamayo, 1968), provincias fisiográficas (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990) y provincias morfotectónicas del país (Ferrusquía, 1998) (Apéndice 4). También se indican los tipos de vegetación dominantes o codominantes (SSP, 1981), la altitud (INEGI *et al.*, 1990b), y provincia biogeográfica donde se ubica cada nodo (Apéndice 3). También se indican los trazos generalizados que intervienen y el número de especies totales, voladoras y no voladoras incluidas en cada uno de los nodos (Cuadro 5). Cabe mencionar que no todas las especies que conforman un trazo generalizado, participan en todos los nodos en los que éste interviene.

CUADRO 4. Provincias biogeográficas, taxones y trazos generalizados de los nodos. Se enuncian los nodos biogeográficos obtenidos, indicando la provincia biogeográfica en que se ubican, el número total de especies y los trazos generalizados que intervienen en cada uno.

NODO	PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA	NÚMERO TOTAL DE ESPECIES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Costa del Pacífico	12		✖			✖	✖		
2	Península de Yucatán	15				✖	✖	✖		
3	Costa del Golfo	18				✖	✖	✖		
4	Chiapas	22				✖		✖		
5	Costa del Pacífico	11				✖			✖	
6	Costa del Pacífico	21	✖			✖	✖		✖	
7	Costa del Pacífico	17	✖			✖	✖			
8	Sierra Madre del Sur	9		✖		✖				
9	Costa del Pacífico	22	✖	✖				✖		
10	Sierra Madre del Sur	31	✖	✖		✖		✖	✖	
11	Eje Volcánico Transmexicano	12	✖		✖					
12	Depresión del Balsas	8		✖	✖					
13	Costa del Pacífico	11	✖							✖
14	Costa del Golfo	9				✖			✖	
15	Eje Volcánico Trasmexicano	14				✖		✖		
16	Sierra Madre Oriental	18			✖	✖		✖		

Nodo 1

Pueblo Hidalgo

UBICACIÓN: Se localiza en la Sierra Madre del Sur, en el sureste del estado de Guerrero, al norte de Ometepec. Perteneció a la provincia fisiográfica Costas del Sur, en el límite con la cordillera costera, en un intervalo altitudinal de 500 a 1000 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Predomina la selva mediana subcaducifolia con vegetación secundaria.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen tres trazos: II, IV y VI.

TAXONES: 12 especies totales
9 especies no voladoras
3 especies voladoras

Nodo 2

Pixoyal

UBICACIÓN: Se localiza en la región centro del estado de Campeche, al norte de Escárcega, en la Plataforma Yucateca. Perteneció a la provincia fisiográfica Karst y Lomeríos de Campeche, en un rango altitudinal de 0 a 200 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Selva alta subperennifolia con vegetación secundaria y agricultura nómada.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Península de Yucatán.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: IV y VI.

TAXONES: 15 especies totales
13 especies no voladoras
2 especies voladoras

Nodo 3

Balacán

UBICACIÓN: Se localiza en la Planicie Costera del Sureste, al noreste del estado de Chiapas, cerca del límite con Tabasco, aproximadamente a 12 km al oeste suroeste de Emiliano Zapata. En la provincia fisiográfica Llanuras y Pantanos Tabasqueños, en un intervalo altitudinal de 0 a 200 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Pastizal cultivado.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Golfo.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen 3 trazos: IV, V y VI.

TAXONES: 18 especies totales
15 especies no voladoras
3 especies voladoras

Nodo 4

Los Altos de Chiapas

UBICACIÓN: Se localiza al noroeste del estado, en la Meseta Central de Chiapas. Pertenece a la provincia fisiográfica Sierras del Norte de Chiapas, en un intervalo altitudinal de 1500 a 2000 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque templado, bosque de coníferas, bosque mesófilo y bosque de encino.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Chiapas.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: IV y VI.

TAXONES: 22 especies totales
17 especies no voladoras
5 especies voladoras

Nodo 5

Sierra Atravesada

UBICACIÓN: Se localiza al este del estado de Oaxaca, en la región de los Chimalapas, corresponde a la Sierra Mixe de acuerdo a la caracterización del mismo estado. Pertenece a la provincia fisiográfica Sierras del Sur de Chiapas, en un intervalo altitudinal de 500 a 1000 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Predomina el bosque de pino-encino.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: IV y VII.

TAXONES: 11 especies totales
7 especies no voladoras
4 especies voladoras

Nodo 6

Istmo de Tehuantepec

UBICACIÓN: Se localiza en la región del Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca, corresponde al Portillo Istmico de la Planicie Costera Sudoccidental. Pertenece a la provincia fisiográfica Sierras Orientales, en un intervalo altitudinal de 0 a 500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Pastizal cultivado y selva alta perennifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen cuatro trazos: I, IV, V y VII.

TAXONES: 21 especies totales
15 especies no voladoras
6 especies voladoras

Nodo 7

Juchitán

UBICACIÓN: Se localiza en la Planicie Costera Sudoccidental, al sureste de la presa Benito Juárez en el estado de Oaxaca, aproximadamente a 10 km al oeste suroeste de Tehuantepec. Perteneció a la provincia fisiográfica Llanuras del Istmo, en un intervalo altitudinal de 0 a 500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Selva baja caducifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen tres trazos: I, IV y V.

TAXONES: 17 especies totales
14 especies no voladoras
3 especies voladoras

Nodo 8

Sierra Sur de Oaxaca

UBICACIÓN: Se localiza en la Sierra Sur del estado de Oaxaca, cerca de San Vicente Coatlán. Perteneció a la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en un intervalo altitudinal de 500 a 1000 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque templado, pastizal y selva baja caducifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Sierra Madre del Sur.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: II y IV.

TAXONES: 9 especies totales
7 especies no voladoras
2 especies voladoras

Nodo 9

El Camotal

UBICACIÓN: Se localiza en la Sierra Madre del Sur, en la región central del estado de Guerrero. Perteneció a la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur y a la provincia morfotectónica Faja Volcánica Transversal, en un intervalo altitudinal de 500 a 1500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque de encino y bosque de pino.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen 4 trazos: I, II, IV y VI.

TAXONES: 22 Especies totales
18 Especies no voladoras
4 Especies voladoras

Nodo 10

Zoquiapan

UBICACIÓN: Se localiza en la región central del estado de Guerrero, en la Sierra Madre del Sur. Perteneció a la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en un intervalo altitudinal de 2000 a 2500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque de encino, bosque de pino, selva baja caducifolia y subcaducifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Sierra Madre del Sur.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen cinco trazos: I, II, IV, VI y VII.

TAXONES: 31 especies totales
23 especies no voladoras
8 especies voladoras

Nodo 11

Laguna de Pátzcuaro

UBICACIÓN: Se localiza al este de Lago de Pátzcuaro, al norte del estado de Michoacán en la Cordillera Neovolcánica. Perteneció a la provincia fisiográfica Neovolcánica Transversa, en un intervalo altitudinal de 2000 a 2500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque de pino, bosque de encino, y cultivo de temporal.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Eje Volcánico Transmexicano.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: I y III.

TAXONES: 12 especies totales
11 especies no voladoras
1 especies voladoras

Nodo 12

Dos Aguas

UBICACIÓN: Se localiza en la región suroeste del estado de Michoacán, en la Sierra Madre del Sur. Perteneció a la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en un intervalo altitudinal de 2000 a 2500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque templado, bosque de tascate y bosque de pino-encino.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Depresión del Balsas.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: II y III.

TAXONES: 8 especies totales
 6 especies no voladoras
 2 especies voladoras

Nodo 13

Cerro El Hacha

UBICACIÓN: Se localiza al sureste de Escuinapa de Hidalgo, cerca al límite con el estado de Sinaloa. Perteneció a la provincia fisiográfica Pie de la Sierra, que corresponde a la provincia morfotectónica Planicies y Sierras del Noroeste, en un intervalo altitudinal de 200 a 500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Selva baja caducifolia, bosque de encino y selva mediana subcaducifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Pacífico.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: I y VIII.

TAXONES: 11 especies totales
 4 especies no voladoras
 7 especies voladoras

Nodo 14

Tuxtepec

UBICACIÓN: Se localiza al sureste de la presa Miguel Alemán, al norte del estado de Oaxaca en el límite con Veracruz, en la Planicie Costera de Sotavento. Perteneció a la provincia fisiográfica Sierras Orientales, en un intervalo altitudinal de 200 a 500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Selva alta perennifolia.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Costa del Golfo.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: IV y VII.

TAXONES: 9 especies totales
 4 especies no voladoras
 5 especies voladoras

Nodo 15

Sierra Zongolica

UBICACIÓN: Se localiza al este noreste de Córdoba, en la región central del estado de Veracruz, en la sierra. Pertenecce a la provincia fisiográfica Sierras Orientales, en un intervalo altitudinal de 500 a 1000 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque templado.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Eje Volcánico Transmexicano.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen dos trazos: IV y VI.

TAXONES: 14 especies totales
11 especies no voladoras
3 especies voladoras

Nodo 16

El Pimiento

UBICACIÓN: Se localiza al norte del Parque Nacional de Perote, en la región central del estado de Veracruz, en la Sierra Madre Oriental. Pertenecce a la provincia fisiográfica Lagos y Volcanes de Anahuac, en un intervalo altitudinal de 2000 a 2500 m.

TIPO DE VEGETACIÓN: Bosque templado.

PROVINCIA BIOGEOGRÁFICA: Sierra Madre Oriental.

TRAZOS GENERALIZADOS: Intervienen tres trazos: III, IV y VI.

TAXONES: 18 especies totales
16 especies no voladoras
2 especies voladoras

A continuación se mencionan las especies por familia presentes en cada uno de los nodos, se indica su categoría de riesgo (SEMARNAT, 2002b) y si su distribución es endémica a México (Cuadro 5). Es importante comentar que 12 de los 16 nodos se localizan en los límites de las provincias morfotectónicas (Apéndice 3), nueve se encuentran en tierras bajas (<1000 msnm.) y siete se localizan en tierras altas (>1000 msnm.), entre los últimos están los tres nodos con mayor diversidad de especies.

CUADRO 5. Lista de especies que participan en cada nodo. Se incluyen solo las especies de mamíferos neotropicales terrestres que participaron en al menos un nodo, se especifica en qué nodo están presentes. Se indica el estatus de conservación de cada especie y si su distribución es endémica al país.

ESPECIES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	CATEGORÍA DE RIESGO	
Didelphimorphia																		
<i>Caluromys derbianus</i>		x	x	x												x	x	Pr
<i>Marmosa canescens</i>						x	x		x	x	x		x					*
<i>Marmosa mexicana</i>		x	x	x							x					x	x	
Xenarthra																		
<i>Cyclops didactylus</i>				x			x	x										P
<i>Tamandua mexicana</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	P
Chiroptera																		
<i>Artibeus hirsutus</i>														x				*
<i>Balantiopteryx io</i>				x			x								x	x		
<i>Balantiopteryx plicata</i>						x	x		x	x			x					
<i>Carollia subrufa</i>		x	x	x	x					x	x					x	x	
<i>Demanura aztecus</i>		x		x	x	x		x	x	x	x							
<i>Eumops underwoodi</i>							x	x					x					
<i>Glossophaga leachii</i>					x									x				
<i>Hylonycteris underwoodi</i>						x	x				x					x		
<i>Molossops greenhalli</i>		x							x	x	x							Pr
<i>Musonycteris harrisoni</i>												x		x				P*
<i>Myotis albescens</i>					x						x							
<i>Myotis keaysi</i>			x	x	x	x	x								x	x	x	
<i>Rhogeessa gracilis</i>							x											*
<i>Tadarida aurispinosa</i>															x			
Primates																		
<i>Ateles geoffroyi</i>		x	x	x	x					x								P
Carnivora																		
<i>Bassaricus sumichrasti</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		Pr
<i>Spilogale pygmaea</i>		x							x	x	x		x					A*
Perissodactyla																		
<i>Tapirus bairdii</i>			x	x	x						x							P
Rodentia																		
<i>Agouti paca</i>			x	x	x	x	x									x		
<i>Baiomys musculus</i>								x		x	x	x		x				
<i>Coendou mexicanus</i>		x	x	x	x					x	x				x	x		A
<i>Habromys simulatus</i>																x		Pr*
<i>Heteromys desmarestianus</i>			x				x											
<i>Heteromys goldmani</i>					x													
<i>Liomys pictus</i>						x	x		x	x	x		x					*
<i>Megadontomys thomasi</i>											x							Pr*
<i>Microtus oaxacensis</i>															x			A*

(continuación) Cuadro 5

ESPECIES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	CATEGORÍA DE RIESGO
<i>Orthogeomys grandis</i>	x							x	x	x		x					
<i>Orthogeomys hispidus</i>		x	x	x											x	x	
<i>Orthogeomys lanus</i>																	A*
<i>Oryzomys melanotis</i>	x	x	x	x					x	x					x	x	
<i>Otodylomys phyllotis</i>		x	x	x					x	x							
<i>Peromyscus aztecus</i>						x	x		x	x	x		x				
<i>Peromyscus hylocetes</i>																x	
<i>Peromyscus megalops</i>							x	x		x	x						*
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	x			x	x	x	x	x	x	x					x	x	
<i>Peromyscus winkelmanni</i>													x				Pr*
<i>Peromyscus yucatanicus</i>		x								x							*
<i>Reithrodontomys mexicanus</i>				x	x	x		x						x	x	x	*
<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>												x	x			x	
<i>Rheomys mexicanus</i>								x									Pr*
<i>Sciurus aureogaster</i>											x	x					
<i>Sciurus deppel</i>		x	x	x						x					x	x	
<i>Scotinomys teguina</i>				x	x			x									Pr
<i>Sigmodon allen</i>							x	x		x	x		x				*
<i>Sigmodon mascotensis</i>							x	x		x	x		x				*
<i>Spermophilus adocetus</i>										x	x						
<i>Spermophilus annulatus</i>										x			x				
<i>Tylomys nudicaudatus</i>	x		x	x	x	x		x	x	x					x	x	x
Lagomorfa																	
<i>Lepus flavigularis</i>							x	x									P*
<i>Symylagus cunicularius</i>													x				*

P. En peligro de extinción; Pr. Protección especial; A. Amenazada, según la NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 20002b). (*) Especies endémicas continentales de México (Fa y Morales, 1998).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

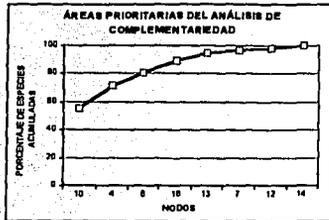
Análisis de complementariedad

El método de complementariedad de Humphries *et al.* (1991), aplicado a los 16 nodos obtenidos, identifica al nodo 10 Zoquiapan como prioritario, debido a que su complemento residual es el más bajo con respecto al complemento total de todos los nodos (Cuadro 6).

