

Informe final* del Proyecto Q068
Patrones geográficos de diversidad de los mamíferos terrestres de América del Norte

Responsable: Dr. Héctor Takeshi Arita Watanabe
Institución: Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigaciones en Ecosistemas
Laboratorio de Macroecología
Dirección: Antigua Carretera a Pátzcuaro # 8701, Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Morelia, Mich, 58190 , México
Correo electrónico: arita@oikos.unam.mx
Teléfono/Fax: Tel: 5623 2814 ext. 32814, 01 443 322 2814
Fecha de inicio: Noviembre 2, 1998
Fecha de término: Julio 9, 2001
Principales resultados: Base de datos, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Arita Watanabe, H. T. 2001. Patrones geográficos de diversidad de los mamíferos terrestres de América del Norte. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. Q068.** México, D.F

Resumen:

El presente proyecto plantea la extensión de la base de datos del proyecto P075 al continente americano (Canadá, Estados Unidos, México y Centroamérica). Esta base de datos daría perspectivas más completas a los estudios sobre la diversidad en México, proveyendo el contexto necesario para identificar áreas que destaquen por su biodiversidad no sólo a nivel de país sino de todo el continente.

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

***PATRONES GEOGRÁFICOS DE DIVERSIDAD
DE LOS MAMÍFEROS TERRESTRES DE
AMÉRICA DEL NORTE***

INFORME FINAL

Preparado para:

Comisión Nacional para el
Conocimiento y uso de la
Biodiversidad (CONABIO) y
Fondo Mexicano para la Conservación
de la Naturaleza (FMCN)

Por:

Dr. Héctor Arita Watanabe, Investigador Titular "B"
Departamento de Ecología de los Recursos Naturales
Instituto de Ecología, UNAM

Apartado Postal 27-3 (Xangari)
58089 Morelia, Michoacán
Teléfono (4) 320 05 53; FAX (4) 3200830
Extensiones UNAM 56 23 27 03
arita@oikos.unam.mx

MAYO 2000

INTRODUCCIÓN

Los mamíferos de Norteamérica (en este contexto definida como el área continental entre Alaska y Canadá y la frontera sur de Panamá), han sido un grupo modelo para el análisis de los patrones de distribución de las especies y de la diversidad (Hagmeier & Stults 1964, Simpson 1964, Wilson 1974, Rapoport 1975, McCoy & Connor 1980, Pagel *et al.* 1991, Kaufman 1995, Brown & Lomolino 1998, Lyons & Willig 1999, entre otros). La mayoría de estos estudios se han enfocado a medir la llamada densidad de especies (el número de especies en áreas equivalentes en diferentes sitios del continente). Para ello, se han usado cuadros de un tamaño constante, contando el número de especies cuya distribución intersecta un cuadro dado.

La misma metodología ha sido usada para definir áreas importantes para la conservación de los mamíferos. Para México, por ejemplo, se han usado cuadros de 2 x 2 grados de latitud y longitud para definir zonas de alta diversidad de especies o de alta concentración de especies endémicas (Ceballos & Navarro 1991; Ceballos & Rodríguez 1993, Ceballos *et al.* 1998). Asimismo, otro estudio utilizó rectángulos de 2 x 1 grados para definir provincias faunísticas basadas en la distribución de los mamíferos de México (Ramírez-Pulido & Castro-Campillo 1993). Finalmente, se han usado cuadros de 0.5 x 0.5 grados para encontrar zonas con alta diversidad de especies con área de distribución restringida (Arita *et al.* 1997), para identificar áreas importantes en la conservación de murciélagos (Arita & Ortega 1998, Arita & Santos del Prado 1999), para definir regiones biogeográficas (Ortega & Arita 1998), para analizar la distribución geográfica de diversidad beta (Rodríguez 2000) y para analizar patrones geográficos de diversidad de masas corporales (Arita & Figueroa 1999).

La mayoría de los trabajos mencionados sufren de algunas limitaciones propias de las bases de datos que tradicionalmente se utilizan para analizar los patrones geográficos de diversidad. Entre otros problemas, esas bases: (1) no son flexibles para analizar patrones a diferentes escalas, (2) están enfocadas únicamente al conteo de especies, sin tomar en cuenta otros criterios de diversidad biológica, (3) son difíciles de relacionar con variables tales como los factores ambientales y la heterogeneidad, (4) presentan interfaces poco “amigables” para los usuarios y (5) están estructuradas de tal manera que es difícil realizar cambios en la información y actualizar los datos.

Dados estos antecedentes, el propósito del presente proyecto fue crear una base de datos confiable y versátil que permita analizar los patrones geográficos de la diversidad de los mamíferos de América del Norte. Tomando como base la experiencia adquirida en la elaboración de una base de datos similar para los mamíferos de México (proyecto CONABIO P075, desplegada en la página WEB de la CONABIO), se construyó esta nueva base de datos extendiendo el ámbito a todo el subcontinente Norteamericano. Para ello se usó la información más reciente sobre la taxonomía y distribución de los mamíferos de América del Norte (Wilson & Ruff 1999) y se aprovecharon algunos avances recientes en la metodología de elaboración de bases de datos. El resultado es una base de datos completa para las 833 especies de mamíferos terrestres que habitan la región. El presente es el informe sobre las actividades que se han realizado para lograr este producto.

OBJETIVOS

Como se asentó en la propuesta presentada a la CONABIO y al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), el objetivo general del proyecto fue producir una base de datos confiable y versátil con la información taxonómica, ecológica y de conservación de los mamíferos de América del Norte. Los objetivos particulares fueron:

1. Elaborar una lista actualizada de los mamíferos de América del Norte, incluyendo datos sobre su taxonomía, ecología y estado de conservación.
2. Recabar la información más reciente para confeccionar mapas de distribución actualizados para todas las especies.
3. Diseñar una estructura de base de datos flexible y confiable, además de compatible con las bases de la CONABIO, que permitiera incorporar la información para todas las especies.
4. Realizar análisis generales preliminares sobre patrones de diversidad en el subcontinente para poner a prueba el funcionamiento de la base de datos.

MÉTODOS

El proyecto se dividió en cinco fases metodológicas: (1) elaboración de una lista actualizada de los mamíferos de América del Norte, (2) confección de mapas de distribución actualizados, (3) construcción del sistema de bases de datos, incluyendo la información taxonómica, de distribución, ecológica y de conservación, (4) revisión y verificación de la base de datos, (5) análisis preliminares sobre los patrones geográficos de diversidad, con énfasis en México.

Elaboración de una lista actualizada de los mamíferos de América del Norte

Para la elaboración de la lista completa de los mamíferos de América del Norte se usaron varias fuentes. En general se usó como referencia principal la compilación de Wilson & Reeder (1993) para verificar nomenclatura y distribución general, pero en varios casos se echó mano de literatura especializada más reciente. Ese mismo libro se usó como referencia básica para homogenizar la nomenclatura y para eliminar problemas de sinonimia.

