

Distribución de los mamíferos terrestres en la región del Golfo de California, México

PATRICIA ILLOLDI RANGEL*
MIGUEL ÁNGEL LINAJE*
VÍCTOR SÁNCHEZ-CORDERO*

Resumen. Se determinó la influencia de factores abióticos (topografía y precipitación) y bióticos (tipos de vegetación) en la distribución de los mamíferos de la región del Golfo de California, incluyendo los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. El modelo lineal generalizado que anidó la topografía, precipitación y vegetación fue el que mejor explicó la distribución de los mamíferos terrestres en la región. Estos resultados indican la complejidad de factores e interacciones que definen los espacios geográficos de las especies.

Palabras clave: distribución, Golfo de California, modelos lineales generalizados, mamíferos terrestres, sistemas de información geográfica.

Abstract. We determined the influence of abiotic (topography and precipitation) and biotic (types of vegetation) factors on the distribution of the terrestrial mammals of the Gulf of California region, including the states of Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa and Nayarit, Mexico. A generalized lineal model nesting topography, precipitation, and vegetation best explained the distribution of the terrestrial mammals in this region. These results pinpoint to a complex interplay of abiotic and biotic factors defining the geography of species.

Key words: distribution, generalized lineal models, geographic information systems, Gulf of California, terrestrial mammals.

* Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 70-233, 04510 México, D.F. pilloldi@mail.ibiologia.unam.mx

Introducción

Recientemente, se ha enfatizado en México la importancia de modelar la distribución de especies con fines enfocados a identificar patrones de distribución, ubicación de áreas de alta densidad de especies y endemidad, así como áreas prioritarias de conservación (Arita *et al.* 1997; Azuara & Bojórquez-Tapia *en prensa*; Bojórquez-Tapia *et al.* 1995; Ceballos & Rodríguez 1993; Ceballos *et al.* 1998; Sánchez-Cordero & Martínez-Meyer 2000; Sánchez-Cordero *et al.* 2001). Parte del reto de este esfuerzo radica en identificar los factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución de especies (Scott *et al.* 1987), así como en predecir presencia y ausencia de especies en áreas previamente no colectadas (Sánchez-Cordero *et al.* 2001).

Existen varios enfoques y métodos para modelar la distribución de especies. Ante los marcados sesgos de colecta e inventarios faunísticos aún incompletos en extensas regiones del país, se hace indispensable hacer uso de modelos que sirvan en predecir presencia o ausencia de especies en áreas de interés (Sánchez-Cordero *et al.* 2001). Los modelos cuantitativos que refieren estadística uni- y multivariada tienen claras ventajas al incluir predicciones sobre la distribución de especies (Austin *et al.* 1990; Hosmer & Lemeshow 1989; Openshaw 1991; Pereira & Itami 1991; Bojórquez-Tapia *et al.* 1995; Fielding & Hawthorn 1995). En particular, los modelos lineales generalizados (GLIM, por sus siglas en inglés) pueden servir para generar distribuciones predictivas de especies, además de mostrar ventajas sobre modelos de estadística paramétrica. Por ejemplo, la información referente a la presencia y ausencia de especies en las localidades, muestra generalmente una distribución tipo Poisson, no adecuada para la estadística paramétrica (Crawley 1993).

La región del Golfo de California, que comprende los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit constituye un área de gran diversidad y endemidad de mamíferos terrestres en México (Álvarez-Castañeda & Patton 1999). Esta región muestra una diversidad fisiográfica y florística notoria, aunada a una compleja historia geológica (Ferrusquía-Villafranca 1993). Este complejo escenario biótico y abiótico representa un modelo interesante para analizar la importancia de variables bióticas y abióticas que influyen en la distribución de la diversidad biológica (Rahbek 1997; Pagel *et al.* 1991).

Recientemente, se ha compilado información detallada sobre la distribución de la mastofauna terrestre de esta región que permite abordar estos aspectos (Álvarez-Castañeda & Patton 1999). El objetivo de este estudio es el de identificar la importancia de factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución de la diversidad de mamíferos terrestres de la región del Golfo de California, empleando modelos lineales generalizados.