CUADRO 6. Complemento residual.
Nodos panbiogeográficos ordenados respecto al valor del complemento residual, de acuerdo con Humphries *et al.* (1991).

NODOS	NÚMERO DE ESPECIES	COMPLEMENTO RESIDUAL
10	31	25
4	22	34
9	22	34
6	21	35
3	18	38
16	18	38
7	17	39
2	15	41
15	14	42
1	12	44
11	12	44
5	11	45
13	11	45
8	9	47
14	9	47
12	8	48

Aplicando el método de complementariedad de áreas mínimas, se obtuvo la siguiente curva acumulada de diversidad, donde se observan los ocho nodos requeridos para tener representadas todas las especies de mamíferos que se utilizaron en el análisis, se presentan ordenadas en secuencia prioritaria (Cuadro 7), hasta completar 100%. Los tres primeros nodos permitirían conservar el 80% de las especies analizadas.



CUADRO 7. Porcentaje acumulativo. Nodos prioritarios mínimos necesarios para tener representadas el 100% de las especies utilizadas en el análisis.

NODO EN ORDEN PRIORITARIO A CONSERVAR	ESPECIES ACUMULADAS POR NODO	PORCENTAJE ACUMULATIVO
10	31	55.35
4	40	71.42
6	45	80.35
16	50	89.28
13	53	94.64
7	54	96.42
12	55	98.21
14	56	100

Se comparó entre sí cada par de nodos (Cuadro 10) y se obtuvo el índice de Colwell y Coddington (1994) para los mismos. Se encontraron 27 pares de nodos con un índice de Colwell y Coddington (ICC) = 1 (Cuadro 11), lo cual indica que dichos pares de nodos son completamente complementarios, es decir no comparten especies, permitiendo conservar un máximo del 80% de las especies y un mínimo del 30% (Cuadro 10). Asimismo, se encontraron 10 pares de nodos que tienen representadas más del 50% de las especies en dichos sitios (Cuadro 8).

CUADRO 8. Parejas de nodos con mayor diversidad de especies. Se consideran solo aquellos pares que permiten conservar más del 50% de las especies de mamíferos que se utilizaron en éste análisis, según el índice de Colwell y Coddington (1994).

PAREJAS DE NODOS	ESPECIES CONSERVADAS	PORCENTAJE DE ESPECIES CONSERVADAS
10 y 15	45	80.35
1 y 10	43	76.78
10 y 14	40	71.42
4 y 11	34	60.71
4 y 13	33	58.92
4 y 12	30	53.57
3 y 11	30	53.57
3 y 13	29	51.78
13 y 16	29	51.78
6 y 12	29	51.78

Se compararon los diferentes criterios utilizados para asignar prioridades a los nodos panbiogeográficos obtenidos (Cuadro 9). Se consideraron los siguientes criterios: complementariedad, porcentaje acumulativo, índice de Colwell y Coddington y la diversidad filogenética de acuerdo al porcentaje de familias por nodo. Es importante resaltar, que el nodo 10 Zoquiapan fue evaluado como prioritario en todos los criterios empleados.

CUADRO 9. Criterios para establecer prioridad. Mediante cuatro herramientas diferentes se comparan las prioridades entre los nodos.

COMPLEMENTARIEDAD		ÍNDICE DE COLWELL Y CODDINGTON	DIVERSIDAD FILOGENÉTICA
COMPLEMENTO RESIDUAL	PORCENTAJE ACUMULATIVO		
10	10	10 y 15	2, 3, 4
4, 9	4	1 y 10	1, 6, 7, 9, 10
6	6	10 y 14	16
3, 16	16	4 y 11	5, 8, 13, 15
7	13	4 y 13	11, 12, 14
2	7	4 y 12	—
15	12	3 y 11	—
5, 13	14	3 y 13	—
1, 11	—	13 y 16	—
8, 14	—	6 y 12	—
12	—	—	—

CUADRO 10. Pares de nodos complementarios. Se indica el número de especies totales por cada par de nodos, entre paréntesis se indica el número de especies compartidas.

NODOS	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	27 (7)	30 (9)	34 (4)	23 (4)	33 (3)	29 (3)	21 (7)	34 (11)	43 (11)	24 (0)	20 (3)	23 (0)	21 (2)	26 (6)	30 (6)
2		33 (14)	37 (14)	26 (4)	36 (4)	32 (2)	24 (2)	37 (7)	46 (10)	27 (0)	23 (0)	26 (0)	24 (2)	29 (11)	33 (10)
3			40 (16)	29 (6)	39 (7)	35 (4)	27 (4)	40 (9)	49 (11)	30 (0)	26 (0)	29 (0)	27 (3)	32 (12)	36 (11)
4				33 (9)	43 (8)	39 (5)	31 (6)	44 (10)	53 (13)	34 (0)	30 (0)	33 (0)	31 (6)	36 (14)	40 (13)
5					32 (8)	28 (5)	20 (6)	33 (5)	42 (7)	23 (0)	19 (0)	22 (0)	20 (7)	25 (6)	29 (6)
6						36 (13)	30 (5)	43 (11)	52 (12)	33 (7)	29 (0)	32 (7)	30 (7)	35 (7)	39 (6)
7							26 (4)	39 (12)	48 (12)	29 (8)	25 (0)	28 (8)	26 (2)	31 (2)	35 (3)
8								31 (8)	40 (8)	21 (0)	17 (3)	20 (0)	18 (4)	23 (4)	27 (5)
9									53 (21)	34 (8)	30 (3)	33 (7)	31 (3)	36 (6)	40 (7)
10										43 (8)	39 (5)	42 (7)	40 (0)	45 (0)	49 (3)
11											20 (2)	23 (7)	21 (0)	26 (0)	30 (3)
12												19 (0)	17 (0)	22 (8)	26 (2)
13													20 (0)	25 (0)	29 (0)
14														23 (5)	27 (5)
15															32 (12)

CUADRO 11. Índice de Colwell y Coddington. El valor de el ICC=1, para cada par de nodos, indica complementariedad total, es decir no comparten especies, de acuerdo con Colwell y Coddington (1994).

NODOS	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.65	0.57	0.87	0.79	0.9	0.88	0.5	0.52	1	0.66	0.82	1	0.89	0.7	0.75
2		0.26	0.39	0.82	0.88	0.93	0.91	0.77	0.72	1	1	1	0.88	0.39	0.57
3			0.33	0.74	0.78	0.87	0.83	0.71	0.71	1	1	1	0.91	0.4	0.56
4				0.63	0.77	0.85	0.76	0.71	0.68	1	1	1	0.76	0.36	0.52
5					0.67	0.78	0.57	0.82	0.8	1	1	1	0.46	0.68	0.74
6						0.48	0.8	0.66	0.7	0.73	1	0.72	0.7	0.75	0.82
7							0.82	0.56	0.67	0.62	1	0.6	0.92	0.93	0.91
8								0.65	0.75	1	0.79	1	0.71	0.79	0.77
9									0.34	0.69	0.89	0.73	0.89	0.8	0.79
10										0.77	0.85	0.8	1	1	0.93
11											0.89	0.56	1	1	0.89
12												1	1	1	0.92
13													1	1	1
14														0.72	0.77
15															0.4

Diversidad filogenética

Considerando 56 especies, 41 géneros y 17 familias que participan en los nodos, los porcentajes más altos de acuerdo con el número de especies se obtuvieron en el **Nodo 10 Zoquiapan**, donde están representados 31 especies, 30 géneros, 14 familias y siete órdenes, cuyos porcentajes representan el 55%, 61%, 67% y 75% respectivamente del total de taxones analizados. El menor porcentaje se encontró en el **Nodo 12 Dos Aguas**, donde están representados ocho especies, ocho géneros, seis familias y tres órdenes, cuyos porcentajes representan el 14%, 19%, 19% y 37% respectivamente, del total de taxones analizados.

A continuación se muestra la diversidad filogenética en orden descendente de acuerdo con el porcentaje del número de órdenes por nodo. Se indican las familias que participan en cada nodo, el número de especies y géneros y los porcentajes de las categorías representadas en cada nivel taxonómico (cuadro 12).

CUADRO 12. Diversidad filogenética. Prioridad de los nodos biogeográficos en relación con su diversidad filogenética. El porcentaje se basó en el total de especies utilizadas en el análisis: 56 especies, 41 géneros, 18 familias y ocho órdenes. Se ordenan de acuerdo al porcentaje de órdenes por nodo.

NODO	FAMILIAS	GÉNEROS POR FAMILIA	GÉNEROS POR NODO	ESPECIES POR NODO	% DE ÓRDENES POR NODO	% DE FAMILIAS POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE ESPECIES POR NODO
4 Los Altos de Chiapas	Agoutidae	1	21	22	87.5	78.1	51.2	39.3
	Caluromyidae	1						
	Cebidae	1						
	Emballonuridae	1						
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Heteromyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Muridae	6						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	2						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	1						
	Tapiridae	1						
Vespertilionidae	1							

(continuación) Cuadro 12

NODO	FAMILIAS	GÉNEROS POR FAMILIA	GÉNEROS POR NODO	ESPECIES POR NODO	% DE ÓRDENES POR NODO	% DE FAMILIAS POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE ESPECIES POR NODO
3 Balacán	Agoutidae	1	18	18	87.5	75	43.9	32.1
	Caluromyidae	1						
	Cebidae	1						
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Heteromyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Muridae	3						
	Myrmecophagidae	2						
	Phyllostomidae	2						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	1						
Tapiridae	1							
Vespertilionidae	1							
2 Pixoyal	Agoutidae	1	15	15	87.5	72.5	36.6	26.8
	Caluromyidae	1						
	Cebidae	1						
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Muridae	3						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	1						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	1						
	Tapiridae	1						
Vespertilionidae	1							
10 Zoquiapan	Emballonuridae	1	25	31	75	66.6	61	55.4
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Heteromyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	7						
	Mustelidae	1						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	5						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	2						
	Tapiridae	1						
	Vespertilionidae	1						

(continuación) Cuadro 12

NODO	FAMILIAS	GÉNEROS POR FAMILIA	GÉNEROS POR NODO	ESPECIES POR NODO	% DE ÓRDENES POR NODO	% DE FAMILIAS POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE ESPECIES POR NODO
9 Sierra El Camotal	Cebidae	1	19	22	75	63.5	46.3	39.3
	Emballonuridae	1						
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Heteromyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	6						
	Mustelidae	1						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	2						
	Procyonidae	1						
Scluridae	1							
1 Pueblo Hidalgo	Cebidae	1	12	12	75	62.5	29.3	21.4
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	2						
	Mustelidae	1						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	2						
	Procyonidae	1						
Tapiridae	1							
6 Istmo de Tehuantepec	Agoutidae	1	17	21	75	56.3	41.5	37.5
	Emballonuridae	1						
	Heteromyidae	2						
	Leporidae	1						
	Marmosidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	4						
	Myrmecophagidae	2						
	Phyllostomidae	1						
	Procyonidae	1						
	Vespertilionidae	2						

(continuación) Cuadro 12

NODO	FAMILIAS	GÉNEROS POR FAMILIA	GÉNEROS POR NODO	ESPECIES POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE FAMILIAS POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE ESPECIES POR NODO
7 Juchitán	Emballonuridae	1	14	17	75	50.9	34.1	30.4
	Heteromyidae	1						
	Leporidae	1						
	Marmosidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	5						
	Myrmecophagidae	2						
	Phyllostomidae	1						
Procyonidae	1							
16 El Pimiento	Caluromyidae	1	14	18	62.5	52	34.1	32.1
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Muridae	5						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	1						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	1						
Vespertilionidae	1							
15 Sierra Zongolica	Agoutidae	1	14	14	50	51	34.1	25
	Caluromyidae	1						
	Emballonuridae	1						
	Erethizontidae	1						
	Geomyidae	1						
	Marmosidae	1						
	Muridae	3						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	1						
	Procyonidae	1						
	Sciuridae	1						
Vespertilionidae	1							
8 Sierra Sur de Oaxaca	Geomyidae	1	9	9	50	35.3	22	16.1
	Molossidae	1						
	Muridae	3						
	Mustelidae	1						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	1						
	Procyonidae	1						

(continuación) Cuadro 12

NODO	FAMILIAS	GÉNEROS POR FAMILIA	GÉNEROS POR NODO	ESPECIES POR NODO	% DE ÓRDENES POR NODO	% DE FAMILIAS POR NODO	% DE GÉNEROS POR NODO	% DE ESPECIES POR NODO
13 Cerro El Hacha	Emballonuridae	1	10	11	50	32.1	24.4	19.6
	Heteromyidae	1						
	Leporidae	1						
	Marmosidae	1						
	Molossidae	2						
	Muridae	3						
Phyllostomidae	1							
5 Sierra Atravesada	Agoutidae	1	11	11	50	29	26.8	19.6
	Muridae	4						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	3						
	Procyonidae	1						
Vespertilionidae	1							
14 Tuxtepec	Emballonuridae	1	9	9	37.5	23.9	22	16.1
	Muridae	4						
	Myrmecophagidae	1						
	Phyllostomidae	2						
	Vespertilionidae	1						
12 Dos Aguas	Geomyidae	1	8	8	37.5	18.8	19.5	14.3
	Molossidae	1						
	Muridae	2						
	Mustelidae	1						
	Phyllostomidae	1						
	Sciuridae	2						
11 Laguna de Pátzcuaro	Heteromyidae	1	9	12	37.5	15.6	22	21.4
	Marmosidae	1						
	Molossidae	1						
	Muridae	4						
	Sciuridae	2						

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Comparación de nodos con áreas de importancia biológica nacional

Al superponer el mapa de los nodos panbiogeográficos obtenidos con los mapas de Áreas Naturales Protegidas (ANPs), Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs) y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (APCMs), se encontraron tres situaciones diferentes: nodos que coinciden, nodos localizados muy cerca de estas áreas (aledaños) y nodos que no coinciden con ninguna área de las anteriores. Un nodo se consideró cercano si se localizaba a menos de 0.5° (latitud o longitud) y mantenía continuidad geográfica, con base en regiones naturales (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990).

Cuadro 13. Nodos panbiogeográficos presentes en áreas de importancia biológica. Correspondencia de los nodos panbiogeográficos obtenidos con áreas prioritarias para la conservación: existentes (ANPs) y propuestas (RTP y APCM). Se distinguen tres situaciones que son mutuamente excluyentes: coincidente, aledaño o ausente.