Se aprovechó la base de datos generada a través del proyecto P075 de la CONABIO para los mamíferos de México (Arita & Ceballos 1997), actualizando algunos detalles de nomenclatura. Para los mamíferos de Centroamérica se usó como punto de partida la guía de campo de Reid (1997). En este caso se realizaron revisiones en la literatura primaria para verificar algunos de los datos taxonómicos y de distribución que aparecen en este libro. Gracias a la colaboración del Dr. Don E. Wilson, de la Institución Smithsonian de Washington, D. C., se contó con anticipación con la información taxonómica que recientemente apareció en el *Smithsonian book on North American mammals* (Wilson & Ruff 1999) para los mamíferos de Estados Unidos y Canadá. De esta manera, conjuntado

datos de diferentes fuentes, fue posible compilar una lista completa de los mamíferos de todo el subcontinente con información actualizada hasta finales de 1999 (Anexo 1).

Elaboración de mapas de distribución actualizados

Se elaboró un mapa base para dibujar las áreas de distribución de todas las especies de mamíferos terrestres de América del Norte (Anexo 9). Para ello se empleó una proyección de área constante para eliminar la distorsión causada por el gradiente latitudinal.

Para cada especie se dibujó un área de distribución basada en los puntos marginales de registro, en forma similar a la empleada por Hall (1981) (Anexo 10). Dada la naturaleza, propósitos y extensión geográfica del presente proyecto, esta estimación del área de distribución es la más adecuada. Aunque existen otros criterios (ver discusión en Gaston 1996), basados en puntos de registro o en la extensión latitudinal, estos no resultan aplicables al tipo de datos que se emplearon para el presente proyecto. El método empleado sobre-estima el área real de distribución de las especies, pero el error es menor del que surgiría de la sub-estimación que otros métodos generan. Los mapas presentados como resultado de este proyecto se pueden considerar como áreas máximas de distribución histórica de las especies.

Como puntos de partida para la confección de los mapas se empleó la información generada en el proyecto P075 para los mamíferos de México y la presentada en Hall (1981) para el resto de las regiones. La información para Centroamérica se actualizó con los mapas de Reid (1997), verificados con información proveniente de la literatura primaria sobre los mamíferos de la región. Para los murciélagos mexicanos se ajustaron los detalles de los mapas usando la información en Medellín *et al.* (1997). Para Estados Unidos y Canadá se usaron los mapas de Wilson & Ruff (1999), que fueron puestos a nuestra

disposición desde el inicio del proyecto por el Dr. Wilson. En algunos casos se emplearon los mapas correspondientes a este libro desplegados en la página WEB del Instituto Smithsonian (URL: <http://www.nmnh.org>), ya que éstos contienen detalles que los mapas del libro no muestran.

Construcción de bases de datos

Tal como se planteó en la propuesta original, se elaboraron bases de datos en forma modular para recabar la información taxonómica, de distribución, ecológica y de conservación. La estructura de esas bases de datos se sustentó en la que resultó del proyecto P075 y que es compatible con los sistemas de la CONABIO. Más adelante en el proyecto, sin embargo, se constató la factibilidad de incorporar esa información dentro de un sistema integral de información que se desarrolló *ad hoc* para el proyecto. De todas maneras, para facilitar la presentación de la información dentro de este reporte y para dar coherencia a los informes parciales, se incluye la estructura de estas bases de datos (Anexos 2 a 6).

Con asesoría de la CONABIO se desarrolló un software *ad hoc* para la captura y despliegue de la información generada durante el proyecto. Este sistema SIGMA (Sistema de Información Geográfica de la Mamíferos de América, originalmente llamado SICAD), sustentado en el motor de bases de datos del programa *Access* de *Microsoft*, permite una captura rápida y con pocos errores de la información sobre la distribución de las especies. Asimismo, es suficientemente flexible como para incorporar información adicional, tal como los datos ecológicos y de conservación (Anexo 8).

Para la captura de la información sobre distribución se empleó una rejilla de más de 15,500 cuadros de área constante que se sobrepuso al mapa de distribución de cada especie

(Anexo 9). Usando SIGMA, que tiene incorporada esta rejilla, fue comparativamente sencillo capturar digitalmente la información vaciada en los mapas de distribución. El dato básico en el sistema es cada uno de los más de 490,000 registros que relacionan un identificador único por especie con un identificador único por cuadro. El identificador por especie permite ligar la información sobre distribución con los datos taxonómicos, ecológicos y de conservación. De igual forma, el identificador por cuadro hace posible una liga directa con datos geográficos, tales como temperaturas y precipitaciones promedio y de localización (latitud, longitud, altitud sobre el nivel del mar).

Aunque la información finalmente quedó integrada a SIGMA, para los propósitos del presente informe resulta conveniente discutir el contenido de las tablas que se plantearon originalmente en la propuesta presentada a CONABIO/FMCN (Anexos 2 a 6). La tabla **ECOLO**, tal como se planteó en la propuesta original, incluía el identificador por especie, un dato promedio de masa corporal por especie, una categoría de masa corporal basada en una escala logarítmica de base 2, una categoría de dieta y una categoría de hábito (categorías de dietas y hábitos definidas en el anexo XX). La tabla **CONSERVA** contenía también el identificador único por especie, así como su categoría de endemismo de acuerdo con su distribución en las diferentes unidades políticas de la región y su pertenencia a diferentes listas de especies críticas, de acuerdo con las legislaciones nacionales e internacionales (SEDESOL 1994, CITES, IUCN y US *Fish and Wildlife Service*).

Revisión y verificación de las bases de datos.

La implementación del sistema SIGMA requirió de invertir buena parte del tiempo en la revisión de la veracidad y exactitud del sistema de bases de datos. El procedimiento consistió en realizar búsquedas aleatorias en diferentes partes del sistema para detectar

errores u omisiones evidentes. Los casos más comunes fueron registros de especies fuera de su distribución conocida o zonas particulares con riquezas de especies muy por arriba o muy por abajo de los valores que una estimación experta podría predecir.

Análisis generales de los patrones geográficos de diversidad en el continente, con énfasis en México.

Se planteó en la propuesta original la presentación de resultados preliminares de análisis sobre la distribución geográfica de la diversidad de los mamíferos de América del Norte. Se planteó usar diversos criterios para tal fin. Dado que el diseño del sistema SIGMA y la construcción de la base de datos correspondiente tomó más tiempo del anticipado, los análisis que se presentan en este informe son muy preliminares y tienen el propósito simple de presentar el potencial que tiene el uso del sistema SIGMA.