En el presente trabajo se analizan dos factores abióticos (topografía y precipitación) y uno biótico (vegetación) considerando las interacciones entre ellos, a fin de diseñar modelos que expliquen sus efectos sobre la mastofauna de la región.

Métodos

Área de estudio

La región del Golfo de California (18° y 32° N 105° y 117° W) incluye los estados que reciben la influencia climática del Golfo de California o Mar de Cortés, los cuales son Baja California y Baja California Sur (Península de Baja California), Sonora, Sinaloa y Nayarit (Álvarez-Borrego 1983; Fig. 1). La Península de Baja California está ubicada en el noroeste de México y ocupa desde el norte del paralelo 32°, hasta el sur del paralelo 23°, con una extensión aproximada de 1333 km.

La península de Baja California se caracteriza, en general, por la cordillera peninsular que recorre los dos estados peninsulares, el de Baja California y el de Baja California Sur, cuyo núcleo de granito masivo aflora en el norte y queda sepultado hacia el sur, bajo materiales volcánicos. El conjunto integra a las Sierras de Juárez y de San Pedro Mártir al norte. Las cumbres más elevadas se encuentran en estas sierras, alcanzando más de 3000 m snm. Los intervalos de precipitación fluctúan de 100 a 1000 mm de precipitación anual; la temperatura media anual fluctúa de 10 a 22 ° C. Los tipos de vegetación de mayor cobertura geográfica son el matorral sarcocaula, que domina las partes bajas, seguido de la selva baja caducifolia; los bosques de encino, pino-encino y pino se ubican arriba de los 1000 m snm (Álvarez-Borrego 1983; Rzedowski 1983). La vegetación de desiertos arenosos cubre la zona centro del desierto de San Sebastián Vizcaíno y la vegetación halófila, en las áreas de colindancia con la Sierra de La Giganta (Rzedowski 1983).

En los estados ubicados en la zona continental domina el desierto de Sonora, cuyas elevaciones promedian 350 m. Las temperaturas del desierto de Sonora, una de las regiones más cálidas y secas en Norteamérica, exceden los 38 ° C. Los inviernos tienen temperaturas promedio entre 10° y 16° C. La mayor parte del desierto recibe menos de 250 mm de precipitación al año.; la mayor humedad de la región proviene del subsuelo o de distintos ríos, el Río Colorado, o el Yaqui, los cuales llegan al desierto desde zonas altas adyacentes. Por su parte, Sinaloa y Nayarit muestran una fuerte influencia de la Sierra Madre Occidental, alcanzando altitudes hasta 3000 m snm. Los tipos de vegetación dominante son la selva baja caducifolia, matorral crasicaula, matorral xerófito y los bosques de pino-encino (Álvarez-Borrego 1983; Rzedowski 1983) (Anexo 1).

Compilación de información

Se generó una base de datos de las subespecies de mamíferos terrestres con información recopilada de colecciones científicas nacionales [Colección Nacional de Mamíferos, UNAM (CNM); Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Colección del Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz (CIBNOR), Colección del CICESE de Ensenada, B.C. (CICESE)], e internacionales, como University of Kansas Museum of Natural History (KU), University of California-Berkeley Museum of Vertebrate Zoology (MVZ) y California Academy of Science (CAS). Debido a que esta región contiene un alto