NODO	NOMBRE	ENTIDAD	ANPs		RTPs		APCMs					
			A	C	A	C	No voladoras		Voladoras		Ausentes en reservas	
							A	C	A	C	A	C
1	Pueblo Hidalgo	Gro										
2	Pixoyal	Cam						♦			♦	
3	Balacán*	Chi	♦			♦		♦			♦	
4	Los Altos de Chiapas*	Chi		♦		♦		♦			♦	
5	Sierra Atravesada	Oax				♦		♦			♦	
6	Istmo de Tehuantepec*	Oax				♦		♦			♦	
7	Juchitán	Oax				♦	♦					
8	Sierra Sur de Oaxaca	Oax				♦	♦					
9	Sierra El Camotal	Gro				♦			♦			
10	Zoquiapan*	Gro				♦	♦					
11	Laguna de Pátzcuaro	Mich							♦			
12	Dos Aguas	Mich				♦			♦			
13	Cerro El Hacha	Nay				♦						♦
14	Tuxtepec*	Oax				♦		♦			♦	♦
15	Sierra Zongolica	Ver	♦				♦				♦	♦
16	El Pirimiento*	Ver	♦			♦					♦	♦

ANP. Área Natural Protegida; RTP. Región Terrestre Prioritaria; APCM. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos; A. Aledaño; C. Coincidente; (*) nodos propuestos como prioritarios.

1. Áreas Naturales Protegidas

Superponiendo los mapas de ANPs y el de nodos panbiogeográficos, se observó un nodo coincidente y tres aledaños a estas áreas (Fig. 108).

El nodo 4 Los Altos de Chiapas coincidió con el Parque Nacional Cañón del Sumidero, localizado al norte del estado de Chiapas.

El nodo 3 Balacán esta ubicado muy cerca del Parque Nacional Palenque, localizado al noreste del estado de Chiapas.

El nodo 15 Sierra Zongolica ubicado muy cerca del Parque Nacional Cañón de Río Blanco, localizado en la región centro de Veracruz.

El nodo 16 Sierra El Pimiento ubicado muy cerca del Parque Nacional Cofre de Perote, localizado al norte del estado de Veracruz.

2. Regiones Terrestres Prioritarias

Superponiendo los mapas de RTPs y el de nodos panbiogeográficos, se observaron 11 nodos coincidentes y un nodo aledaño a estas áreas (Fig. 109).

El nodo 3 Balacán coincidió con la RTP-143, Lagunas de Catzajá-Emiliano Zapata, localizado al suroeste del estado de Chiapas.

El nodo 4 Los Altos de Chiapas coincidió con la RTP-141, La Chacóna-Cañón del Sumidero, localizada al norte del estado de Chiapas.

El nodo 5 Sierra Atravesada coincidió con la parte suroeste de la RTP-132 Selva Zoque-La Sepultura, localizada en el estado de Oaxaca.

Los nodos 6 Istmo de Tehuantepec, 7 Juchitán y 14 Tuxtepec coincidieron con la RTP-130, Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe, en la parte este, sureste y noroeste respectivamente.

El nodo 8 Sierra Sur de Oaxaca coincidió con la RTP-129, Sierra Sur y Costa de Oaxaca, localizada al este del mismo estado.

El nodo 10 Zoquiápan coincidió con la RTP-118, Cañón del Zopilote, localizado en la parte centro del estado de Guerrero.

El nodo 12 Dos Aguas coincidió con la parte norte de la RTP-115, Sierra de Coalcomán, localizada en el estado de Michoacán.

El nodo 13 Cerro El Hacha coincidió con la parte norte de la RTP-61, Marismas Nacionales, localizada entre los estados de Sinaloa y Nayarit.

El nodo 16 El Pimiento coincidió con la parte sur de la RTP-105, Cuetzalan, localizada al norte del estado de Veracruz.

El nodo 9 Sierra El Camotal está ubicado muy cerca de la parte este de la RTP-117, Sierras del Sur de Guerrero, localizada en la planicie costera del mismo estado.

3. Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos

3.1. Mamíferos terrestres continentales no voladores (APCM_N).

Superponiendo los mapas de APCM_N y el de los nodos panbiogeográficos, se observaron 10 nodos coincidentes y cuatro nodos aledaños a éstas áreas (Fig. 110).

- *Nodos coincidentes:*

2 Pixoyal, 3 Balacán, 4 Altos de Chiapas, 5 Sierra Atravesada, 6 Istmo de Tehuantepec, 9 Sierra El Camotal, 11 Laguna de Pátzcuaro, 12 Dos Aguas, 14 Tuxtepec y 16 El Pimiento.

- *Nodos aledaños:*

7 Juchitán, 8 Sierra Sur de Oaxaca, 10 Zoquiapan y 15 Sierra Zongolica.

3.2. Mamíferos terrestres continentales voladores (APCM_M).

Superponiendo los mapas de APCM_M y el de los nodos panbiogeográficos, se observaron únicamente siete nodos coincidentes a estas áreas (Fig. 111).

- *Nodos coincidentes:*

2 Pixoyal, 3 Balacán, 4 Altos de Chiapas, 5 Sierra Atravesada, 6 Istmo de Tehuantepec, 14 Tuxtepec y 15 Sierra Zongolica.

3.3. Mamíferos terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales (APCM_R).

Superponiendo los mapas de APCM_R y el de los nodos panbiogeográficos, se observaron únicamente cuatro nodos aledaños a éstas áreas (Fig. 112).

- *Nodos aledaños:*

13 Cerro El Hacha, 14 Tuxtepec, 15 Sierra Zongolica y 16 El Pimiento.

Al comparar con los tres mapas de APCMs (Cuadro 13), se observó que únicamente el nodo 14 Tuxtepec coincidió con todas las propuestas y además con la RTP-130 Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe (Fig. 113).

4. Nodos panbiogeográficos no coincidentes

Al superponer los nodos panbiogeográficos obtenidos con ANPs, RTPs y APCMs, se encontró únicamente un nodo biogeográfico que no coincidió con ninguna de las áreas antes mencionadas: el nodo 1 Pueblo Hidalgo (Cuadro 13), localizado al sureste del estado de Guerrero (Fig. 113).

Propuestas de áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales de México

Las herramientas biogeográficas utilizadas en este trabajo permitieron encontrar 16 zonas potencialmente prioritarias para conservar, ya que se caracterizan tanto por la riqueza relativa de especies como por la riqueza de orígenes históricos, es decir, tienen un origen biogeológico compuesto. Debido a la necesidad de jerarquizar las áreas (nodos), con el objeto de proteger el mayor número de especies y ecosistemas, se consideraron los diferentes criterios utilizados para seleccionar los nodos más representativos, distinguiéndose seis nodos, de los cuales uno se ubica dentro del Parque Nacional Cañón de Sumidero en Chiapas (Fig. 108).

El **nodo 10 Zoquiapan** ocupa la primera posición tanto para el complemento residual y porcentaje acumulativo, basado en el método de complementariedad como para el Índice de Colwell y Coddington, y ocupa la segunda posición respecto a su diversidad filogenética. Además tiene representadas cinco especies con alguna categoría de riesgo (Apéndice 1), una especie en peligro de extinción, dos bajo

protección especial y dos amenazadas NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Este nodo coincide con la Región Terrestre Prioritaria Cañón del Zopilote (Fig. 109).

El nodo 4 Los Altos de Chiapas ocupa la primera posición respecto a su diversidad filogenética y la segunda posición en el método de complementariedad, tanto en el porcentaje acumulativo como en el complemento residual. Junto con el nodo 11 Laguna de Pátzcuaro, o el nodo 12 Dos Aguas, o el nodo 13 Cerro El Hacha, se protegería más del 50% de las especies utilizadas en el análisis. Además tiene representadas siete especies con alguna categoría de riesgo (Apéndice 1), tres especies en peligro de extinción, tres bajo protección especial y una amenazada NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Este nodo coincide con el Parque Nacional Cañón del Sumidero (Fig. 108) y la región Terrestre Prioritaria la Chacona-Cañón del Sumidero (Fig. 109).

El nodo 6 Istmo de Tehuantepec ocupa la tercera posición en los dos métodos de complementariedad y la segunda posición basado en su diversidad filogenética; junto con el nodo 12 Dos Aguas se protegería más del 50% de las especies utilizadas en el análisis. Además tiene representadas cuatro especies con alguna categoría de riesgo (Apéndice 1), una especie en peligro de extinción y tres especies bajo protección especial NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Este nodo coincide con la Región Terrestre Prioritaria Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe (Fig. 109).

El nodo 3 Balacán ocupa el cuarto lugar en complemento residual con base en el método de complementariedad y la primera posición en diversidad filogenética; junto con el nodo 11 Laguna de Pátzcuaro o el nodo 13 Cerro El Hacha, se protegería más del 50% de las especies empleadas en el análisis. Además tiene representadas siete especies consideradas en alguna categoría de riesgo (Apéndice 1), dos en peligro de extinción, cuatro bajo protección especial y una especie amenazada NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Este nodo coincide con la Región Terrestre Prioritaria Lagunas de Catazaja-Emiliano Zapata (Fig. 109) y es aledaño al Parque Nacional Palenque (Fig. 108).

El nodo 16 El Pimiento ocupa el cuarto lugar tanto para el complemento residual como para el porcentaje acumulativo, basado en el método de complementariedad y la tercera posición en diversidad filogenética. Junto con el nodo 13 Cerro El Hacha, se protegería a más del 50% de las especies utilizadas en el análisis. Tiene cinco especies bajo alguna categoría de riesgo (Apéndice 1), dos especies en peligro de extinción, una bajo protección especial y dos especies amenazadas NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b). Este nodo coincide con la Región Terrestre Prioritaria Cuetzalan (Fig. 109) y es aledaño al Parque Nacional Cofre de Perote (Fig. 108).

El nodo 14 Tuxtepec junto con el nodo 10 Zoquiapan se protegerían más del 70% de las especies empleadas en el análisis. Tiene una especie que no comparte con ningún otro nodo que además está amenazada (Cuadro 4) y tiene representada otra más en peligro de extinción NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b) (Apéndice 1). Su importancia relativa respecto al resto de los nodos no es tan conspicua, sin embargo, en esta área coinciden todas las propuestas de áreas prioritarias para la conservación (RTP-130, APCM_{N,MYR}) empleadas en este trabajo (Figs. 109 y 113).

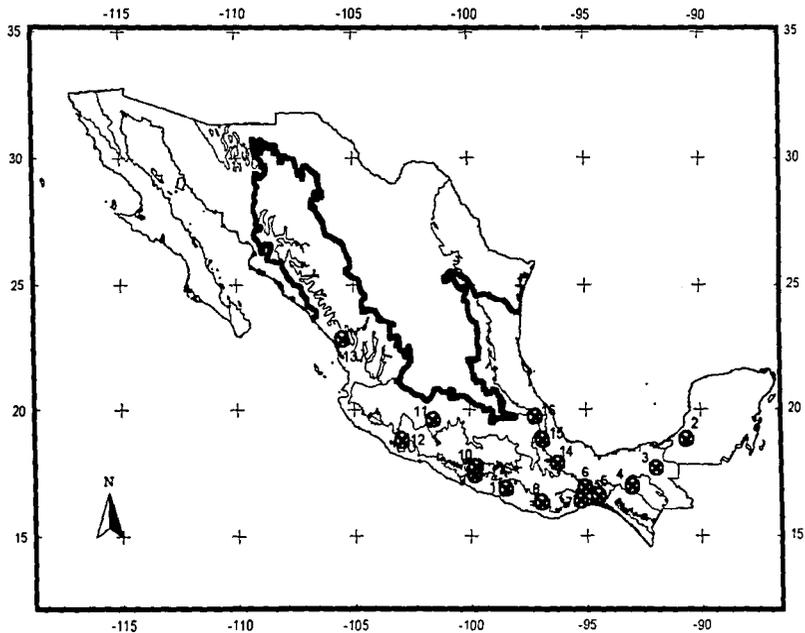


Figura 106. Nodos panbiogeográficos obtenidos y provincias biogeográficas de acuerdo con Morrone *et al.* (2002). La línea más gruesa indica el límite entre las regiones Neártica y Neotropical.

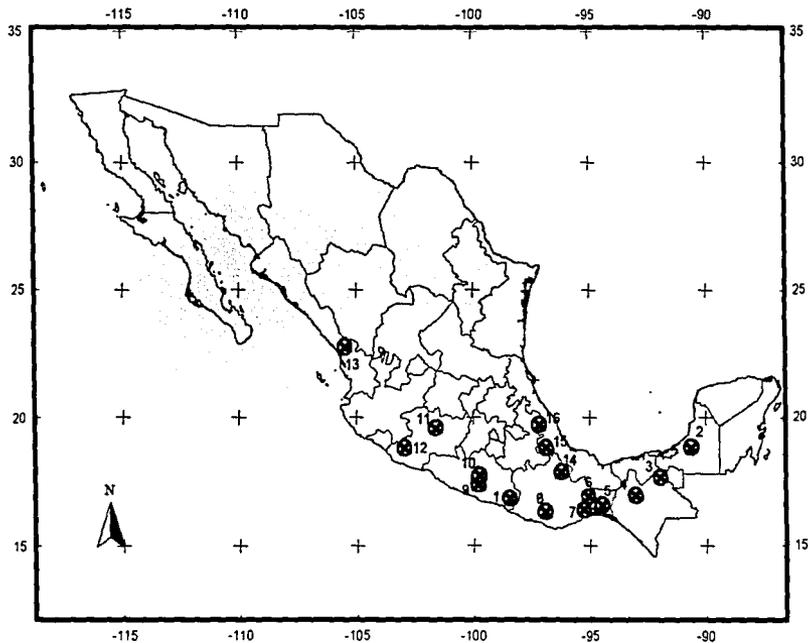


Figura 107. Nodos panbiogeográficos obtenidos y estados de la República Mexicana (INEGI et al., 1990a).