Usando *Access*, se computó el número de especies que potencialmente pueden estar presentes en cada uno de los cuadros que componen el sistema usado en SIGMA. Esto es equivalente a la llamada densidad de especies que se ha estudiado en diferentes formas desde los años 60s (ver introducción). Se generó una gráfica de distribución de frecuencias para examinar la riqueza de especies en diferentes sitios y se enfatizó el caso de México, para mostrar la utilidad de la base de datos para poner en contexto continental la diversidad de mamíferos de México.

En otro análisis, se computó el número de cuadros ocupados por cada una de las 765 especies de mamíferos terrestres del continente, lo que es un estimador del área de distribución, o más precisamente de su “ocupancia” (Gaston 1996). Se generó un histograma usando una escala logarítmica para estas áreas de distribución para comparar los

resultados con las distribuciones teóricas de frecuencias, que predicen una forma log-normal.

Finalmente, como último análisis preliminar se generó una gráfica del número de especies presentes en un cuadro dado y la latitud de tal cuadro. La idea fue examinar en forma general el gradiente latitudinal de especies (Lyons & Willig 1999). Por supuesto, en este análisis no se controla el efecto del ancho del continente, ni de la escalas, ni de los factores ambientales. El propósito del ejercicio fue, simplemente, mostrar la potencialidad del sistema para realizar análisis más sofisticados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mamíferos de América del Norte

La fauna de mamíferos del subcontinente norteamericano (desde Alaska y Canadá hasta Panamá) consta de 833 especies, repartidas en 12 órdenes, 55 familias y 260 géneros (Anexo 1). Este número incluye 765 especies terrestres y 68 marinas, pero excluye a las especies de las islas del Caribe. Un total de 142 especies son endémicas de México, 222 se encuentran únicamente al norte de México y 107 sólo en Centro América. Solamente 70 especies son comunes a Estados Unidos, México y Centroamérica. Aunque la base de datos electrónica incluye las 833 especies, los análisis del presente reporte, por su naturaleza biogeográfica no incluyen las especies acuáticas o marinas.

	Total mundial	Norteamérica	México
ORDENES	26	12	12
FAMILIAS	134	55	45
GENEROS	1135	260	188
ESPECIES	4629	833	504

Tabla 1. Composición taxonómica de las faunas de mamíferos del mundo (datos de Wilson & Reeder 1993), de Norteamérica (datos del presente proyecto) y de México (Arita & Ceballos 1997).

En una comparación con la fauna mundial de mamíferos (Tabla 1) resulta evidente la magnitud de la diversidad en Norteamérica. Cerca de la mitad (46.2 %) de todos los órdenes de mamíferos están representados en el subcontinente, y 41.0 % de las familias se distribuyen en esa región. A nivel de género el porcentaje es del 22.9 %. Finalmente, de

las 4629 especies existentes de mamíferos, el 18 % de ellas pueden encontrarse en algún lugar de Norteamérica.

Resulta también ilustrativa una comparación de la fauna del subcontinente con la de México, nación que por su elevada riqueza biológica es considerada como uno de los países de megadiversidad. Los dos millones de kilómetros cuadrados de México corresponden aproximadamente al 7.4 % del área total incluida en este proyecto. En esa porción del subcontinente se encuentran los 12 órdenes, 45 (81.8 %) de las familias, 188 (72.3 %) de los géneros y 504 (60.5 %) de las especies de América del Norte. Dado que la relación número de especies / área no es lineal sino potencial (Rosenzweig 1995), una comparación válida tiene que examinar áreas de diferentes tamaños y poner a prueba estadísticamente la desviación (positiva o negativa) que pudiera haber de un sitio en particular con respecto a una regresión en escala doble logaritmo. Al hacer esa comparación entre México y otros lugares de América del Norte, se ha demostrado que los sitios en México no son particularmente ricos en especies, pero el país como conjunto sí lo es (Arita 1994, 1997). Los datos nuevos que resultan del presente proyecto permitirán corroborar o rectificar esa conclusión a la luz de información más precisa y actualizada.

La base de datos presentada aquí permite también hacer comparaciones respecto a la composición de las faunas de mamíferos con base en sus categorías de alimentación (Figura 1). Por ejemplo, en una comparación de la fauna de México con la de la totalidad del subcontinente las diferencias más obvias son que algunas categorías de dieta no están representadas en la fauna mexicana, mientras que otras (como la de granívoros) están representadas en un porcentaje mayor que el del subcontinente entero. Esta diferencia es

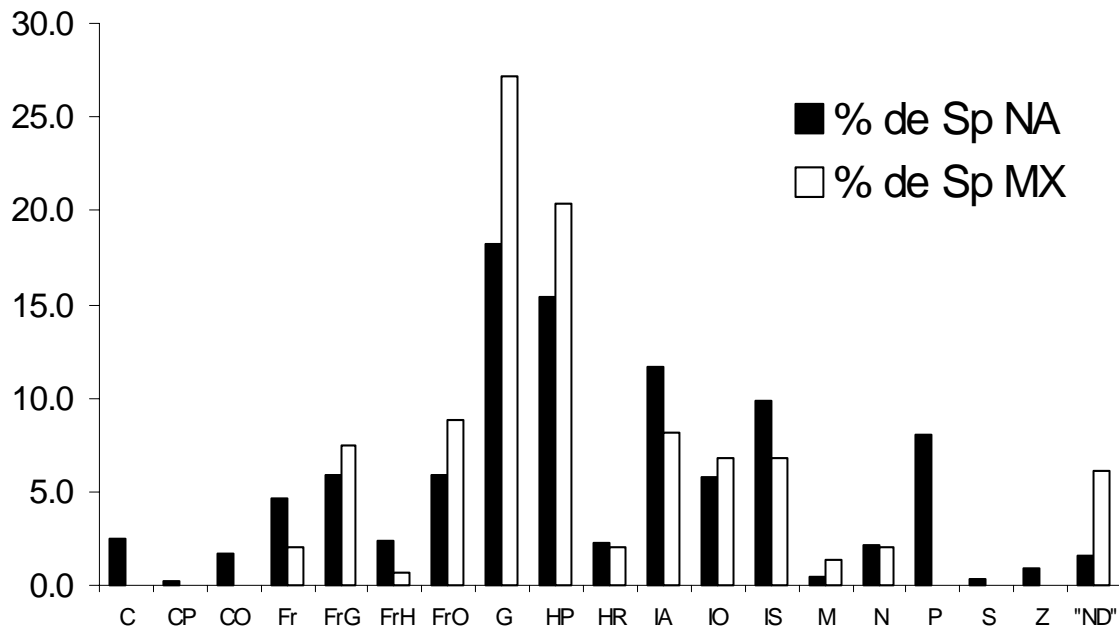


Figura 1. Distribución de frecuencias de las especies de mamíferos de México y de América del Norte en las categorías de dietas descritas en el Anexo 7.

explicable por la gran diversidad que han alcanzado los ratones, particularmente del género *Peromyscus*, en México.