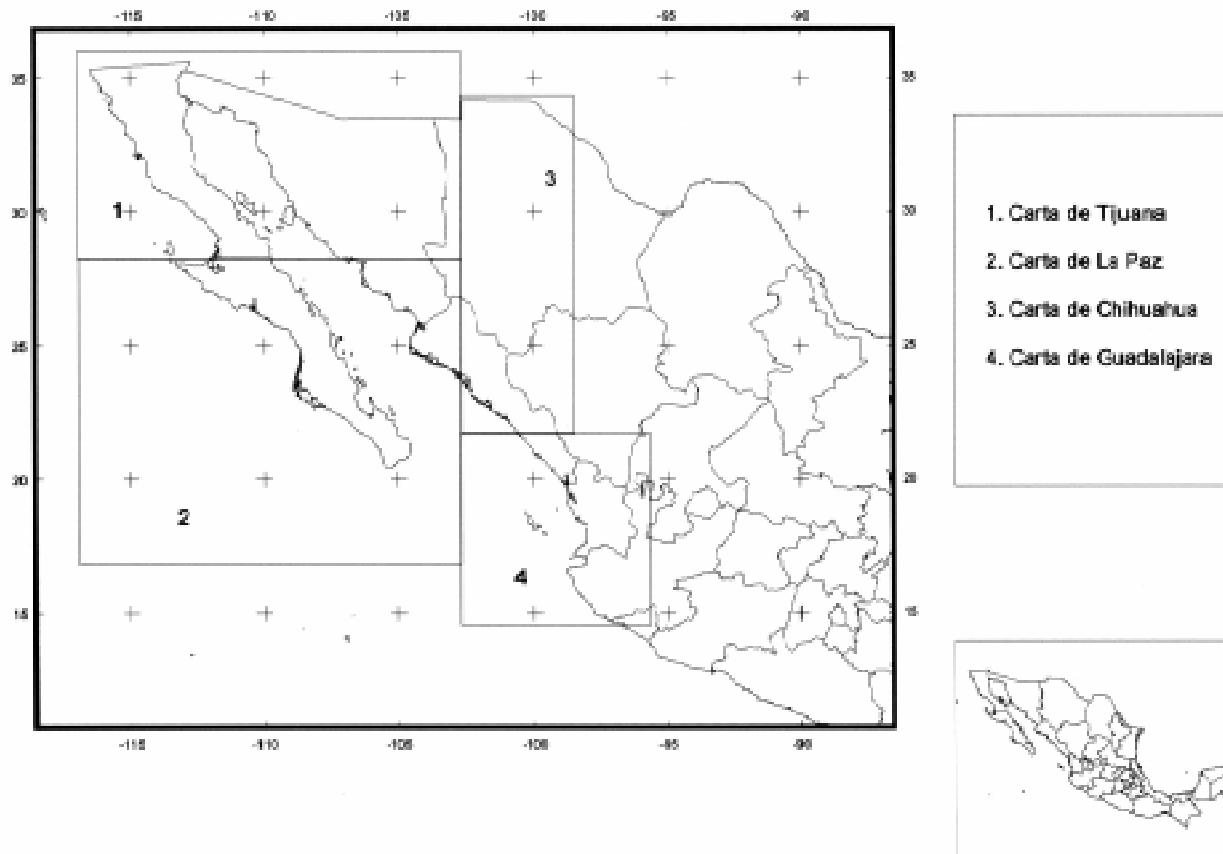


Fig. 1. Localización del área de estudio de la región del Golfo de California que incluye a los estados de Baja California y Baja California Sur (Península de Baja California) y Sonora, Sinaloa y Nayarit.