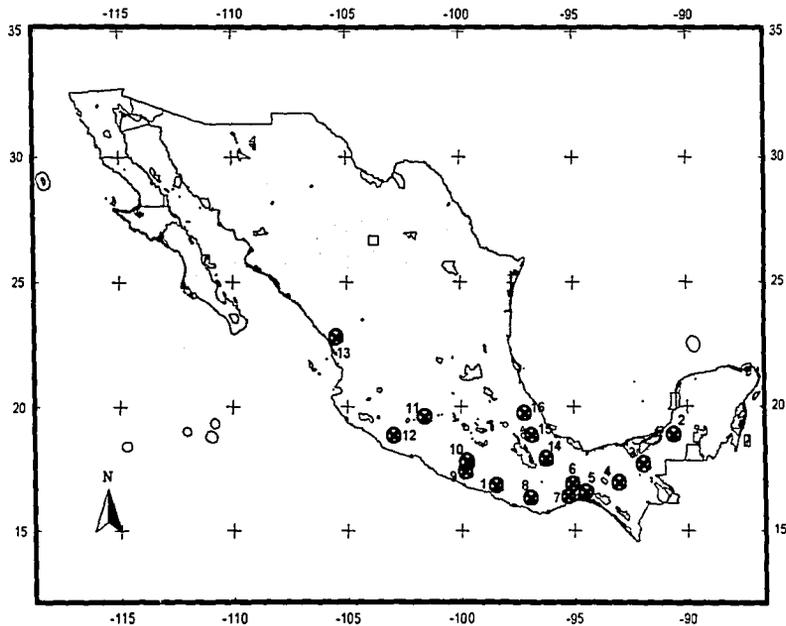


Figura 108. Nodos panbiogeográficos obtenidos y Áreas Naturales Protegidas de México (INE-SEMARNAT, 2001).

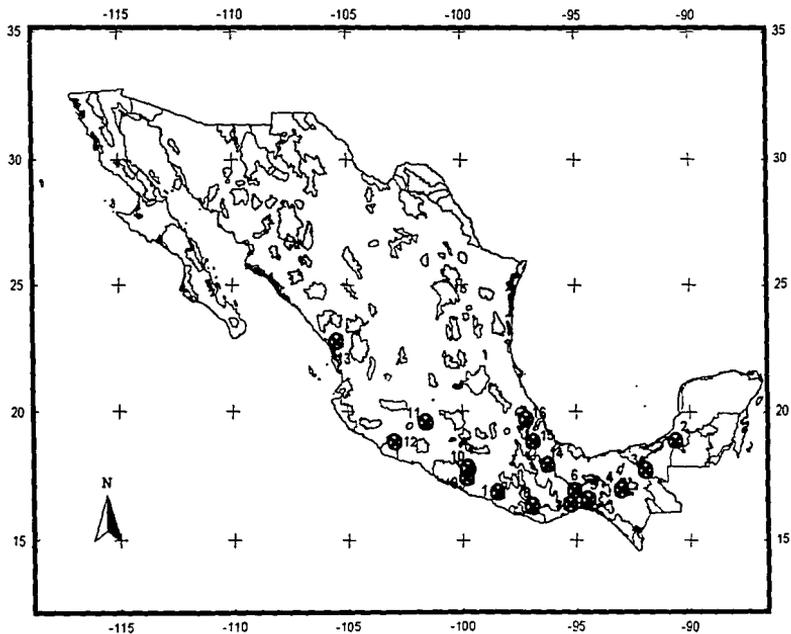


Figura 109. Nodos panbiogeográficos obtenidos y Regiones Terrestres Prioritarias (Conabio, 2000).

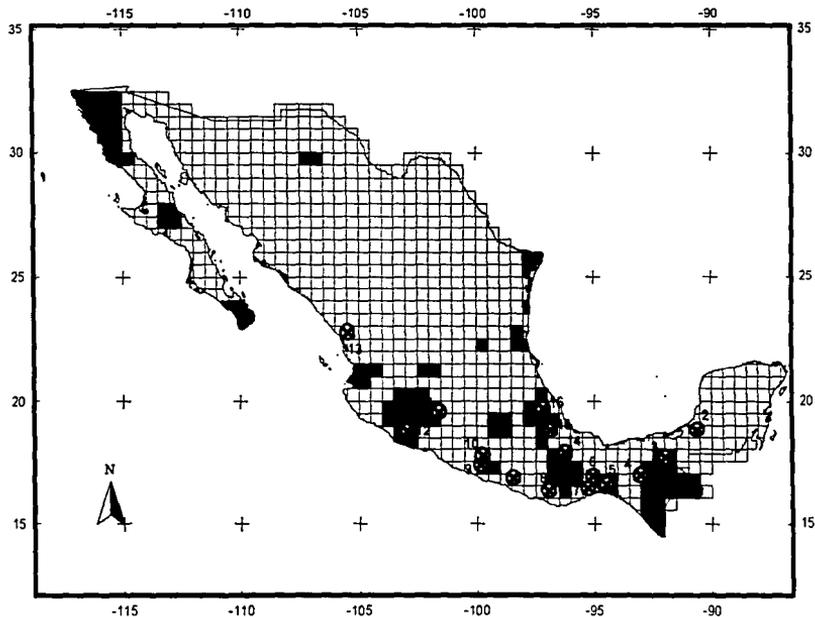


Figura 110. Nodos panbiogeográficos obtenidos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres continentales no voladoras (Arita *et al.*, 1997).

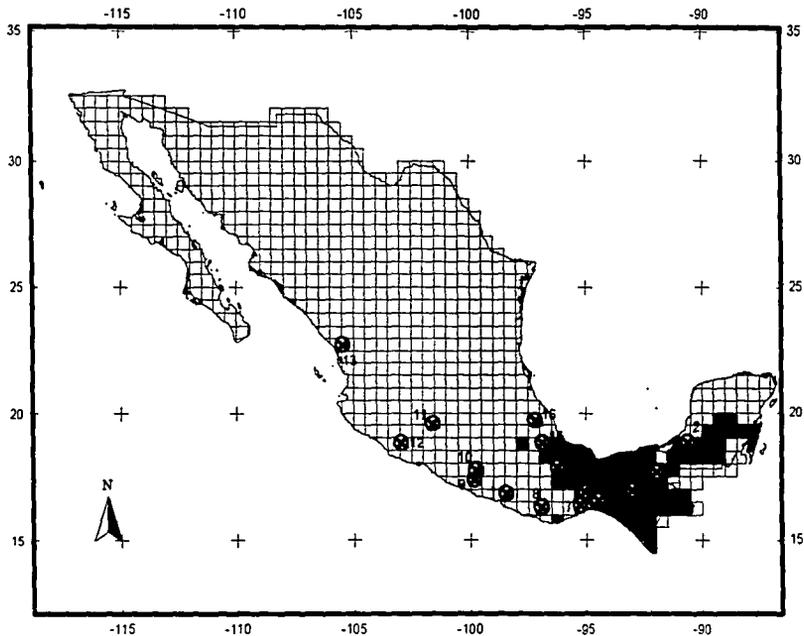


Figura 111. Nodos panbiogeográficos obtenidos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies continentales de quirópteros (Arita *et al.*, 1997).

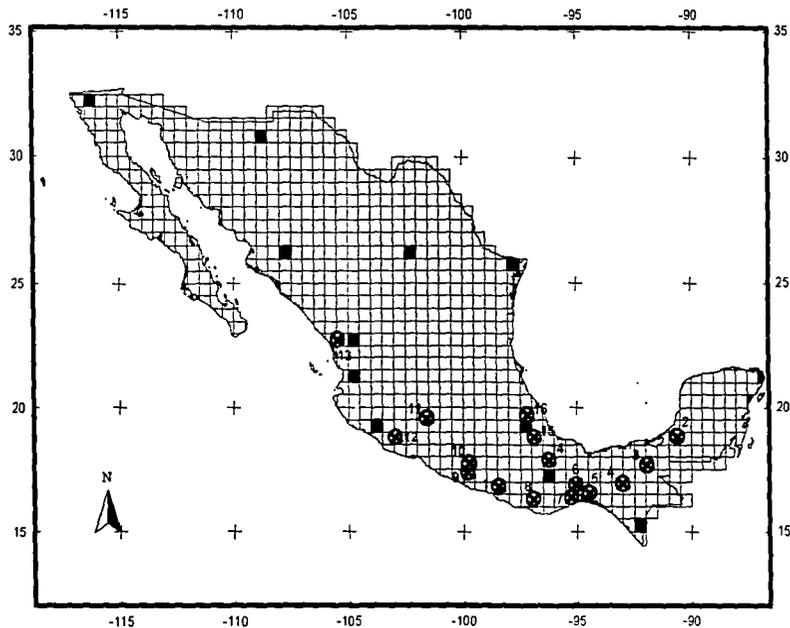


Figura 112. Nodos panbiogeográficos obtenidos y Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos, especies terrestres insulares y continentales ausentes en reservas nacionales (Ceballos, 1999).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

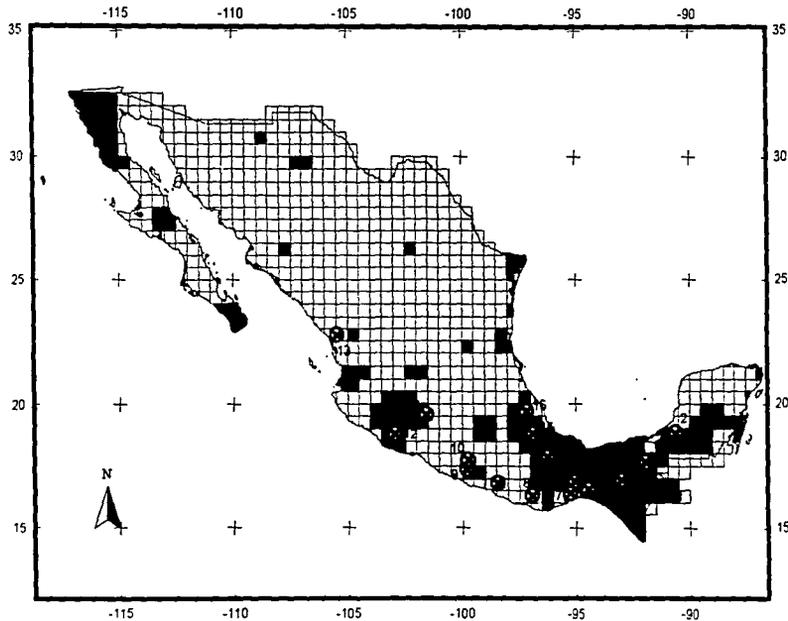


Figura 113. Superposición de todas las propuestas de Áreas Prioritarias para la Conservación de Mamíferos (Arita *et al.*, 1997; Ceballos, 1999) y nodos panbiogeográficos.

DISCUSIÓN

La pérdida de la diversidad biológica es un problema ambiental muy grave que afecta de manera negativa los ecosistemas (INE-SEMARNAP, 2000) cuya principal causa son las actividades humanas. Las probabilidades de supervivencia de muchas especies, tanto de plantas como de animales, son escasas y la suerte de muchas de ellas depende en torno a establecer reservas naturales, por lo que es necesario establecer medidas inmediatas para su conservación, si se desea mantener la biodiversidad que el país alberga (Hernández, 1992; Emmons y Feer, 1997; Scott, 1997; Ceballos *et al.*, 1998; Ceballos, 1999).

Los mamíferos son un grupo bien representado en la biodiversidad nacional, su número de especies coloca a México en el segundo lugar a nivel mundial, que como el resto de la biodiversidad en el país enfrenta graves problemas ambientales que afecta su supervivencia a largo plazo (Ceballos *et al.*, 2002). Para el país, se reportan al menos 11 especies de mamíferos consideradas extintas durante el siglo XX (Ceballos, 1999). Actualmente, la NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b) reconoce 295 especies de mamíferos dentro de alguna categoría de riesgo, que equivalen a más del 56% de las especies nativas de México.

Conservar la biodiversidad es una actividad compleja (De la Garza, 1992; Ceballos y Rodríguez, 1993; Fa y Morales, 1998), debido a que la biodiversidad es el resultado de un conjunto de procesos dinámicos: ecológicos y evolutivos, que requiere inventarización, análisis y evaluación constantes (Ramamoorthy *et al.*, 1998), por lo cual es necesario evaluarla con el mayor número de herramientas posibles, que contemplen múltiples factores para su adecuado uso y manejo (Reynoso, 1994; Fa y Morales, 1998; Ramamoorthy, 1998). Elegir áreas adecuadas para la conservación nacional, sin datos suficientes respecto a la diversidad biológica, el área de distribución de cada taxón y sus relaciones filogenéticas, hacen subjetiva ésta actividad (Reynoso, 1994; Peterson *et al.*, 2000). Los métodos biogeográficos empleados en este trabajo permiten hacer inferencias mediante la interpretación de información disponible generada de los inventarios nacionales (Morrone y Espinosa, 1998). Los estudios de los mamíferos de México datan desde principios del siglo XIX (Ramírez-Pulido y Müdspacher, 1987), además son un grupo modelo en estudios biogeográficos para establecer patrones, debido a sus características de dispersión

limitada y su modo de especiación vicariante, común entre los vertebrados (Escalante, 2003).

Homologías biogeográficas

La biogeografía evalúa la biodiversidad respecto a su disposición espacial. La fauna actual de México está constituida por múltiples grupos, cuyos ancestros se difundieron en la región en diferentes épocas (Baker, 1963). Esta fauna se ha conformado a lo largo del tiempo geológico por la evolución tectónica de la Tierra, que le confiere una distribución geográfica característica. Sin embargo, los procesos históricos no son la única causa que condiciona esta distribución, la aparición de refugios, contracción y expansión de hábitats durante las glaciaciones, el intercambio de taxones neárticos y neotropicales (Fa y Morales, 1998), las asociaciones de especies y su tolerancia al clima, vegetación, etc. son también la causa de patrones espaciales (Reynoso, 1994). La biodiversidad, entonces, se encuentra representada por una distribución no uniforme de diferentes números y tipos de taxones supraespecíficos en el planeta (Morrone y Espinosa, 1998; Posadas y Miranda, 1999; Morrone, 2000; Espinosa *et al.* 2001) denominados patrones de biodiversidad, los cuales están determinados por procesos espacio-temporales (Fa y Morales, 1998; Escalante *et al.*, 2003). En el presente trabajo se encontraron ocho patrones espaciales u homologías biogeográficas primarias para mamíferos terrestres neotropicales de México, obtenidos mediante el método panbiogeográfico. Estas homologías biogeográficas primarias se conforman por organismos lejanamente relacionados con características únicas intrínsecas a cada taxón (edad, origen del taxón, etc.) y con diferentes capacidades de dispersión, que repiten la misma disposición en el espacio, lo que indica una causalidad que tiene su origen en los procesos (históricos y ecológicos) que operan en el conjunto de taxones, implicando una evolución conjunta en el espacio y tiempo (Fa y Morales, 1998; Espinosa *et al.*, 2001). Las homologías biogeográficas pueden representar grupos monofiléticos de acuerdo con su historia (Morrone y Espinosa, 1998), el análisis de parsimonia aplicado a la matriz original generó un árbol con dos clados principales, agrupando en conjuntos diferentes las provincias neárticas y las neotropicales, excepto la provincia Tamaulipas que de acuerdo con Morrone *et al.*

(2002) pertenece a las provincias neárticas, pero quedó incluida en el clado de las provincias neotropicales, aunque como grupo hermano de éstas (Apéndice 2). Debido a la escala geográfica y taxonómica empleada en este trabajo, se consideraron como lejanamente relacionados a taxones incluidos en diferentes órdenes, y se separó la capacidad de dispersión en dos conjuntos, las especies voladoras y las no voladoras, con el objeto de enfatizar esta habilidad.