Estos patrones, que resultan evidentes al comparar áreas de gran extensión, pueden ser de gran interés en estudios de ecología de comunidades y de macroecología. Usando modelos nulos específicamente diseñados para cada problema (Gotelli & Graves 1996), es posible generar distribuciones de frecuencias aleatorias para ensambles de especies de diferentes tamaños. Los datos para sitios reales (por ejemplo uno de los cuadros en la base de datos) pueden entonces ser comparados con esas distribuciones estadísticas. El diseño de la base de datos y del sistema de análisis desarrollado durante el presente proyecto facilitarán la realización de estudios de este tipo para diferentes lugares de América del Norte.

Resultados similares se obtienen al hacer una comparación de la fauna mexicana con la de Norteamérica en términos de las categorías de hábito definidas en el Anexo 7 (Figura 2).

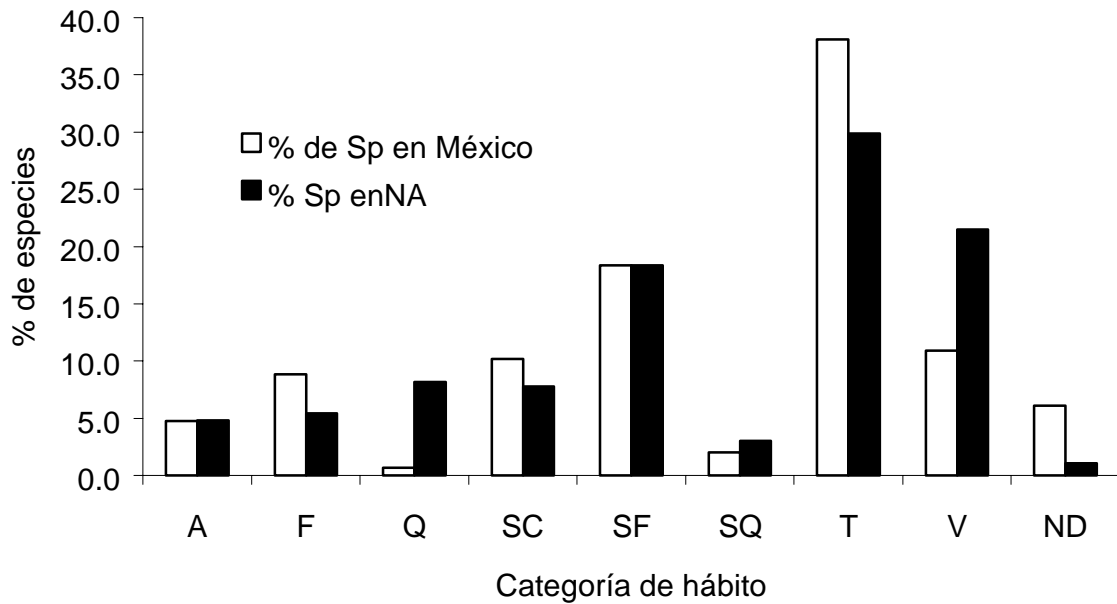


Figura 2. Distribución de frecuencias de las especies de mamíferos de México y América del Norte en las categorías de hábitos descritos en el Anexo 7.

Aunque el número de categorías de hábito es menor que las de dietas, es de todas maneras posible realizar comparaciones entre sitios. Por ejemplo, es claro que la fauna de México posee menos especies acuáticas que el subcontinente. Igual que en el caso de las categorías de dieta, el diseño de la base de datos permitirá análisis estadísticos muy finos para comparar entre diferentes sitios.

Las áreas de distribución de los mamíferos de América del Norte

Uno de los parámetros más útiles en los estudios modernos de macroecología es el área de distribución de las especies (Brown *et al.* 1996, Gaston 1996, Colwell & Lees 2000). Asimismo, el conocimiento de los patrones en las áreas de distribución de las especies puede ser de gran utilidad en la planeación de la conservación biológica tanto a

nivel de especies como de ensambles de especies (Arita *et al.* 1997, Chanell & Lomolino 2000).

El paquete SIGMA desarrollado durante el presente proyecto es una herramienta eficaz en el análisis de las áreas de distribución de las especies. Con él resulta sencillo observar que los extremos de áreas de distribución entre los mamíferos de América del Norte son 1 y 11,189 cuadros. Hay 21 especies que fueron registradas en uno solo de los cuadros del sistema. Entre estas especies se encuentran auténticos microendémicos, con áreas de distribución totales de menos de 2,000 kilómetros cuadrados. Por ejemplo, el murciélago *Myotis cobanensis* se conoce de una sola localidad en Guatemala. Otras especies tienen distribución más amplia en América del Sur, pero apenas penetran en el subcontinente norteamericano. Tal es el caso del carnívoro *Speothos vanaticus*.

En el otro extremo se encuentran las especies de muy amplia distribución. Las especies con mayor número de cuadros registrados son por lo general taxones de distribución amplia en Canadá y el norte de los Estados Unidos, que son las zonas de mayor área dentro del subcontinente. Por ejemplo, el lobo gris (*Canis lupus*) llegó a tener una distribución total de 11,189 cuadros de nuestro sistema, es decir un 72.6 % del total del área de Norteamérica, lo que equivale a unos 19.6 millones de kilómetros cuadrados. Paradójicamente, el lobo gris ha sido extirpado de la inmensa mayoría de los sitios en los que alguna vez habitó, y la especie se considera en grave riesgo de extinción.

La distribución de frecuencias del número de cuadros ocupados por las especies en Norteamérica sigue una distribución similar a la log-normal (Figura 3), tal como sucede al analizar grandes extensiones (Brown *et al.* 1996, Gaston 1996). El promedio aritmético del área de distribución entre las 765 especies terrestres es de 670.71 cuadros (4.35 % del área