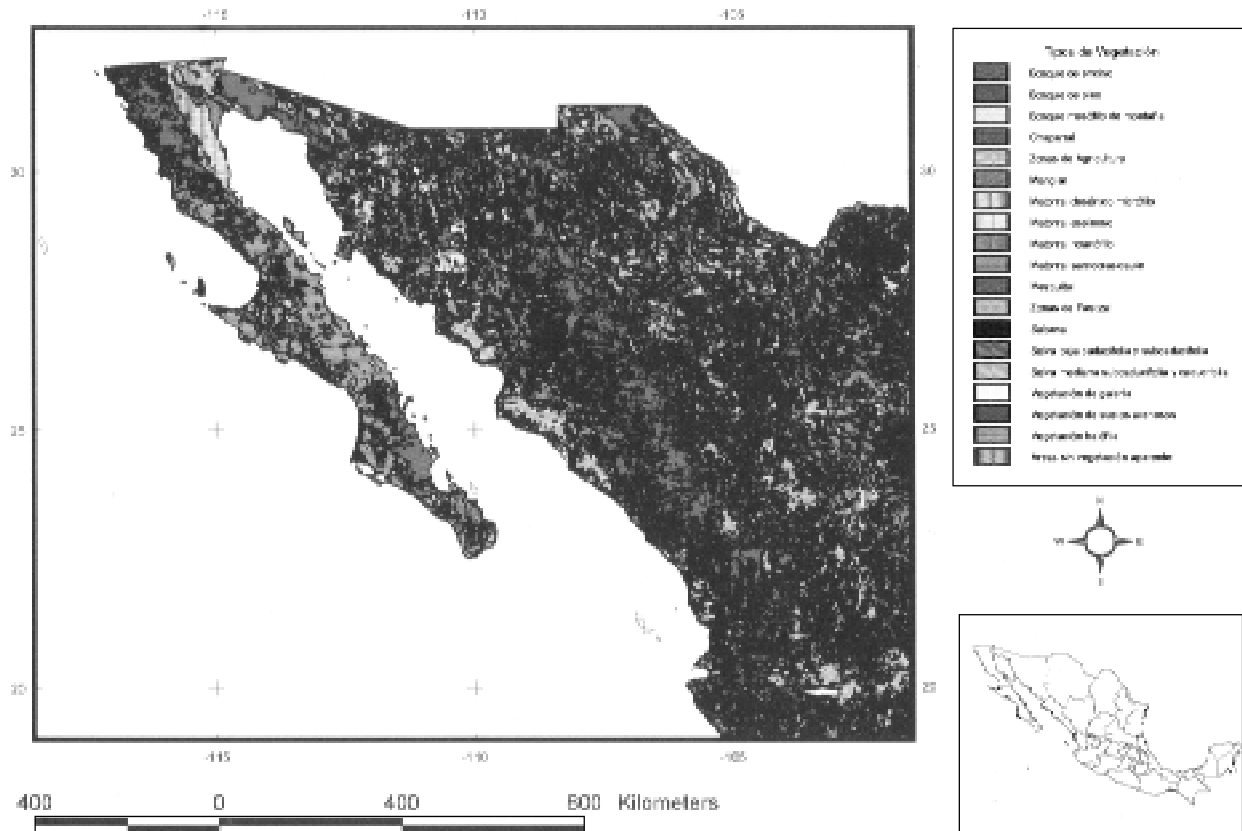


Fig. 2. Tipos de vegetación en la región del Golfo de California, de acuerdo con INEGI (1998, modificado por CONABIO), usados en el análisis de distribución de los mamíferos terrestres.

endemismo de subespecies, se decidió usar este nivel taxonómico para efectuar los análisis de distribución (Álvarez-Castañeda & Patton 1999).

Todas las localidades de colecta incluidas en la base fueron ubicadas con referencia geográfica, ya fuera corroborando datos geográficos existentes, o utilizando cartografía de INEGI escala 1:50000 y 1:10000. Las localidades que no se ubicaron con una referencia geográfica fueron eliminadas de la base de datos (alrededor del 10% de los datos originales). La base de datos incluyó un total de 584 localidades con referencia geográfica y 1542 registros de especies.

Las localidades de colecta ubicadas a menos de 5 km de un poblado, se refirieron con los datos geográficos de éste. Las localidades de colecta fueron transformadas a coordenadas geográficas decimales. Se usó la versión del sistema de información geográfico (SIG) PC ARC/Info 3.5. Se utilizaron las cartas temáticas escala 1:1000 000 para los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit (INEGI 1988), que se encuentran en las siguientes cartas: La Paz (Baja California Sur y parte de Sinaloa), Tijuana (Baja California y Sonora), Chihuahua (parte central del estado de Sinaloa) y Guadalajara (parte sur de Sinaloa y Nayarit) (Fig. 1). La información de las variables abióticas (precipitación y topografía) y bióticas (tipos de vegetación) se obtuvieron directamente de los mapas del INEGI. En el caso de la topografía, los intervalos de altitud se dividieron cada 400 m, ya que dada la escala de la carta, se facilitaba la edición y el manejo de los datos (Anexo 1). Las cartas se digitalizaron utilizando una tableta de digitalización modelo HI - 9 000 de Houston Instruments, para su posterior edición, transformación y proyección en el SIG PC ARC/Info.