Dos de los trazos generalizados obtenidos están definidos únicamente por especies no voladoras. Uno de ellos se localiza en la región del Istmo de Tehuantepec y parte de sur de la costa del Golfo, aunque las especies que lo definen están lejanamente relacionadas carece de representantes del orden Chiroptera, la ausencia de este grupo no se esperaría, debido a que este trazo generalizado se localiza en la zona más diversa del país para murciélagos (Arita, 1993), por lo cual la ausencia de este taxón se deba muy probablemente a datos insuficientes. Por otro lado, el trazo se localiza en la zona que estuvo sumergida dividiendo casi el sur de México, desde finales del Mioceno a principio del Plioceno, pero que se conectaba por una pequeña porción en el norte del Istmo (Boutelspacher, 1984). Este evento implica una mayor restricción en la distribución de los grupos con menores capacidades de dispersión.

El otro trazo generalizado definido por especies no voladoras se compone únicamente por especies del orden Rodentia y se localiza en el Eje Volcánico Transmexicano. Los componentes ecológicos pueden generar patrones adaptativos (Reynoso, 1994), que probablemente se relacionen con la ausencia de quirópteros, debido al gradiente altitudinal que presenta este grupo relacionado directamente con el clima y disponibilidad de alimentos a los cuales son susceptibles (Arita *et al.*, 1997), es decir dicha provincia se localiza en altitudes mayores a los 1000 m y los quirópteros son más abundantes en tierras bajas. Aunado a esto, los roedores alcanzan su abundancia máxima cerca de los 20° latitud N, que corresponde al Eje Volcánico Transmexicano (Fa y Morales, 1998), donde se ha reportado que alberga el 100% de géneros de roedores exclusivos de México, lo cual implica un papel muy importante en la especiación de este grupo.

El resto de los trazos generalizados obtenidos se definen tanto por especies voladoras como por no voladoras, y su disposición espacial se localiza a lo largo de las provincias exclusivamente neotropicales del país de Morrone *et al.* (2002). Estos trazos se extienden principalmente a lo largo de ambas costas (excepto uno), de forma muy semejante a los patrones espaciales obtenidos por otros autores. Escalante *et al.*

(en prep.) obtuvieron un trazo generalizado similar utilizando mamíferos neárticos; Morrone y Márquez (2001) encontraron dos trazos generalizados parecidos utilizando coleópteros; Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) obtuvieron un trazo generalizado similar empleando diferentes taxones de animales (insectos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) y plantas (angiospermas y gimnospermas); Trujano (en prep.) encontró un patrón espacial semejante empleando mariposas. Este mismo patrón espacial compartido por taxones de animales (invertebrados y vertebrados) y plantas confirma un proceso histórico subyacente; también corresponde a la disyunción típica de flora y fauna terrestres de México limitadas por la presencia de barreras topográficas (cordilleras) y climáticas (Fa y Morales, 1998). Villar (1966) señala las rutas de penetración de los quirópteros de origen neotropical que habitan en zonas tropicales, y el patrón de esa ruta, determinada por barreras, coincide con el patrón de las homologías espaciales encontradas en este trabajo. Sin embargo, desde una perspectiva histórica se asume que una homología espacial representa una biota ancestral ampliamente distribuida en el pasado fragmentada por eventos físicos (Espinosa y Llorente, 1993; Llorente *et al.*, 2000; Morrone, 2001). El evento vicariante que originó dicho patrón espacial pudiera correlacionarse espacio-temporalmente con el Cinturón Orogénico Laramídico (Ortega *et al.*, 2000), cuya disposición espacial corresponde a la zona que separa el trazo típico de la fauna neotropical restringiéndolo a las partes oriental y occidental del país y cuya disposición temporal (Cretácico tardío al Eoceno medio) corresponde al posterior origen y radiación de los mamíferos con el puente Centroamericano ya establecido, que permitió la penetración hacia el norte de la biota neotropical.

Por otro lado, se obtuvo un trazo generalizado en la región centro-sur del país, definido principalmente por quirópteros, éste patrón geográfico no excede más al norte del Eje Volcánico Transmexicano, lo cual sí ocurre con los trazos que se extienden a lo largo de ambas costas. Estas homologías biogeográficas encontradas coinciden con el límite de la biota neotropical mastofaunística de Fa y Morales (1998).

Zonas de convergencia

Las homologías biogeográficas primarias sugieren historias comunes entre los taxones que las comparten (Morrone, 2001), la intersección entre ellas permite encontrar áreas compuestas (nodos), las cuales son sitios donde confluyen elementos taxonómicos con diferentes historias biogeográficas, representan zonas de contacto o convergencia de dos o más placas tectónicas, lo cual les confiere poseer componentes bióticos de distintas afinidades (Aguilar-Aguilar y Contreras, 2001). La importancia de estos nodos radica en su riqueza tanto de taxones como de orígenes históricos (Morrone y Espinosa, 1998; Crisci *et al.*, 2000; Contreras-Medina *et al.*, 2001).

En el presente trabajo se obtuvieron 16 nodos, localizados a lo largo de ambas costas del país, principalmente en la costa Pacífica, concentrándose hacia la parte sur. Esta disposición coincide con la zona más activa geológicamente, desde principios del Mesozoico la parte oeste de México se ha caracterizado por la convergencia de la litosfera oceánica (Placa Farallón y otras), a diferencia de la costa este del país que se ha caracterizado por procesos de extensión (Placas Norteamericana y del Caribe) (Ortega *et al.*, 2000). Los órdenes neotropicales terrestres de mamíferos tienen más especies en la región tropical de la Península de Yucatán y las zonas costeras tropicales (Fa y Morales, 1998), pero a pesar de dicha distribución de la fauna neotropical, la península de Yucatán carece casi totalmente de nodos, lo cual muy probablemente se deba a la poca actividad geotectónica durante todo el Cretácico, que la mantuvo estable (Ortega *et al.*, 2000). Arita (1993) encontró que la mayor diversidad de especies la contienen estados cuyo territorio posee parte de las planicies costeras y entre éstos estados Oaxaca es el más diverso respecto a mamíferos. Todos los nodos obtenidos en este trabajo se localizan en estados con costas y en Oaxaca se ubican el 31% de ellos, por lo que podemos concluir que la diversidad mastofaunística de Oaxaca no solo es importante en número de especies, sino también en diversidad de orígenes históricos. La región del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, en la cual se concentra el 60% de sus nodos, es una zona de desplazamiento donde convergen las placas Norteamericana y del Caribe al sur de Terreno Maya que desde el Eoceno tardío ocasionaron una unión triple (trinchera - falla transformante - trinchera) (Ortega *et al.*, 2000). En total, 12 de los 16 nodos obtenidos se localizan en los límites de las provincias morfotectónicas de México (Ferrusquía, 1998) (Apéndice 4), dicha ubicación es una de las características de los nodos (Heads, 1989). Para

Léon Croizat, su metáfora "vida y tierra evolucionan juntas" alude a los nodos como zonas de convergencia tectónica (Espinosa y Llorente, 1993), sitios donde fragmentos de dos o más regiones, tanto biológicos como geológicos se combinaron en un mismo espacio y tiempo, originados por procesos geotectónicos que influyen la distribución espacio-temporal de la biodiversidad, en su evolución y en su existencia actual, correlacionada íntimamente con la vicarianza (Morrone y Espinosa, 1998; Morrone, 2000).

Además de su importancia histórica, los nodos encontrados coinciden con zonas de importancia biológica que otros autores han mencionado. Ceballos y Rodríguez (1993) encontraron que la mayor concentración de especies endémicas se localiza en selvas bajas de la costa pacífica y en los bosques templados del Eje Volcánico Transmexicano, el 62% de los nodos corresponde con estas características. Por otro lado Ramírez-Pulido y Müdespacher (1987) concluyen que la zona más diversa de mamíferos terrestres no insulares endémicos se localiza desde la parte sur de Sonora por la planicie costera del Pacífico hasta el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, incluye el Eje Volcánico Transmexicano, Sierra Madre del Sur y Sierra Madre Oriental. El 81% de los nodos biogeográficos se localiza en esta zona. Peterson *et al.* (1993) concluyeron que la mayor endemidad en México se encuentra en tierras altas, el 44% de los nodos se localiza en intervalos mayores a los 1000 m de altitud y cercanos a sistemas montañosos.

Los nodos pueden ser considerados como "hotspots" (Morrone y Espinosa, 1998; Morrone, 2000; Álvarez, 2001), además de ser zonas geobióticamente compuestas, lo cual les confiere prioridad para su conservación. Sin embargo, dado que los recursos económicos limitados y las necesidades sociales nacionales no permiten "conservar todo" (Vane-Wright *et al.*, 1991), se consideró jerarquizar la importancia relativa entre ellos.

Nodos prioritarios

Las prioridades que se establecen en áreas para conservación dependen directamente de los criterios utilizados (Vane-Wright *et al.*, 1991). En este trabajo, para reducir este sesgo, se decidió considerar el mayor número de criterios que otros autores proponen

para establecer prioridades, que además fueran compatibles con el tipo de información generada en este trabajo con herramientas biogeográficas.

Se eligieron los nodos con mayor riqueza de especies, que es el criterio más simple con el cual se ha evaluado generalmente a la biodiversidad e identifica zonas con alta concentración de especies (Humphries *et al.*, 1991; Escalante *et al.*, 2003).

Entre los nodos más diversos, se seleccionaron aquellos con mayor número de especies consideradas en alguna categoría de riesgo, ya que estas especies deben ser una prioridad al evaluar la biodiversidad debido a su alto riesgo de extinción, que está directamente relacionado, entre otras causas, con sus características de distribución (Arita *et al.*, 1997; Ceballos *et al.*, 1998; Ceballos, 1999; Carton de Grammont, 2002).

Para tener una muestra significativa de la riqueza del territorio, se debe seleccionar la mayor variedad de hábitats, ya que la heterogeneidad determina la riqueza de especies (Scott, 1997), por lo cual se seleccionaron nodos localizados en provincias biogeográficas diferentes y así tener representada una mayor riqueza de orígenes históricos diferentes.

Para algunos autores, las especies endémicas, raras y con distribución restringida merecen tener prioridad (Ramírez-Pulido y Müdspacher, 1987; Vane-Wright *et al.*, 1991; Ceballos y Rodríguez, 1993; Ceballos, 1999; Arita, *et al.*, 1997; Ceballos *et al.*, 1998; Peterson *et al.*, 2000; Cavieres *et al.*, 2002), debido a su susceptibilidad a la extinción y a su presencia única en el país. El método empleado en este trabajo, aunque consideró de manera incidental las especies raras o con distribución restringida, no fueron utilizadas como prioridad al evaluarlas, sin embargo, el 50% de los nodos propuestos se localizan en la zona de alta endemidad de mamíferos más importante del país: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y el Istmo de Tehuantepec (Fa y Morales, 1998). Peterson *et al.* (1993) encontraron que en las montañas del sur de México la endemidad tanto de aves, mamíferos, reptiles, anfibios y mariposas se localiza en hábitats de tierras altas.

Con base en los criterios ya mencionados para valorar la importancia relativa entre todos los nodos, se seleccionaron seis, los cuales mantienen diferentes hábitats, se encuentran en ambas costas del país e incluyen a los dos estados más diversos (Oaxaca y Chiapas) de mamíferos (Arita *et al.*, 1993). El 50% de ellos se localiza en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur e Istmo de Tehuantepec, que corresponden al área continental más importante de endemismo de mamíferos (Fa y

Morales, 1998), y el otro 50% de los nodos se localizan en Chiapas y norte de Oaxaca, y corresponden al área con mayor diversidad específica de mamíferos (Ramírez-Pulido y Müdespacher, 1987; Ceballos y Rodríguez, 1993; Fa y Morales, 1998) y a la zona prioritaria para la conservación de quirópteros endémicos (Arita *et al.*, 1997). Diversos autores (Peterson *et al.*, 1993; Ceballos *et al.*, 1998, y los mencionados en este mismo párrafo) han concluido que no hay correspondencia entre las áreas de alta riqueza específica y de las de alta endemidad, y elegir un criterio u otro relegaría a alguno. Este trabajo no considera directamente la prioridad para alguno de estos dos criterios, sin embargo, los nodos seleccionados se ubican en las principales zonas del país tanto de alta riqueza específica como de alta endemidad.

El nodo 10 Zoquiápan es el primer nodo prioritario, localizado en la Sierra Madre del Sur, en Guerrero. El estado de Guerrero ocupa el cuarto lugar en número de especies de vertebrados en el país (Anzuara y Ramírez, 1994) y la Sierra Madre de Sur es una de las cordilleras importantes de endemidad en el país (Fa y Morales, 1998; Peterson *et al.*, 1993). Escalante *et al.* (en prep.) encontraron un nodo panbiogeográfico para la mastofauna neártica de México en la misma zona. El nodo se localiza en tierras altas (mayores a los 1000 m de altitud) caracterizadas por mantener altos niveles de integridad ecológica (Conabio, 2002). Dicho nodo se localiza dentro de la RTP Cañón del Zopilote, cuya zona no cuenta con inventarios de mamíferos ni con planes de manejo de ningún tipo (Arriaga *et al.*, 2000).

El nodo 4 Los Altos de Chiapas fue el único ubicado dentro de una ANP (Parque Nacional Cañón del Sumidero). Este hecho, desde una perspectiva teórica, podría considerar este nodo como protegido, sin embargo, desde una perspectiva funcional sería necesario corroborar que la infraestructura, la legislación, los recursos económicos y humanos sean los adecuados para las especies que se deseen proteger y además estén disponibles. Esta ANP se caracteriza por ser punto de contacto de varios tipos de ecosistemas, alberga mamíferos endémicos y aproximadamente el 35% de las especies mastofaunísticas de Chiapas, pese a su importancia biológica se cuenta con conocimiento incipiente acerca de esta región (Arriaga *et al.*, 2000). Este nodo también ha sido definido como nodo para los mamíferos neárticos (Escalante, com. pers.; Escalante en prep.) y como área de endemismo de mamíferos terrestres mexicanos (Escalante *et al.*, 2002; Escalante *et al.*, en prensa). Escalante *et al.* (en prep.) encontraron en los Altos de Chiapas relictos de especies de mamíferos

neárticos. Vélez (1991) valoró a esta ANP como la de mayor riqueza mastofaunística del país.