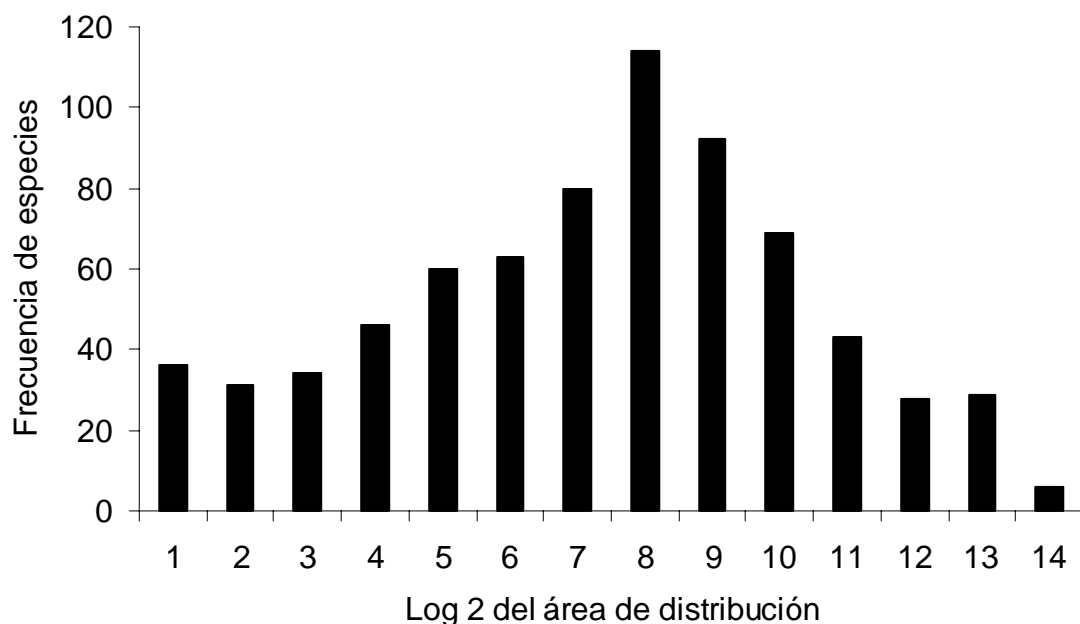


Figura 3. Distribución de frecuencias de las áreas de distribución de las 765 especies de mamíferos terrestres de América del Norte. Las categorías son valores logarítmicos base 2 del número de cuadros ocupados por las especies. La categoría 1, por ejemplo, incluye las especies distribuidas en uno o dos cuadros, mientras que la categoría 14 incluye las especies presentes en más de 8192 cuadros.

total, equivalente a aproximadamente 1.17 millones de kilómetros cuadrados). La mediana de la distribución está en 149 cuadros, lo que significa que la mitad de las especies se distribuyen en menos del 1.0 % del área de Norteamérica, equivalente a unos 261,000 kilómetros cuadrados. La moda de la distribución se encuentra en la categoría de entre 128 y 156 cuadros (0.80 y 1.01 % del área total del continente). Como puede apreciarse, la forma log-normal de la distribución de frecuencias hace que existan unas pocas especies con áreas de distribución muy amplias y un gran número de especies con áreas de distribución restringidas (Arita *et al.* 1997).

Patrones de riqueza de especies

Una de las aplicaciones más directas de SIGMA es el conteo de especies por sitios, es decir, el cálculo de la riqueza de especies, que es uno de los parámetros más simples para

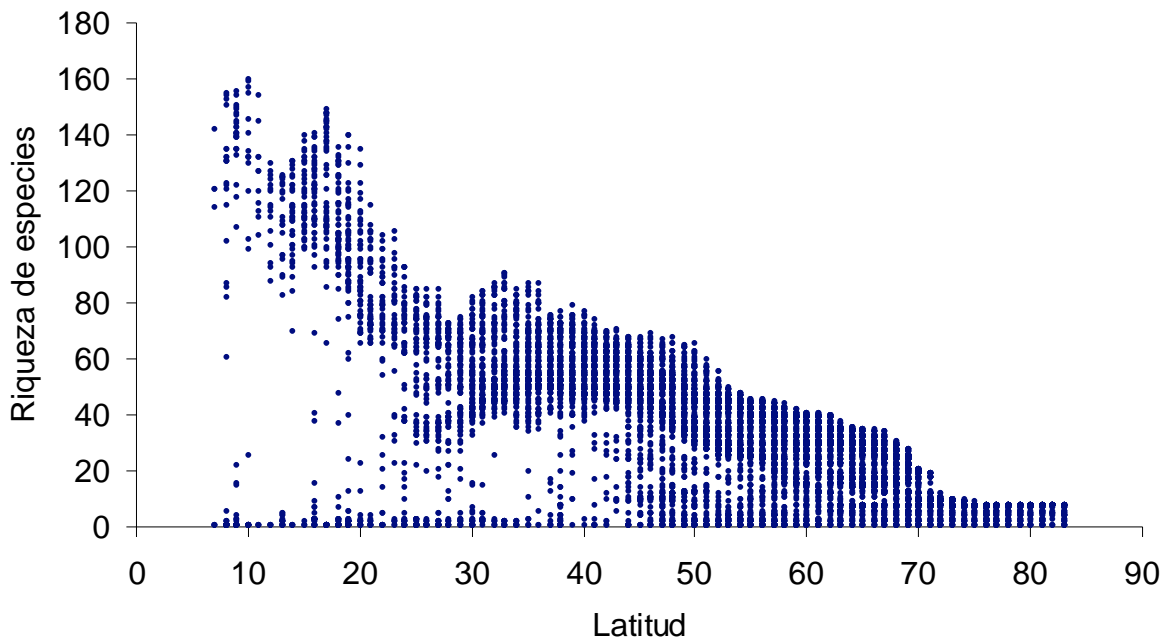


Figura 4. Relación entre la latitud en la que se encuentran los 15,412 cuadros del sistema y el número de especies registradas en esos cuadros.

cuantificar la biodiversidad (Myers *et al.* 2000). En nuestro sistema, los cuadros variaron entre una y 160 especies registradas. Algunos de los cuadros con sólo una especie realmente presentan esa riqueza: son los cuadros en el extremo norte de Canadá y Alaska. En otros casos, sobre todo los localizados en cuadros más cercanos al ecuador, el conteo de una o unas pocas especies resulta de la localización del cuadro en pequeñas penínsulas o en el caso de cuadros en los que sólo una pequeña porción de ellos está en tierra firme.

En el otro extremo, existen cuadros en los que se obtuvo registros de hasta 160 especies. La mediana de la distribución de frecuencias está en 29 especies, lo que significa que la mitad de los 15,412 cuadros tiene registros de menos de 29 especies. Este dato en sí mismo no nos indica gran cosa, ya que es evidente que existen muchos más cuadros a mayores latitudes (en Alaska y Canadá) que en Centroamérica, por lo que no es sorprendente que la mayoría de los cuadros presente un número menor de especies.

Análisis más finos, en los que se controle el tamaño del *pool* de cuadros disponibles revelarán la verdadera naturaleza de la distribución de frecuencias descrita en este informe.

Todos estos cuadros en los que se registraron más de 150 especies están en Centroamérica y muestran fehacientemente el hecho, demostrado desde el trabajo de Simpson (1964), de que existe un gradiente latitudinal muy marcado de diversidad de especies (ver revisión reciente del tema en Lyons & Willig 1999). En la Figura 4, la tendencia general es hacia cuadros con menor número de especies a medida que aumenta la latitud. Existen en latitudes correspondientes a Centroamérica algunos cuadros con pocas especies registradas, pero estos son debido al efecto de muestreo ya descrito.