La sobreposición de las localidades de colecta con la cartografía de las variables abióticas y bióticas resultó en una matriz de presencia y ausencia de subespecies. Se realizó un análisis del modelo lineal generalizado GLIM v. 3.77 (Crawley 1993), donde a las variables abióticas y bióticas se les denominó factores y a los intervalos de altitud, de precipitación y tipo de vegetación, niveles (Anexo 1). La flexibilidad y generalidad de GLIM busca una aproximación alternativa al análisis estadístico, de manera que su atención se centra en la estimación de parámetros y la crítica al modelo elegido o supuesto, y no solamente en probar hipótesis (Crawley 1993). En el GLIM, el tamaño de la discrepancia entre el modelo y los datos es una medida de lo inadecuado de dicho modelo, se le denomina devianza; ésta se calcula a partir del cambio de la devianza total, conforme se van incorporando las matrices al modelo. Para cada matriz, se calculó la devianza total de los datos contenidos en ellas, así como la influencia de cada uno de los factores en esta devianza. De esta manera, se pudo calcular el porcentaje de influencia de cada uno de los factores sobre la frecuencia de presencia de las subespecies en los diferentes niveles. La significancia en los cambios de devianza se obtuvo con una prueba de X^2 .

Posteriormente, las matrices se sometieron a un análisis aditivo, donde se observó el cambio en la devianza al sumar el efecto de cada uno de los factores. Se realizó un análisis donde, en conjunto, se observó el efecto de la topografía, la

precipitación y el tipo de vegetación. Finalmente, las matrices se sometieron a un análisis anidado, donde se sumó el efecto de los factores, como en el caso del modelo aditivo. Se definió una jerarquía entre dos de los factores; en este caso, la precipitación y el tipo de vegetación, con preponderancia de la precipitación, ya que es la que tiene una marcada influencia sobre los tipos de vegetación presentes en cada región. Con estos análisis se obtuvieron los modelos que integran y combinan los factores bióticos y abióticos que mejor explican la distribución de las subespecies de mamíferos terrestres en esta región.

Resultados

La base de datos incluyó un total de 1542 registros de subespecies de mamíferos terrestres en 584 localidades, repartidas en los cinco estados de la región del Golfo de California. Los tipos de vegetación explicaron mejor la presencia de las subespecies, en relación a la precipitación y la topografía, al considerar los factores de manera individual, aunque no se observaron porcentajes superiores al 51% (Cuadro 1). Los intervalos de los factores abióticos que mejor explicaron la presencia de subespecies fueron los que se ubicaron entre 400 y 800 m, entre 800 y 1200 m,

Cuadro 1. Síntesis de resultados de los modelos lineales generalizados (GLIM) por carta temática, de los factores abióticos y bióticos considerados de manera independiente, en los análisis de distribución de las subespecies de mamíferos terrestres de la región del Golfo de California

Carta	Factor	% de explicación	
			X^2
La Paz	topografía	2.82	12.83 *; g.l. = 3
	precipitación	25	21.95 *; g.l. = 8
	vegetación	44.79	29.8 *; g.l. = 13
Tijuana	topografía	9.11	14.86*; g.l. = 4
	precipitación	15.92	18.54 *; g.l. = 6
	vegetación	19.18	37.15 *; g.l. = 18
Chihuahua	topografía	26.9	6.2 * ; g.l. = 3
	precipitación	9.74	no significativo
	vegetación	50.28	12.83 *; g.l. = 5
Guadalajara	topografía	16.49	12.83 * ; g.l. = 3
	precipitación	14.71	16.75 * ; g.l. = 5
	vegetación	24.28	21.95 * ; g.l. = 8

* $P < 0.05$

y entre 2000 y 2400 m, para la topografía, y de 0 a 100 mm, de 100 a 200 mm y de 600 a 700 mm, para la precipitación. Los tipos de vegetación que mejor explicaron la presencia de las subespecies de mamíferos terrestres fueron el matorral crasicaule, el matorral sarcocaula y la selva baja caducifolia.