El nodo 6 Istmo de Tehuantepec coincide con la zona propuesta por (Ceballos y Rodríguez (1993), junto con la parte sur de Chiapas, de mayor riqueza de especies. El nodo se ubica dentro de la RTP Sierras de Norte de Oaxaca-Mixe. Esta región es muy extensa, lo cual le permite gran variedad de ambientes interconectados, debido a su compleja fisiografía, tiene gran diversidad mastofaunística al igual que endemismos, aunque en muchos sitios la integridad del ecosistema es bajo. Se considera un refugio pleistocénico-terciario (Arriaga *et al.*, 2000). Este nodo coincide con las áreas prioritarias para murciélagos y mamíferos no voladores continentales (Arita *et al.*, 1997), que además es congruente con la zona de endemismo de mamíferos terrestres del Istmo (Escalante *et al.*, en prensa).

El nodo 3 Balacán se localiza en una región de humedales y pastizales, que se encuentran actualmente amenazados por la agricultura pecuaria y forestal. Este nodo se ubica en la RTP Lagunas de Catazajá-Emiliano Zapata, no cuenta con programas de manejo y mucho menos con información básica necesaria, como inventarios biológicos (Arriaga *et al.*, 2000). Este nodo se localiza aledaño al Parque Nacional Palenque, corresponde a la zona con mayor número de especies de mamíferos con alguna categoría de riesgo (Ceballos *et al.*, 1998) y coincide con las áreas prioritarias para murciélagos y mamíferos no voladores continentales (Arita *et al.*, 1997), aunado a que los métodos empleados en este trabajo destacaron su importancia biogeográfica histórica.

El nodo 14 Tuxtepec no destacó su importancia con los criterios utilizados en este trabajo para evaluarlo, sin embargo, coincidió con las tres propuestas de áreas prioritarias para mamíferos empleadas en este trabajo (Arita *et al.*, 1997; Ceballos, 1999), por lo cual se decidió incluirlo entre las prioridades. Se ubica dentro de la RTP Sierras del Norte de Oaxaca-Mixe, destaca su importancia tanto en flora como en fauna, incluyendo los mamíferos (Arriaga *et al.*, 2000) y corresponde a una de las regiones de mayor diversidad en el país (Ceballos *et al.*, 1998).

El nodo 16 El Pimiento corresponde con uno de los centros de endemismo de mamíferos del Eje Volcánico Transmexicano (Fa y Morales, 1998), lo cual hace evidente su papel importante en la especiación de roedores. Se ubica en la RTP Cuetzalan, cuenta con incipientes conocimientos de la región y ningún plan de manejo (Arriaga *et al.*, 2000). Este nodo coincide con una de las áreas identificadas como

prioritarias para la conservación de aves y mamíferos endémicos de Veracruz (Peterson *et al.*, 2000), y con el nodo oriental de Contreras-Medina y Eliosa-León (2001) caracterizado por su alta diversidad de especies.

Consideraciones para la conservación

Las áreas propuestas como prioritarias en este trabajo se evaluaron únicamente con base en mamíferos terrestres neotropicales de México, no se consideraron otros grupos biológicos. Sin embargo, todos los nodos propuestos se localizan en alguna RTP, lo cual implica que la importancia de dichos nodos no es exclusiva para mamíferos, ya que las RTP están propuestas con base en la biodiversidad en general, a partir de criterios diferentes, que destacan por la presencia de una riqueza ecosistémica e integridad biológica significativa (Arriaga *et al.*, 2000). Además, debido a que el método panbiogeográfico permite encontrar las homologías biogeográficas de diferentes taxones, íntimamente relacionado con eventos vicariantes (Morrone y Espinosa, 1998; Crisci *et al.*, 2000), se esperaba que los nodos obtenidos empleando mamíferos terrestres neotropicales, correspondan también a zonas compuestas para otros grupos taxonómicos.

La conservación *in situ* tiene por objetivo mantener la viabilidad de las poblaciones a largo plazo (INE-SEMARNAP, 2000). Aplicando el método de complementariedad se encontró que con un mínimo de tres nodos se tendría representado el 80% de las especies empleadas en el análisis y con un mínimo de ocho nodos el 100% de las especies, pero ni la primera ni la segunda opción cumplen con el objetivo de la conservación *in situ*. Tener representada a una especie por una única población a lo largo de su distribución geográfica, no permite mantener la viabilidad genética ni demográfica a largo plazo, debido a su probabilidad de extinción (Scott, 1997), por lo tanto el resto de los nodos deben considerarse para la protección de poblaciones adicionales de las especies menos representadas. Las escalas geográfica y taxonómica empleadas en este trabajo no generan información a nivel poblacional, sin embargo, es posible determinar el número de veces que está representada una especie en los diferentes nodos obtenidos e identificar sitios y

especies que ameriten estudios más detallados y así maximizar el potencial científico (Morrone y Espinosa, 1998).

Otro aspecto importante para la conservación *in situ* es el tamaño del área de la reserva que permita mantener comunidades a largo plazo (Scott, 1997). Algunos autores consideran que solo en áreas grandes es posible mantener poblaciones originales completas que presenten procesos ecológicos y evolutivos a largo plazo. Las áreas pequeñas son menos adecuadas para preservar todos los niveles tróficos (Hernández, 1992). El tamaño de la reserva dependerá entonces del grupo de organismos que se pretendan proteger (Rodríguez y Gaston, 2001), de acuerdo con sus ámbitos hogareños particulares. También es importante considerar que la riqueza específica de un área dada aumenta directamente con el tamaño del área, que está regulada por el equilibrio entre la tasa de inmigración y de extinción (Hernández, 1992). Por ello, confinar poblaciones muy reducidas tiene efectos en la dinámica poblacional que no permite mantener su viabilidad demográfica a largo plazo, aunado a que aumenta su probabilidad de extinción debido a eventos estocásticos catastróficos (biológicos, ambientales, genéticos) (Scott, 1997; Ceballos y Rodríguez, 1993).

La valoración de los nodos obtenidos se determinó de manera indirecta (datos históricos de localidades de registro y datos cartográficos de la vegetación), y la biodiversidad es una entidad dinámica, por lo cual su evaluación debe situarse lo más cerca posible al contexto espacio-temporal presente. Por lo anterior, la información generada debe corroborarse directamente en campo, es necesario conocer si las comunidades que pretenden conservarse actualmente persisten; y de ser así, es muy importante considerar que destinar un área para protección de la biodiversidad no implica aislarla, sino establecer proyectos, programas y planes para su manejo, atención y vigilancia, obviamente situadas en su contexto real (económico, político, cultural y social) para poder alcanzar el objetivo primario de la conservación *in situ*, cuya responsabilidad nos concierne a todos.

CONCLUSIONES

Se propusieron seis áreas prioritarias para la conservación de mamíferos terrestres neotropicales de México a partir de métodos biogeográficos. Dos áreas en Oaxaca: nodo 6 Istmo de Tehuantepec y nodo 14 Tuxtepec, dos en Chiapas: nodo 3 Balacán y nodo 4 Los Altos de Chiapas, una en Guerrero: nodo 10 Zoquiapan, y una en Veracruz: nodo 16 El Pimiento. Estos nodos resultaron ser congruentes con áreas propuestas anteriormente con base en otros criterios y diferentes grupos taxonómicos, como las Regiones Terrestres Prioritarias y además las áreas de importancia propuestas para mamíferos mexicanos en general.

El nodo 10 Zoquiapan fue el más importante de acuerdo con los criterios empleados para evaluar las prioridades entre todos los nodos obtenidos. El nodo 14 Tuxtepec coincidió con todas las propuestas anteriores de áreas prioritarias para mamíferos.

Las áreas propuestas se establecieron a nivel nacional, por lo cual serán necesarios estudios posteriores a escala local que permita la delimitación de área con base tanto en los grupos biológicos que deseen conservarse como en las características fisiográficas de dichos sitios.

El análisis de patrones espaciales reveló el patrón típico de la biota neotropical (el trazo ancestral neotropical), que se extiende por ambas costas del país muy al norte respecto a la porción central del territorio que no excede más allá del Eje Volcánico Transversal.

Los nodos se localizaron principalmente en la costa Pacífica, que es la parte del país más activa respecto a procesos geotectónicos y se encontró una mayor acumulación de nodos en la región del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, que corresponde a la zona donde existe evidencia de gran actividad tectónica reciente (Mioceno tardío y Plioceno temprano) respecto a la evolución tectónica general de México, lo cual sustenta el origen compuesto de la biota en los sitios donde se ubican los nodos.

REFERENCIAS

- Aguilar-Aguilar, R. y R. Contreras.** 2001. La distribución de los mamíferos marinos de México: un enfoque panbiogeográfico. En: J. Llorente y J.J. Morrone (eds.), *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Facultad de Ciencias, UNAM, México, pp. 197-211.
- Álvarez, E.** 2001. *Propuesta de áreas para conservación de aves terrestres en México, aplicando herramientas panbiogeográficas*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Anaya, A., J. Arévalo, E. Hentschel, J. Consejo y D. Gutiérrez.** 1992. Las Áreas Naturales Protegidas como alternativa de conservación y problemática en México. En: A. Anaya (coord.), *Las Áreas Naturales Protegidas de México*. SBM, UNAM, SEDUE, SEP, Fundación Miguel Alemán. México, pp. 15-37.
- Anzuara, I. y A. Ramírez.** 1994. Tecnologías y manejo de información geográfica en bioconservación. *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XX (118): 58-65.
- Arita, H.** 1993. Riqueza de especies de la mastofauna de México. En: R. Medellín y G. Ceballos (eds.), *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Publicaciones Especiales, Vol. 1. Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C. México, pp. 109-128.
- Arita, H., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez y K. Santos del Prado.** 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology* 11: 92-100.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gomez, y E. Loa (coords.).** 2000. *Regiones Terrestres Prioritarias*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Baker, R.** 1963. Geographical distribution of terrestrial mammals in Middle America. En: R.E. Gordon (ed.). *The American Midland Naturalist*. Vol. 70. N° 1. The University of Notre Dame. Indiana, pp. 208-249.
- Boutelspacher, C.** 1984. *Mariposas de México*. Ed. Científicas, La Prensa Médica Mexicana.

- Cabrera, A.L. y A. Willink.** 1980. *Biogeografía de América Latina*. 2ª ed. Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Caracas.
- Carton de Grammont, P.** 2002. *Sistemas de categorización de especies amenazadas: una propuesta ilustrada con los mamíferos del sur de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México, D.F.
- Caviers, L.A., M. Arroyo, P. Posadas, C. Marticorena, O. Matthei, R. Rodríguez, F.A. Squeo y G. Arancio.** 2002. Identification of priority areas for conservation in an arid zone: application of parsimony analysis of endemism in the vascular flora of the Antofagasta region, northern Chile. *Biodiversity and Conservation* 11: 1301-1311.
- Ceballos, G.** 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos de México. *Biodiversitas* 27(5): 2-8.
- Ceballos, G. y H. T. Arita.** 1996. Proyecto A003 "Formación de una base de datos para el Atlas Mastozoológico de México", Conabio, México.
- Ceballos, G. y P. Rodríguez.** 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México: II. Patrones de endemismidad. En: R.A. Medellín y G. Ceballos (eds.) *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Vol. I. Publicaciones Especiales, Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. México, pp. 87-107.
- Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales y R.A. Medellín.** 2002. Mamíferos de México. En: G. Ceballos y J.A. Simonetti (eds.). *Diversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*. Conabio-UNAM. México, D. F.
- Ceballos, G., P. Rodríguez y R. Medellín.** 1998. Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism and endangerment. *Ecological Applications* 8(1): 8-17.
- Cervantes-Zamora, Y., S.L. Cornejo-Olgin, 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 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- CIPAMEX—Conabio (Consejo Internacional para la Preservación de las Aves – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.** 1999. *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves*. Escala 1:250 000. México.

- Colwell, R. y J. Coddington.** 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Trans. R. Soc. London B*. 345: 110-118.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)** 2000. *Regiones Terrestres Prioritarias*. Escala 1:1 000 000. México.
- Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).** 1998. *Regiones Prioritarias Marinas*. Escala 1:4 000 000. México.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas).** 2002. *Áreas Naturales Protegidas de México*. <http://www.conanp.gob.mx>
- Contreras-Medina, R. y H. Eliosa-León.** 2001. Una visión panbiogeográfica preliminar de México. En: J. Llorente y J.J. Morrone (eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Facultad de Ciencias, UNAM, México, pp. 197-211.
- Contreras-Medina, R., J.J. Morrone e I. Luna.** 2001. Biogeographic methods identify gymnosperm biodiversity hotspots. *Naturwissenschaften* 88:427-430.
- Crisci, J.** 2001. The voice of historical biogeography. *Journal of Biogeography* 28: 157-168.
- Crisci, J., L. Katinas y P. Posadas.** 2000. *Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica*. Sociedad Argentina de Botánica. Buenos Aires.
- De la Garza, G.** 1992. La conservación en México. En: A. Anaya (coord.). *Las Áreas Naturales Protegidas de México*. SBM, UNAM, SEDUE, SEP, Fundación Miguel Alemán. México, pp. 87-97.
- Domínguez, E.** 1999. El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. *Biodiversitas* 27(5): 9-11.
- Eccardi, F., R. Álvarez del Toro, C. Domínguez, M. Aranda, L. López del Buen, A. Ramírez y H. Álvarez del Toro.** 1984. *Aspectos generales de la ecología en el estado de Chiapas*. Talleres Gráficos del Gobierno del Estado. México.
- Eguiarte, L. y D. Piñero.** 1999. Genética de la conservación: leones vemos, genes no sabemos. En: F. Núñez y D. Eguiarte (comp.). *Evolución biológica*. UNAM. México, pp. 413-437.
- Ehrlich, P.** 1981. *Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species*. Ballantine Books. Nueva York.