Es interesante constatar que los cuadros correspondientes a las latitudes de México se ajustan al patrón latitudinal general, sin un pico demostrable. Esto muestra que la riqueza de especies de México (al menos a la escala de los cuadros usados en el sistema) no es inusitada. Con SIGMA será posible repetir este tipo de análisis examinando taxones particulares, o grupos de dieta o hábito particulares, para determinar si la megadiversidad de México puede explicarse por el patrón latitudinal de algún grupo en particular. Asimismo, será relativamente sencillo repetir el análisis a diferentes escalas para tratar de encontrar una escala crítica en la que la riqueza de México resultara más elevada de lo que se podría esperar a partir del gradiente latitudinal.

Aplicaciones para la conservación

La base de datos generada en este proyecto se presta perfectamente para el tipo de análisis requeridos para diseñar estrategias de “conservación continental” (Soulé & Terborgh 1999). La viabilidad de las poblaciones de ciertas especies sólo puede ser garantizada si se tiene una visión de gran escala de los proyectos de conservación. De igual

forma, la preservación de los ensambles de especies sólo puede ser comprendida a una escala regional o continental.

En un taller internacional sobre conservación continental (Scott *et al.* 1999), se establecieron relaciones hipotéticas entre diferentes parámetros de importancia para la conservación. Se conjeturó que debía haber una relación directa entre el área de distribución promedio de las especies, la diversidad beta, el anidamiento, complementariedad y el número de reservas necesarias para conservar la diversidad biológica. Por ejemplo, se predijo que para el caso de México debía existir una combinación de diversidad local moderada, alta diversidad beta, bajo anidamiento y baja complementariedad, lo que implicaría que se requeriría un número elevado de áreas protegidas para garantizar la conservación de la mayoría de las especies presentes en el país.

La base de datos generada en el presente proyecto, junto con el sistema SIGMA, permitirá poner a prueba las predicciones de Scott *et al.* (1999). Los análisis biogeográficos con aplicación a la conservación que se han hecho para los mamíferos de México han carecido de un punto de comparación para “calibrar” los valores. La disponibilidad de una base de datos para todo el subcontinente resolverá ese problema y permitirá las comparaciones necesarias para determinar si México es realmente un país megadiverso y para establecer lineamientos precisos para establecer una estrategia adecuada de conservación a grandes escalas.

REFERENCIAS

- Arita, H. T. (1994) Riqueza de especies de la mastofauna de México. *Avances en el estudio de los mamíferos de México* (eds R. A. Medellín & G. Ceballos), pp. 109-125. Asociación Mexicana de Mastozoología, México, D. F.
- Arita, H. T. (1997) The non-volant mammal fauna of Mexico: species richness in a megadiverse country. *Biodiversity and Conservation*, **6**, 787-795.
- Arita, H. T. & Ceballos, G. (1997) Los mamíferos de México: distribución y estado de conservación. *Revista Mexicana de Mastozoología*, **2**, 33-71.:
- Arita, H. T. & Figueroa, F. (1999) Geographic patterns of body-mass diversity of Mexican mammals. *Oikos*, **85**, 310-319.
- Arita, H. T. & Ortega, J. (1998). The Middle-American bat fauna: Conservation in the Neotropical-Nearctic border. *Bat biology and conservation* (eds T. H. Kunz & P. A. Racey), pp. 295-308. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Arita, H. T. & Rodríguez, P. (en preparación). Geographic range, beta diversity, and the scaling of species diversity. *Journal of Animal Ecology*.
- Arita, H. T., Figueroa, F., Frisch, A., Rodríguez, P. & Santos del Prado K. (1997) Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology*, **11**, 92-100.
- Arita, H. T. & Santos del Prado, K. (1999) The conservation of nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Mammalogy*, **80**, 31-41.
- Brown, J. H. & Lomolino, M. V. (1998) *Biogeography*. 2d.edición. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.
- Brown, J. H., Stevens, G. C. & Kaufman, D. W. (1996) The geographic range: size, shape, boundaries and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **27**, 597-623.
- Ceballos, G. & Navarro, D. (1991) Diversity and conservation of Mexican mammals. *Latin American Mammalogy. History, Biodiversity, and Conservation* (eds M.A. Mares & D.J. Schmidly), pp 167-198. University of Oklahoma Press: Norman and London.
- Ceballos, G. & Rodríguez, P (1993) Diversidad y conservación de los mamíferos de México: patrones de endemidad de mamíferos mexicanos. *Avances en el estudio de*

- los mamíferos de México* (eds R. A. Medellín & G. Ceballos), pp. 87-108. Asociación Mexicana de Mastozoología, México, D. F.
- Ceballos, G., Medellín, R. & Rodríguez, P. (1998). Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity endemicity and endangerment. *Ecological Applications*, **8**, 8-17.
- Channel, R. & Lomolino, M. V. (2000) Dynamic biogeography and conservation of endangered species. *Nature* **403**, 84-86.
- Colwell, R. K. & Lees, D. C. (2000) The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution*, **15**, 70-76
- Eisenberg, J. F. (1981) *The mammalian radiations, an analysis of trend in evolution, adaptation, and behavior*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, E.U.A.
- Gaston, K. J. (1996) Species range size distributions: patterns, mechanisms and implications. *Trends in Ecology and Evolution*, **11**, 197-201.
- Gotelli, N. J. & Graves, G. R. (1996) *Null models in ecology*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.
- Hall, E. R. (1981) *The mammals of North America*. 2 Volúmenes. Wiley and sons, New York, E.U.A.
- Hagmeir, E. M. & Stults, C. D. (1964) A numerical analysis of the distributional patterns of North American mammals. *Systematic Zoology*, **13**, 125-155.
- Kaufman, D.M. (1995) Diversity of New World mammals: universality of latitudinal gradients of species and bauplans. *Journal of Mammalogy*, **76**, 322-334.
- Kaufman, D. M. & Willig, M. R. (1998) Latitudinal patterns of mammalian species richness in the New World: the effects of sampling method and faunal group. *Journal of Biogeography*, **25**, 795-805.
- Lyons, S. K. & Willig, M. R. (1999). A hemispheric assessment of scale dependence in latitudinal gradients of species richness. *Ecology*, **80**, 2483-2491.
- McCoy, E. D. & Connor, E. F. (1980) Latitudinal gradients in species diversity of North American mammals. *Evolution*, **24**, 193-203.
- Medellín, R. A; Arita, H. T. & Sánchez, O. (1997) Identificación de los murciélagos de México. Clave de Campo. Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., 84 pp.