Se observó que al sumar el efecto de los tres factores- modelo aditivo-, el porcentaje de explicación aumentó significativamente, aunque explicó solamente poco más del 50% (Cuadro 2). El modelo lineal generalizado, obtenido a partir de la anidación de los factores, explicó mejor la presencia de las subespecies, involucrando los tres factores de manera aditiva, más la presencia de un cuarto factor que resultó de la combinación o anidación de otros dos. El modelo GLIM anidado que explicó mejor la presencia de las subespecies fue el siguiente (Cuadro 2):

$$S = \text{Topografía} + \text{Precipitación} + \text{Vegetación} + (\text{Precipitación} / \text{Vegetación})$$

en donde, S es el número de subespecies de mamíferos terrestres.

Cuadro 2. Síntesis de resultados de los modelos lineales generalizados (GLIM) para los análisis aditivo y anidado, en la distribución de las subespecies de mamíferos terrestres de la región de Baja California. Para cada carta temática, el primer modelo representa el aditivo y el segundo, el anidado, respectivamente.

		χ^2	
La Paz	T + P + V	51.60	29.81*; g.l. = 13
	T + P + V + (P / V)	100	42.31*; g.l. = 18
Tijuana	T + P + V	29.07	37.15*; g.l. = 18
	T + P + V + (P / V)	100	49.72*; g.l. = 23
Chihuahua	T + P + V	34.05	7.77*; g.l.= 4
	T + P + V + (P / V)	100	24.73*; g.l. = 13
Guadalajara	T + P + V	23.51	26.12*; g.l.. = 8
	T + P + V + (P / V)	98.24	48.26*; g.l. = 22

* $P < 0.05$

(T = topografía; P = precipitación; V = vegetación).

Discusión

Se elaboró un modelo para explicar la distribución de las especies a partir del porcentaje de explicación de cada uno de los factores. Al considerar los factores abióticos y bióticos, de manera individual, la importancia, en orden decreciente, fue la siguiente: tipos de vegetación > precipitación > topografía. Sin embargo, la explicación de la presencia de subespecies, alcanzó valores de 2 a 50%. Los modelos GLIM aditivos—e.g., topografía + precipitación + tipos de vegetación—incrementaron el porcentaje de explicación, alcanzando valores entre 20 y 50% (Cuadro 2). No obstante, los modelos GLIM anidados, que incluyeron el componente aditivo de los tres factores, más un componente anidado de la precipitación y tipos de vegetación, explicaron la totalidad de la presencia de las subespecies de mamíferos terrestres (Cuadro 2). Los resultados de los modelos anidados sugieren una compleja interacción entre factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución de las subespecies de mamíferos terrestres en la región del Golfo de California. Se ha observado que factores abióticos y bióticos influyen en la distribución de los mamíferos terrestres en otras regiones, aunque hay poca evidencia documentada de la interacción de dichos factores con la distribución de la mastofauna (Heaney & Lomolino 2001; Sánchez-Cordero 2001).

La posibilidad de utilizar técnicas complementarias o alternativas a los sistemas de información geográfica, como son los modelos lineales generalizados, permite el diseño de modelos en los cuales no sólo se reconozcan las interacciones entre los factores, sino que se elaboren combinaciones de ellos—e.g., modelos aditivos y anidados—. Más aún, al no constituir el GLIM en sí un método de regresión lineal, no tiene la desventaja de esos métodos en cuanto a establecer predicciones a partir de conteos negativos—e.g., ausencias del taxón referido en un área determinada (Guisan & Zimmermann 2000).