- Emmons, L. y F. Feer.** 1997. *Neotropical rainforest mammals. A field guide.* The University of Chicago Press. 2ª ed. Chicago.
- Escalante, T.** 2003. Avances en el atlas biogeográfico de los mamíferos terrestres de México. En: J.J. Morrone y J. Llorente (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, pp. 297-302.
- Escalante, T. y J.J. Morrone.** 2003. ¿Para qué sirve el Análisis de Parsimonia de Endemismos?. En: J.J. Morrone y J. Llorente (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, pp. 167-172.
- Escalante, T., D. Espinosa y J. Llorente-Bousquets.** 2003. Métodos para la identificación, descubrimiento y comparación de patrones biogeográficos: ejemplos en México. En: J.J. Morrone y J. Llorente (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, pp. 303-307.
- Escalante, T., D. Espinosa y J.J. Morrone.** 2002. Patrones de distribución geográfica de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 87: 47-65.
- Escalante, T., D. Espinosa y J.J. Morrone.** *En prensa.* Using Parsimony Analysis of Endemicity to analyze the distribution of Mexican land mammals. *The Southwestern Naturalist* 48 (3).
- Escalante, T., G. Rodríguez y J.J. Morrone.** *En prep.* The diversification of Nearctic mammals in the Mexican Transition Zone: A track analysis.
- Espinosa, D. y J. Llorente.** 1993. *Fundamentos de biogeografías filogenéticas.* UNAM. México, D.F.
- Espinosa, D., C. Aguilar y T. Escalante.** 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En: J. Llorente y J.J. Morrone (eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones.* Facultad de Ciencias, UNAM, México, pp. 31-38.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute)** 1999. ArcView versión 3.2 GIS, Inc. Nueva York.
- Fa, J. y L.M. Morales.** 1998. Patrones de diversidad de mamíferos de México. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (comp.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución.* Instituto de Biología, UNAM. México, pp. 315-352.

- Faith, D.** 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61: 1-10.
- Faith, D.** 1994. Phylogenetic diversity: a general framework for the prediction of feature diversity. En: P.I. Forey, J. Humphries y R.I. Vane-Wright (eds.). *Systematics and conservation evaluation*. Systematics Association Special Vol. 50. Clarendon Press, Oxford, pp. 251-268.
- Faith, D.P. y P.A. Walker.** 1996. How do indicator groups provide information about the relative biodiversity of different sets of areas?: on hotspots, complementarity and patterns-based approaches. *Biodiversity Letters* 3: 18-25.
- Ferrusquía, I.** 1998. Geología de México: una sinopsis. En: T.P. Ramammorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (comp.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México, pp. 3-108.
- Flores, O y P. Gerez.** 1994. *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados vegetación y uso de suelo*. 2ª ed. Conabio/UNAM, México, D.F.
- Fortino, A. y J. Morrone.** 1997. Signos gráficos para la representación de análisis panbiogeográficos. *Biogeographica* 73(2): 49-56.
- García-Barros, E., P. Guerra, M. Luciañez, J. Cano, M. Munguira, J. Moreno, H. Sainz, M. Sanz y J.C. Simón.** 2002. Parsimony analysis of endemism and its application to animal and plant geographical distributions in the Ibero-Balearic region (western Mediterranean). *Journal of Biogeography* 29: 109-124.
- Hall, E.R.** 1981. *The mammals of North America*. Vols. I y II. 2ª ed. Ed John Wiley & Sons. Nueva York.
- Heads, M.** 1989. Integrating earth and life sciences in New Zealand natural history: the parallel arcs model. *New Zealand Journal of Zoology* 16: 549-585.
- Hernández, A.** 1992. Los carnívoros y sus perspectivas de conservación en las áreas protegidas de México. *Acta Zoológica (n.s.)* 54: 1-23.
- Humphries, C.J., R.I. Vane-Wright y P.H. Williams.** 1991. Biodiversity reserves: setting new priorities for the conservation of wildlife. *Park* 2: 34-38.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), Ita-Rubio de, L., I. Escamilla-Herrera, C. García-de León y Ma.C. Soto-Núñez.** 1990a. División Política Estatal. I.1.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. I. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), Lugo-Hupb J., R. Vidal Zepeda, A. Fernández-Equiarte, A. Gallegos-García, J. Zavala-H y otros.** 1990b. Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. *Atlas Nacional de México*. Vol. I. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), Ita-Rubio de, L., I. Escamilla-Herrera, C. García-de León y Ma.C. Soto-Núñez.** 1990c. Limite Internacional en División Política Estatal. I.1.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. I. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).** 1988. *Carta de México Topográfica*, escala 1:250 000. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).** 1995. *Censo de población y vivienda: resultados definitivos*. CONABIO, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).** 2002. Mapa digitalizado *Uso de suelo y vegetación* escala 1:1 000 000.
- INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología – Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca).** 2000. *Ley general de vida silvestre*. México, D.F.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología – Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).** 2001. *Mapa de Áreas Naturales Protegidas*, SEMARNAT, México. <http://www.semarnat.gob.mx>
- Katins, L., J.J. Morrone y J. Crisci.** 1999. Track analysis reveals the composite nature of the Andean biota. *Aust. J. Bot.* 47: 111-130.
- Kauffman, E. y P. Harries.** 1996. Las consecuencias de la extinción en masa. En: H. Agustí (ed.). *La lógica de las extinciones*. Tusquets Editores. Barcelona, pp.17-64.
- Leopold, S.** 1977. Fauna silvestre de México, aves y mamíferos de caza. Instituto Mexicano de Recursos Renovables. 2ª ed. México, D.F.
- Llorente, J., J.J. Morrone, A. Bueno, R. Pérez, A. Viloria y D. Espinosa.** 2000. Historia del desarrollo y la recepción de las ideas panbiogeográficas de Léon Croizat. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 24(93): 549-577.
- López-Wilchis, R. y J. López-Jardínez.** 1998. Los mamíferos de México depositados en colecciones de Estados Unidos y Canadá. Vol. 1. UAM-I. México.
- López-Wilchis, R.** 1996. Proyecto P130 "Base de datos de los mamíferos de México depositados en colecciones de los Estados Unidos y Canadá", Conabio, México.

- Luna, I. y O. Alcántara.** 2001. Análisis de Simplicidad de Endemismos (PAE) para establecer un modelo de vicarianza preliminar del bosque mesófilo de montaña mexicano. En: J. Llorente y J.J. Morrone (eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, concepto, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 273-277.
- Luna, I., O. Alcántara, J.J. Morrone y D. Espinosa.** 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forest of Hidalgo, Mexico. *Diversity and Distributions* 6:137-143.
- Morrone, J.J.** 1994. On the identification of areas of endemism. *Syst. Biol.* 43: 438-441.
- Morrone, J.J.** 1999. How can biogeography and cladistics interact for the selection of areas for biodiversity conservation?. A view from Andean weevils (Coleoptera: Curculionidae). *Biogeographica* 75(2): 89-96.
- Morrone, J.J.** 2000. La importancia de los atlas biogeográficos para la conservación de la biodiversidad. En F. Martín-Piera, J.J. Morrone y A. Melic (eds.). *Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PRIBES*. SEA-CYTED-Instituto Humboldt, M3m: Monografías Tercer milenio. Zaragoza. Vol. 1, pp. 69-78.
- Morrone, J.J.** 2001. *Sistemática, biogeografía, evolución. Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio*. Las Prensas de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Morrone, J.J. y J. Crisci.** 1995. Historical biogeography: Introduction to methods. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 26: 373-401.
- 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: 1094-1104.
- Morrone, J.J. y D. Espinosa.** 1998. La relevancia de los Atlas Biogeográficos para la conservación de la biodiversidad mexicana. *Ciencia* 49(3): 12-16.
- Morrone, J.J., D. Espinosa y J. Llorente.** 2002. Mexican biogeographic provinces: preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 85: 83-108.
- Morrone, J.J. y J. Márquez.** 2001. Halffer's Mexican transition zone, beetle generalized track, and geographical homology. *J. Biogeogr.* 28: 635-650.

- Newbigin, M.** 1949. *Geografía de plantas y animales*. Fondo de Cultura económica. México, D.F.
- Núñez J. y L. Eguarte.** 1999. *La evolución biológica*. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Ortega, F., R.L. Sedlock y R. Speed.** 2000. Evolución tectónica de México durante el fanerozoico. En: J. Llorente, E. González y N. Papavero (eds.). *Biodiversidad taxonómica y biogeográfica de artrópodos de México: hacia una síntesis de conocimiento*. Vol. II. Fac de Ciencias, Conabio. México, pp. 3-59.
- Peterson, A., O. Flores-Villela, L. León, J. Llorente, A. Luis, A. Navarro, M. Torres y I. Vargas.** 1993. Conservations priorities in Mexico: moving up in the world. *Biodiversity Letters* 1: 33-38.
- Peterson, A.T., S.L. Egbert, V. Sánchez-Cordero y K.P. Price.** 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic bird and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.
- Posadas, P.** 1996. Distributional patterns of vascular plant in Tierra de Fuego: A study applying parsimony analysis of endemicity (PAE). *Biogeographica* 72(4): 161-177.
- Posadas, P. y D. Miranda.** 1999. El PAE (Parsimony Analysis of Endemicity) como una herramienta en la evaluación de la biodiversidad. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 539-546.
- Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.).** 1998. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México.
- Ramírez-Pulido, J. y C. Müdespacher.** 1987. Estado actual y perspectivas del conocimiento de los mamíferos de México. *Ciencia* 38: 49-67.
- Reynoso, V.** 1994. Principios y sistemas de clasificación biogeográfica de la Tierra. En: J. Llorente e I. Luna (eds.). *Taxonomía biológica*. Fondo de Cultura Económica, Editoriales Científicas Universitarias. México, pp. 537-566.
- Robinson, J. y K. Redford.** 1997. Cosecha sostenible de mamíferos forestales neotropicales. En: J. Robinson y K. Redford (eds.). *Uso y conservación de la vida silvestre neotropical*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Rodrigues, A.S. y K.J. Gaston.** 2001. How large do reserve networks need to be?. *Ecology Letters* 4: 602-609.

- Rojas-Soto, O., O. Alcántara-Ayala y A. Navarro.** 2003. Regionalization of avifauna of the Baja California, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional 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*. Chapman y Hall, Londres, pp. 437-481.
- Rosen, B.R. y A.B. Smith.** 1988. Tectonics from fossils? Analysis of reef-coral; and sea-urchin distributions from Late Cretaceous to Recent, using a new method. En: M.G. Audley-Charles y A. Hallam (eds.). *Gondwana and Tethys*. Geol. Soc. Special Publ. n 37 Oxford University press, Oxford, pp. 275-306.
- Scott, J.M.** 1997. Gap Analysis for biodiversity survey and maintenance. En: M.L. Reakudla, D.E. Wilson y E.O. Wilson (eds.). *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources*. Washington, pp. 321-340.
- SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca).** 2000a. *Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000*. México, D.F.
- SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca).** 2000b. *Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural 1997-2000*. México, D.F.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).** 2002a. <http://www.semarnat.gob.mx>
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).** 2002b. *Norma Oficial NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental - Especies de flora y fauna silvestres de México - 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 2002.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto).** 1981. Carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1: 1 000 000. México, D.F.
- Swofford, D.L.** 1999. PAUP*. Phylogenetic analysis using parsimony (and other methods). Versión 4. Sinauer Associates, Sunderland.
- Tamayo, J.** 1968. *Geografía Moderna de México*. Ed. Trillas. México, D.F.
- Toledo, V.** 1999. La diversidad Biológica de México. En: J. Núñez y L. Eguiarte (eds.). *La Evolución biológica*. Ciencias, UNAM. México, pp. 407-437.

- Trujano, M.** En prep. *Análisis panbiogeográfico de Papilionidae y Pieridae (Papilionoidea: Lepidoptera) de México: una interpretación para la conservación.* Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Vane-Wright, R., C. Humphries y P. Williams.** 1991. What to protect?. Systematics and the agony of choice. *Biological Conservation* 55: 235-254.
- Vargas, F., S. Escobar y R. Del Angel (comp.).** 2000. *Áreas Naturales Protegidas de México con decretos federales.* SEMARNAT, PNUD. México, D.F.
- Vélez, M.E.** 1991. *Representatividad matofaunística en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.* Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Villar, B.** 1966. *Los murciélagos de México.* Instituto de Biología, UNAM, México.

APÉNDICE 1

Lista de especies de mamíferos terrestres neotropicales de México, nomenclatura propuesta por Ceballos *et al.*, (2002) y su categoría de riesgo, de acuerdo con la NOM-059-ECOL-2002 (SEMARNAT, 2002b).