- Myers, N., Mittermeier, R. A. , Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853-858.
- Ortega, J. & Arita, H. T.(1998) The Neotropical-Nearctic border in Middle America as determined by the distribution of bats. *Journal of Mammalogy*, **79**, 772-783.
- Pagel, M. D., May, R. M. & Collie, A. R. (1991) Ecological aspects of the geographical distribution and diversity of mammalian species. *American Naturalist*, **137**, 791-815.
- Ramírez-Pulido, J. & Castro-Campillo, A. (1993). Diversidad mastozoológica en México. *Revista Mexicana de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, Volumen Especial, **XLIV**, 413, 427.
- Rapoport, E. H. (1975) *Areografía: estrategia geográfica de las especies*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Reid, F. (1997) *A field guide to the mammals of Central America and Southeast Mexico*. Oxford University Press, Oxford 400 pp.
- Rodríguez, P (2000) *Patrones geográficos de diversidad alfa y beta de los mamíferos de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rosenzweig, M. L. (1995) *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press.
- Silva, M. & J.A. Downing (1995) *CRC handbook of mammalian body masses*. CRC Press. Inc. 359pp.
- Simpson, C.G. (1964) Species density of North American recent mammals. *Systematic Zoology*, **13**, 57-73.
- Scott, J. M., E. A. Norse, H. T. Arita, A. Dobson, J. A. Estes, M. Foster, B. Gilbert, D. Jensen, R. L. Knight, D. Mattson & M. E. Soulé. (1999). The issue of scale in selecting and designing biological reserves. Pp.19-37 en *Continental Conservation, scientific foundations of regional reserve networks* (M. E. Soulé & J. Terborgh, eds.), Island Press, Washington, D. C.
- Soulé, M. E. & Terborgh, J. (1999) *Continental Conservation, scientific foundations of regional reserve networks*, Island Press, Washington, D. C.

- Wilson, D. E. & Reeder, D. M. (1993) *Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference*. Segunda edición. Smithsonian Institution Press. Washington. 1206 pp.
- Wilson, D.E. & Ruff, S. (1999) *The Smithsonian book of North American mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington. 750 pp.
- Wilson, J.W. (1974) Analytical zoogeography of North American mammals. *Evolution*, **28**, 124-140.

ANEXO 2. TABLA TAXONO

CLAVE_TAX	Clave de cada taxón. La estructura es: las dos primeras letras del orden, las dos primeras letras de la familia, las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie. Ejemplo: para el armadillo (orden Xenarthra, familia Dasypodidae, género <i>Dasypus</i> , especie <i>novemcinctus</i>), la clave de la especie es XEDADASNOV .
ORDEN	El nombre del orden.
SUBORDEN	El nombre del suborden.
FAMILIA	El nombre de la familia.
SUBFAMILIA	El nombre de la subfamilia.
TRIBU	El nombre de la tribu.
GENERO	El nombre del género. No <u>subrayar</u> ni usar <i>cursivas</i> .
ESPECIE	El nombre específico del binomio. No <u>subrayar</u> ni usar <i>cursivas</i> .
AUTOR	El nombre de la autoridad que describió la especie en cuestión. Escribir sólo el nombre, no el año. Omitir los paréntesis.
AÑO	Año en el que se describió la especie.
PARENTE	Si la autoridad y el año deben ir entre paréntesis, escribir T (<i>true</i>). Si no requieren paréntesis, escribir F (<i>false</i>)

ANEXO 3. TABLA ECOLO

Clave_tax	Genero	Especie	Masa	Dieta	Habito	Clave_mas
-----------	--------	---------	------	-------	--------	-----------

- Clave_tax** Clave taxonómica que identifica a la especie o subespecie válida. Es idéntica a la de la tabla TAXONO
- Genero** El nombre genérico de la especie.
- Especie** El nombre específico del binomio.
- Masa** Masa corporal promedio para la especie resultado de las masas registradas en la tabla DETALLEMASAS.
- Dieta** Categoría de dieta: frugívoro, carnívoro, etc. Ver anexo 5.
- Habito** Categoría de hábito: volador, terrestre, semiacuático, etc. Ver anexo 5.
- Clave_mas** Clave identificador de la especie que conecta a la tabla DETALLEMASAS

ANEXO 4. TABLA DETALLEMASAS

Clave_tax	Clave_mas	Genero	Especie	Masa	Masa min	Masa max	País	Ref_masa
-----------	-----------	--------	---------	------	-------------	-------------	------	----------

- Clave_tax** Clave taxonómica que identifica a la especie o subespecie válida. Es idéntica a la de la tabla TAXONO
- Clave_mas** Clave identificadora de la masa promedio general de la especie que conecta a la tabla ECOLOGICA.
- Genero** El nombre genérico
- Especie** El nombre específico del binomio.
- Masa** Masa corporal promedio reportada para la especie
- Masa min** Masa corporal mínima reportada para la especie
- Masa max** Masa corporal máxima reportada para la especie.
- País** País o Región de donde se obtuvo el dato de masa corporal de la especie
- Ref_masa** Clave identificadora de la cita, que conecta a la tabla REFERENCIA. Se puede repetir.

ANEXO 5. TABLA REFERENCIA

Ref_masa	Autor	Año	Tit_art	Nom_rev	Vol_rev	Num_rev	Pag_pub
-----------------	--------------	------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Ref_masa	Clave identificadora para la cita bibliográfica. Es única para cada referencia.
Autor	Nombre e iniciales de los autores del artículo, tal y como aparecen en la citas bibliográficas.
Año	Año de publicación del artículo.
Tit_art	Título completo del artículo tal y como aparece en la publicación.
Nom_rev	Nombre completo de la revista y/o el libro. No usar abreviaturas.
Vol_rev	Volumen de la revista.
Num_rev	Número de la revista si lo tiene.
Pag_pub	Páginas en la que comienza el artículo.

ANEXO 6. TABLA CONSERVA

Clave_tax	Genero	Especie	Distribu	Endemismo
SEDESOL	CITES	IUCN	CINEGET	Notas

Clave_tax Clave taxonómica que identifica a la especie o subespecie válida. Es idéntica a la de la tabla TAXONO.

Genero El nombre genérico

Especie El nombre específico del binomio.

Distribucion I insular; C: continental (o continental-insular)

Endemismo Clave

AL: Presente en Alaska

AM: Compartidas en Norte América, México y Centro América

AR: Presente en el Artico (*Monodon monocereus*)

CA: Canadá

CN: Presente en Canadá

CNE: Compartidas en Estados Unidos de América y Canadá

CS: Compartidas en Centro América y hasta Sur América

EU: Estados Unidos de América

MA: Compartida con México y Centro América (Mesoamérica)

MX: México

NA: Compartida con Canadá, Estados Unidos y México

SA: Compartida con México, Centro América e incluso Sur América

SEDESOL Estado de conservación según SEDESOL (para México)

R: rara

A: amenazada

E: en peligro

S: protección especial

T: Amenazada

Los asteriscos indican que la categoría corresponde solo a una de las subespecies.