El tipo de combinaciones posibles generadas entre factores bióticos y abióticos puede establecer relaciones similares a las que se encuentran en modelos de simulación de un “nicho ecológico fundamental” (Stockwell & Peters 1999). Quizá el reto más importante consista en determinar cuáles variables bióticas y abióticas sean las más importantes en influir en la distribución geográfica de las especies. El presente estudio consideró tres variables o factores; dos abióticas, que fueron la precipitación y la topografía, y una biótica, el tipo de vegetación. Es posible que estas variables no sean las únicas—o quizá las más importantes— en delimitar las distribuciones de una diversidad compleja como la mastofauna terrestre de la región del Golfo de California. Sin embargo, los modelos GLIM anidados pueden servir como una base de información para generar hipótesis sobre distribuciones particulares de especies y subespecies de la región.

Actualmente, se han popularizado métodos novedosos para modelar la distribución de especies, como son el BIOCLIM, los algoritmos genéticos y modelos estadísticos multivariados (Sánchez-Cordero *et al.* 2001). Estos métodos toman en cuenta las condiciones bióticas y abióticas de las localidades donde ha sido colectada

una especie para modelar su nicho ecológico fundamental (Hutchinson 1957; Peterson *et al.* 1999). El reto consiste ahora, en probar los modelos con datos de campo para distinguir cuáles predicen mejor la distribución de una especie.

Agradecimientos. A R. Martínez-Gallardo, por su ayuda en los análisis estadísticos, y a E. Martínez-Meyer, por su colaboración en la digitalización de las cartas. R. Martínez-Gallardo y M. Briones-Salas leyeron el manuscrito y aportaron valiosas sugerencias. P. Illoldi Rangel obtuvo un apoyo de beca de CONACYT.

Literatura citada

- ÁLVAREZ-BORRERO, S. 1983. Gulf of California. p. 427-449. *In*: B. H. Ketchum (ed.) *Estuaries and Enclosed Seas*. Amsterdam.
- ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, S., & J. L. PATTON. 1999. *Mamíferos del Noroeste de México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. La Paz, Baja California Sur. México. 583 p.
- ARITA, H., F. FIGUEROA, A. FRISCH, P. RODRÍGUEZ & K. SANTOS DEL PRADO. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology* 11:92-100.
- AUSTIN, M. P., A. O. NICHOLS & C. R. MARGULES. 1990. Measurement of the realized qualitative niche: environmental niches of five *Eucalyptus* species. *Ecological Monographs* 60:161-177.
- AZUARA, I. & L. BOJÓRQUEZ-TAPIA. En prensa. Integrating stochastic models into a GIS for environmental planning. *Environmental Planning*.
- BOJÓRQUEZ-TAPIA, L., I. AZUARA, E. EZCURRA & O. FLORES. 1995. Identifying conservation priorities in México through geographical information systems and modeling. *Ecological Applications* 5:215-231.
- CEBALLOS, G. & P. RODRÍGUEZ. 1993. Diversidad y conservación de los mamíferos de México. II. Patrones de endemidad. p. 87-108. *In*: R. Medellín, & G. Ceballos (eds.). *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Publicaciones Especiales No. 1. Asociación Mexicana de Mastozoología, México, D.F.
- CEBALLOS, G., P. RODRÍGUEZ & R. A. MEDELLÍN. 1998. Assessing conservation priorities in megadiverse México: Mammalian diversity, endemicity, and endangerment. *Ecological Applications* 8:8-17.
- CRAWLEY, M. J. 1993. *Methods in ecology: GLIM for ecologists*. J. H. Lawton & G. E. Likens (eds.). Blackwell, Oxford. 379 p.
- FERRUSQUÍA-VILLAFRANCA, I. Geology of México: a synopsis. 1993. p. 3-108. *In*: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa (eds.) *Biological diversity of México: origins and distribution*. Oxford University Press.
- FIELDING, A. H. & P. F. HAWORTH. 1995. Testing the generality of bird-habitat models. *Conservation Biology* 9:1466-1481.
- GUISAN, A. & N. E. ZIMMERMANN. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling* 135:147-186.
- HEANEY, L. H. & M. LOMOLINO (eds.). 2001. Diversity patterns of small mammals along elevational gradients. Special issue, *Global Ecology and Biogeography* 10(1).