TAXONES	CATEGORÍA DE RIESGO
DIDELPHIMORPHIA	
MARMOSIDAE	
<i>Marmosa canescens</i>	
<i>Marmosa mexicana</i>	
CALUROMYIDAE	
<i>Caluromys derbianus</i>	Pr
XENARTHRA	
MYRMECOPHAGIDAE	
<i>Cyclopes didactylus</i>	P
<i>Tamandua mexicana</i>	P
CHIROPTERA	
EMBALLONURIDAE	
<i>Balantiopteryx io</i>	
<i>Balantiopteryx plicata</i>	
PHYLLOSTOMIDAE	
<i>Artibeus hirsutus</i>	
<i>Carollia subrufa</i>	
<i>Dermanura aztecus</i>	
<i>Glossophaga leachii</i>	
<i>Hylonycteris underwoodi</i>	
<i>Musonycteris harrisoni</i>	P*
NATALIDAE	
<i>Natalus stramineus</i>	
VESPERTILIONIDAE	
<i>Myotis albescens</i>	Pr
<i>Myotis elegans</i>	
<i>Myotis fortidens</i>	
<i>Myotis keaysi</i>	
<i>Rhogeessa gracilis</i>	
<i>Rhogeessa parvula</i>	
ANTROZOIDAE	
<i>Antrozous dubiaquercus</i>	
MOLOSSIDAE	
<i>Eumops underwoodi</i>	
<i>Molossops greenhalli</i>	Pr
<i>Tadarida aurispinosa</i>	

TAXONES	CATEGORÍA DE RIESGO
PRIMATES	
CEBIDAE	
<i>Alouatta pigra</i>	P
<i>Ateles geoffroyi</i>	P
CARNIVORA	
MUSTELIDAE	
<i>Conepatus leuconotus</i>	
<i>Conepatus semistriatus</i>	Pr*
<i>Spilogale pygmaea</i>	A*
PROCYONIDAE	
<i>Bassaricus sumichrasti</i>	Pr
<i>Procyon pygmaeus</i>	P*
PERYSODACTYLA	
TAPIRIDAE	
<i>Tapirus bairdii</i>	P
RODENTIA	
SCIURIDAE	
<i>Sciurus aureogaster</i>	
<i>Sciurus colliaei</i>	
<i>Sciurus deppoi</i>	
<i>Sciurus yucatanensis</i>	
<i>Spermophilus adocetus</i>	
<i>Spermophilus annulatus</i>	
GEOMYIDAE	
<i>Orthogeomys cuniculus</i>	A*
<i>Orthogeomys grandis</i>	
<i>Orthogeomys hispidus</i>	
<i>Orthogeomys lanius</i>	A*
<i>Zygozemys trichopus</i>	P*
HETEROMYIDAE	
<i>Heteromys desmarestianus</i>	
<i>Heteromys gaumeri</i>	
<i>Heteromys goldmani</i>	
<i>Liomys pictus</i>	
<i>Liomys salvini</i>	
<i>Liomys spectabilis</i>	Pr*
MURIDAE	
<i>Baiomys musculus</i>	
<i>Habromys lepturus</i>	
<i>Habromys simulatus</i>	Pr*
<i>Hodomys alleni</i>	
<i>Megadontomys chryophilus</i>	A*

TAXONES	CATEGORÍA DE RIESGO
<i>Megadontomys nelsoni</i>	A*
<i>Megadontomys thomasi</i>	Pr*
<i>Microtus oaxacensis</i>	A*
<i>Microtus quasiater</i>	Pr*
<i>Microtus umbrosus</i>	Pr*
<i>Neotoma angustapalata</i>	
<i>Neotomodon alstoni</i>	
<i>Nyctomys sumichrasti</i>	
<i>Oligoryzomys fulvescens</i>	
<i>Oryzomys chapmani</i>	Pr*
<i>Oryzomys melanotis</i>	
<i>Otonyctomys hatti</i>	A
<i>Otolytomys phyllotis</i>	
<i>Peromyscus aztecus</i>	
<i>Peromyscus hylocetes</i>	
<i>Peromyscus megalops</i>	
<i>Peromyscus melanocarpus</i>	
<i>Peromyscus mexicanus</i>	
<i>Peromyscus ochraverter</i>	
<i>Peromyscus perfulvus</i>	
<i>Peromyscus winkelmanni</i>	
<i>Peromyscus yucatanicus</i>	Pr*
<i>Peromyscus zarhynchus</i>	
<i>Reithrodontomys chrysoptis</i>	Pr*
<i>Reithrodontomys gracilis</i>	
<i>Reithrodontomys hirsutus</i>	A*
<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	
<i>Reithrodontomys microdon</i>	
<i>Reithrodontomys spectabilis</i>	A
<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	A
<i>Rheomys mexicanus</i>	
<i>Scotinomys teguina</i>	Pr*
<i>Sigmodon alleni</i>	Pr
<i>Sigmodon mascotensis</i>	
<i>Tylomys nudicaudatus</i>	
<i>Xenomys nelsoni</i>	
ERETHIZONTIDAE	A*
<i>Coendou mexicanus</i>	
AGOUTIDAE	A
<i>Agouti paca</i>	

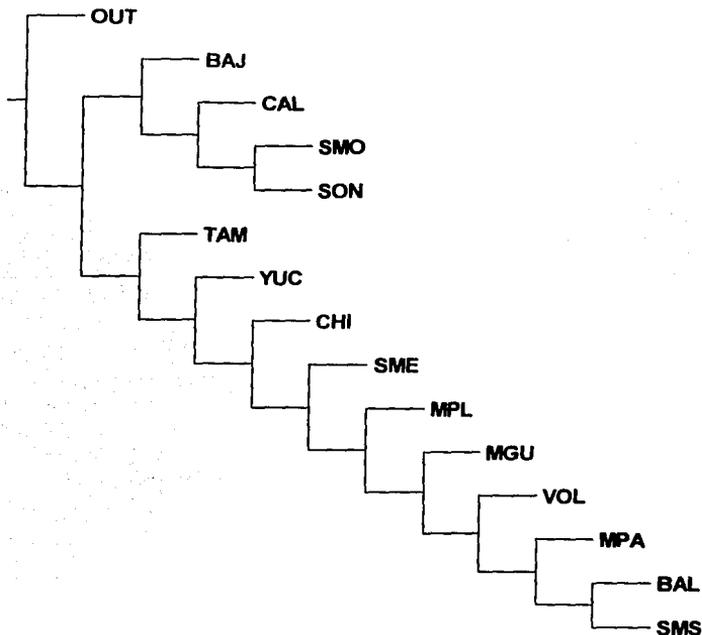
TAXONES	CATEGORÍA DE RIESGO
DASYPROCTIDAE	
<i>Dasyprocta mexicana</i>	
LAGOMORPHA	
LEPORIDAE	
<i>Lepus flavigularis</i>	P*
<i>Romerolagus diazi</i>	P*
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	
<i>Sylvilagus insonus</i>	P*

CATEGORIAS DE RIESGO: **P.** En peligro de extinción; **A.** Amenazada; **Pr.** Sujeta a protección especial; (*) especie endémica de México.

APÉNDICE 2

CLADOGRAMA DE ÁREAS OBTENIDO DE LA MATRIZ ORIGINAL

El Cladograma generado a partir de la matriz original muestra dos clados principales, uno definido por la agrupación de las provincias biogeográficas neárticas excepto la provincia Tamaulipas, que se incluye en el otro clado de biogeográficas neotropicales pero como grupo hermano de éstas.



Provincias biogeográficas neárticas: **BAJ.** Baja California; **CAL.** California; **MPL.** Atliplano Mexicano; **SON.** Sonora; **TAM.** Tamaulipas.

Provincias biogeográficas neotropicales: **BAL.** Depresión del Balsas; **CHI.** Chiapas; **MGA.** Costa del Pacífico; **MGU.** Costa del Golfo; **SME.** Sierra Madre Oriental; **SMO.** Sierra Madre Occidental; **SMS.** Sierra Madre del Sur; **VOL.** Eje Volcánico Transmexicano; **YUC.** Península de Yucatán.

OUT. Grupo externo.

APÉNDICE 3

CARACTERIZACIÓN DE LOS NODOS

Provincias fisiográficas (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990), provincias morfotectónicas (Ferrusquía, 1998), tipos de vegetación (SSP, 1981) y altitud (INEGI *et al.*, 1990b).

NODO	NOMBRE	ENTIDAD	PROVINCIA FISIOGRÁFICA	PROVINCIA MORFOTECTÓNICA	TIPO DE VEGETACIÓN	ALTITUD [m]
1	Pueblo Hidalgo	Gro	Costas del Sur	Sierra Madre del Sur	SMsC, VS	500-1000
2	Pixoyal	Cam	Karst y Lomeríos de Campeche	Plataforma de Yucatán	SAsP, VS, AN	0-200
3	Balacán*	Chi	Llanuras y Pantanos Tabasqueños	Planicie Costera del Golfo**	PC	0-200
4	Los Altos de Chiapas*	Chi	Sierra del Norte de Chiapas**	Sierra Madre de Chiapas	BT, BC, BM, BE	1500-2000
5	Sierra Atravesada	Oax	Sierra del Sur de Chiapas**	Sierra Madre de Chiapas**	BP/E	500-1000
6	Istmo de Tehuantepec*	Oax	Sierras Orientales**	Sierra Madre del Sur**	PC, SAP	0-500
7	Juchitán	Oax	Llanuras del Istmo	Sierra Madre del Sur**	SBC	0-500
8	Sierra Sur de Oaxaca	Oax	Cordillera Costera del Sur	Sierra Madre del Sur	BT, P, SBC	500-1000
9	Sierra El Camotal	Gro	Cordillera Costera del Sur	Sierra Madre del Sur**	BE, BP, BT	500-1500
10	Zoquiapan*	Gro	Cordillera Costera del Sur	Sierra Madre del Sur**	SBC	2000-2500
11	Laguna de Pátzcuaro	Mich	Neovolcánica Transversa	Faja Volcánica Transmexicana**	CT, BE, BP	2000-2500
12	Dos Aguas	Mich	Cordillera Costera del Sur	Sierra Madre del Sur**	BT, BTa, BP/E	2000-2500
13	Cerro El Hacha	Nay	Pie de la Sierra**	Planicies y Sierras del Noroeste**	SBC, BE, SMsC	200-500
14	Tuxtepec*	Oax	Sierras Orientales	Sierra Madre del Sur**	SAP	200-500
15	Sierra Zongolica	Ver	Sierras Orientales**	Faja Volcánica Transmexicana**	SMsP	500-1000
16	El Pimiento*	Ver	Lagos y Volcánes del Anahuac	Faja Volcánica Transmexicana**	BT	200-2500

AN. Agricultura nómada; BC. Bosque de coníferas; BE. Bosque de encino; BM. Bosque mesófilo; BP. Bosque de pino; BP/E. Bosque de pino-encino; BT. Bosque templado; BTa. Bosque de tascate; CT. Cultivo temporal; P. Pastizal; PC. Pastizal cultivado; SAP. Selva alta perennifolia; SAsP. Selva alta subperennifolia; SBC. Selva baja caducifolia; SMsC. Selva mediana subcaducifolia; SMsP. Selva mediana subperennifolia; VS. Vegetación secundaria. (*) Nodos propuestos como prioritarios; (**) Nodos localizados en límites de provincias.

APÉNDICE 4

PROVINCIAS MORFOTECTÓNICAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA (Ferrusquía, 1998), DONDE SE LOCALIZAN LOS NODOS PANBIOGEOGRÁFICOS

⇒ Faja Volcánica Transmexicana

Esta provincia atraviesa el país de costa a costa entre los paralelos 19°00 y 21°00, e incluye los estados de: sur de Jalisco y Nayarit, la mayor parte de Michoacán, noreste de Colima, occidente de Guerrero, Estado de México, sur de Querétaro, Hidalgo y Guanajuato, Taxcala, norte de Puebla, regiones adyacentes a Veracruz y el Distrito Federal. Su intervalo altitudinal se encuentra entre los 1000 y más de 5000 m, pero la zona predominante se ubica entre los 1500 y 2500 m. Climáticamente esta provincia es muy diversa, pero predomina el clima templado. Las formas dominantes del terreno son producto del vulcanismo, la mayor parte de esta área es una meseta volcánica donde se encuentran tanto grandes volcanes (Nevado de Colima, Popocatepetl, etc.), como sierras (Cacama, del Tigre, etc.). La meseta se encuentra surcada y drenada por numerosos ríos y algunas depresiones locales, que se han convertido en cuencas endorreicas o lagos (Cuitzeo, Pátzcuaro, etc.).

⇒ Meseta Central

Esta provincia está limitada por la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transversal. Ocupa la mayor parte de Guanajuato, occidente de Querétaro, occidente de San Luis Potosí, este de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Altitudinalmente la provincia fluctúa entre los 1000 y 3000 m. El clima es árido con estación seca en el verano, la temperatura media anual es 18°C. Sus principales rasgos fisiográficos son Valles y Sierras Meridionales, Sierras y Mesetas Centrales y Tierras Bajas del Norte.

⇒ Planicie Costera del Golfo

Incluye las tierras bajas que rodean el Golfo de México, con exclusión de la Plataforma de Yucatán, delimitada al occidente y sur por regiones montañosas. El Macizo de Teziutlán (considerado por algunos autores el extremo oriental de la Faja Volcánica

Transmexicana) divide en dos sectores esta provincia. Su intervalo altitudinal se encuentra entre 0 y 200 m. Localmente rodea sierras aisladas que no pertenecen a esta provincia. El clima predominante es tropical y hacia el norte se vuelve mas templado. Sus rasgos fisiográficos principales son: línea costera, llanuras, sistemas fluviales y sierras asociadas. La línea costera incluye lagunas, estuarios y marismas. Las llanuras son el rasgo dominante e incluye planicies de inundación, abanicos aluviales, terrazas marinas y playas. Sistemas fluviales, todos los grandes ríos que desembocan en el Golfo de México, atraviesan la planicie. Las principales sierras son la de Teziutlán y la de los Tuxtlas. Esta provincia penetra profundamente al sur en la parte del Istmo de Tehuantepec.

⇒ **Planicies y Sierras del Noroeste**

Ocupa la porción noroccidental del territorio continental de México, en los estados de Sonora y Sinaloa. Su intervalo altitudinal se encuentra entre 0 y 200 m, pero domina la zona de 800 a 1000 m. El clima es desértico y seco, la temperatura media anual es mayor a 18°C. Tiene varios sistemas de ríos importantes, pero carece de lagos, aunque existen varias presas. Fisiográficamente incluye la llanura costera del Pacífico, cuencas y cordilleras sonorenses y sierras menores sinaloenses.

⇒ **Plataforma de Yucatán**

Esta provincia incluye los estados de Quintana Roo, Yucatán y la mayor parte de Campeche, así como Belice y Norte de Guatemala (tierras bajas del Petén). Más del 95% de esta provincia yace por debajo de los 200 m, haciéndola una vasta planicie. Mar adentro, su plataforma continental se extiende hacia el norte y oeste, en contraste al margen oriental que carece de plataforma continental. El clima predominante es tropical y solo una pequeña porción noroeste es árido. Debido a la naturaleza calcárea de la plataforma, solo se encuentran geomorfos de calizas. El sector norte presenta numerosas depresiones y fosas (cenotes), que carecen de un drenaje superficial. Hacia el oriente, las zonas costeras son de marismas y tiene arrecifes de coral del lado del mar. El resto de la plataforma es ligeramente más alto y tiene numerosas lomas bajas y colinas.

⇒ **Sierra Madre de Chiapas**

Esta provincia se localiza en el sureste de México, incluye el área Istmica de Oaxaca y Tabasco (excluyendo la porción de la planicie costera), así como casi todo el estado de Chiapas. El intervalo altitudinal varía de 0 a 2500 m, pero el 60% de la provincia yace entre los 200 y 1000 m. La mayor parte tiene un clima tropical que se torna mas templado en las áreas de las montañas más elevadas de la Sierra Madre.

⇒ **Sierra Madre del Sur**

Esta provincia se ubica al sur de la Faja Volcánica Transmexicana, abarca los estados de: suroeste de Jalisco, Colima, sur de Michoacán, Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca. Su territorio es escabroso y se encuentra en un intervalo altitudinal entre 0 y 3500 m. Las tierras bajas (<1200 msnm.) corresponden a las cuestas y planicies inclinadas hacia el Pacífico y hacia el Balsas. Las tierras altas (>1200 msnm.) se localizan principalmente en Oaxaca, Guerrero y Puebla. El clima es variado: tropical, estepario y templado. Sus principales rasgos fisiográficos son cordilleras, planicies costeras y depresiones.