- HOSMER, D. W. & S. LEMESHAW. 1989. *Applied logistic regression*. Wiley and Sons, New York.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22:415-427.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1998. Carta de uso de suelo y vegetación, escala 1:1000 000, México, Carta de topografía, escala 1:1000 000, México. Carta de precipitación, escala 1:1000 000, México.
- OPENSHAW, S. 1991. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: Maguire, D. J., M. F. Goodchild & D. W. Rhind (eds.). *Geographic Information Systems, vol. 1. Principles*. Longman Scientific and Technical, Essex.
- PAGEL M. D., R. MAY & A. R. COLLIE. 1991. Ecological aspects of the geographical distributions and diversity of mammalian species. *American Naturalist* 137:791-815.
- PEREIRA, J. M. & R. M. ITAMI. 1991. GIS-based habitat modelling using logistic multiple regression: a study of the Mt. Graham red squirrel. *Photogrammetry, Engineering, and Remote Sensing* 57:1475-1486.
- PETERSON, A. T., J. SOBERÓN & V. SÁNCHEZ-CORDERO. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285:1265-1267.
- RAHBEK 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in Neotropical birds. *American Naturalist* 149:875-902.
- RZEDOWSKI, J. 1983. *Vegetación de México*. Limusa, México, D.F.
- SÁNCHEZ-CORDERO, V. & E. MARTÍNEZ-MEYER. 2000. Museum specimen data predict crop damage by tropical rodents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97:7074-7077.
- SÁNCHEZ-CORDERO, V., A. T. PETERSON & P. ESCALANTE-PLIEGO. 2001. Modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. p. 359-379. In: H. Hernández, A. García-Aldrete, F. Álvarez & M. Ulloa (comp.) *Enfoques Contemporáneos en el Estudio de la Diversidad Biológica*. Instituto de Biología, UNAM y Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- SÁNCHEZ-CORDERO, V. 2001. Elevational gradients of diversity for rodents and bats in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology & Biogeography* 9:63-76.
- SCOTT, J. M., B. CSUTI, J. D. JACOBI & J. E. ESTES. 1987. Species richness: a geographical approach to protecting future biological diversity. *BioScience* 37: 782-788.
- STOCKWELL, D. & D. PETERS. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Geographic Information Science* 13: 143-158.

Recibido: 14. xii. 2001

Aceptado: 10. x. 2002

Apéndice 1. Sinopsis de la información de las variables abióticas— topografía (A) y precipitación (B) y bióticas (C) tipos de vegetación— de la región del Golfo de California, que incluye a los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. Las variables bióticas y abióticas se consideraron como factores y los intervalos, como niveles, en los modelos lineales generalizados (véase Métodos).

A	B
Intervalos altitudinales (m.s.n.m.)	Intervalos de precipitación (mm)
0 – 400	100 – 200
400 – 800	200 – 300
800 – 1200	300 – 400
1200 – 1600	400 – 500
1600 – 2000	500 – 600
2000 – 2400	600 – 700
	700 – 800
	800 – 1000
	1000 – 1200
	1200 – 1400
C	
Tipos de vegetación	
Agricultura de riego	Matorral crasicaule
Agricultura de temporal	Vegetación halófila
Áreas de riego suspendido	Matorral desértico micrófilo
Pastizal natural	Matorral desértico rosetófilo
Pastizal inducido	Vegetación de desiertos arenosos
Pastizal cultivado	Vegetación de dunas costeras
Chaparral	Vegetación secundaria
Bosque de pino – encino	Vegetación de galería
Selva baja caducifolia	Áreas sin vegetación aparente
Manglar	Pastizal halófilo
Mezquital	Matorral subtropical
Matorral sarcocaule	Agricultura de humedad
Matorral sarco – crasicaule de neblina	Selva mediana subcaducifolia