IUCN estado de conservación según IUCN

Ex: Extinta

Ew: Extinta en estado silvestre

Cr: Críticamente amenazada

En: En peligro

Vu: Vulnerable

Lc: **Nt:** En menor riesgo caso amenazada

Nt: Casi amenazada

DD: Datos deficientes

Ne: No evaluado

CITES Capítulo según CITES: I,II,III

CINEGET Categoría cinegética según SARH:

IV Pequeños mamíferos

V Cacería restringida

VI Permisos especiales

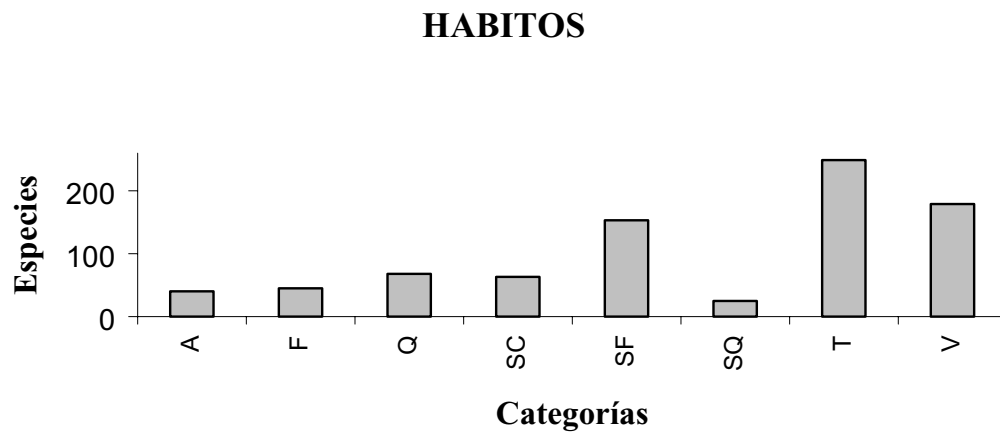
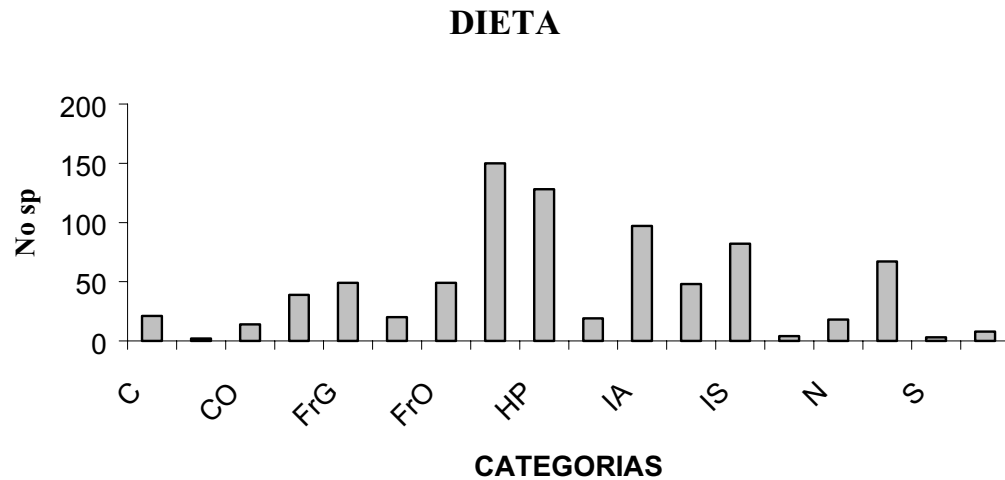
P Vedada

ANEXO 7. CATEGORIAS DE HABITOS Y DIETAS

CATEGORIAS DE DIETAS

- 1) **Piscívoro (P).** Animales cuya presa principal son vertebrados e invertebrados acuáticos de tamaño considerable como peces, crustáceos, cefalópodos y hasta aves acuáticas. Por lo general la presa es móvil y puede evadir a su depredador.
Ejemplo: *Lontra canadensis*
- 2) **Carnívoro (C).** Animales cuya presa principal son vertebrados terrestres de movilidad considerable. Ejemplo: *Canis lupus*.
- 3) **Carnívoro/Omnívoro, (CO).** Consumen vertebrados terrestres de gran movilidad, pero estos no constituyen la parte principal de su dieta. El tipo de alimento varia según su disponibilidad, pueden ingerir diferentes partes de las plantas como hojas, raíces o frutas e incluso pueden ser carroñeros. Ejemplo *Vulpes velox*
- 4) **Mirmecófago, (M)** Incluye especies que se alimentan principalmente de insectos coloniales, en particular hormigas y termitas. También pueden consumir plantas, invertebrados y hasta vertebrados, pero la tendencia principal es la de consumir isópteros e himenópteros. Ejemplo: *Tamandua mexicana*
- 5) **Insectívoro Aéreo (IA).** Animales capaces de volar que se alimentan de artrópodos, pero también de insectos alados, los cuales atrapan al vuelo. Ejemplo: *Balantiopterix io*.
- 6) **Insectívoro de Sustrato (IS).** Esta categoría incluye especies que se alimentan de insectos que obtienen del envés de las hojas, de la corteza de los arboles o de la superficie terrestre. Ejemplo: *Macrotus californicus*.
- 7) **Insectívoro /Omnívoro, (IO).** Especies que se alimentan principalmente de artrópodos, pero también consumen moluscos y lombrices. Pueden incluir en su dieta frutas y hasta pequeños vertebrados. Ejemplo: *Metachirus nudicaudatus*.
- 8) **Nectarívoro, (N).** Animales cuyo principal componente dietético lo constituyen el néctar y el polen de las flores. También pueden consumir, aunque en menor grado, insectos, frutas y/o diferentes partes de la flor. Ejemplo: *Glossophaga soricina*.
- 9) **Frugívoro (Fr).** Animales cuyo principal alimento lo constituyen las partes reproductivas de las plantas, en particular frutas. Ejemplo: *Chiroderma salvini*.
- 10) **Frugívoro/Omnívoro, (FrO).** Animales que consumen grandes cantidades de frutas, pueden o no ingerir semillas y material vegetal, y cuando es posible consumen invertebrados y pequeños vertebrados. Ejemplo: *Didelphis marsupialis*.
- 11) **Frugívoro/Granívoro, (FrG).** Animales que consumen principalmente frutas, pero las semillas y nueces también son muy importantes en su dieta. Pueden consumir invertebrados. Ejemplo: *Ammospermophilus harrisi*.
- 12) **Granívoro, (G).** Animales que se alimentan principalmente de nueces y semillas, pero también pueden incluir vegetación verde, frutas y/o insectos en sus dietas.
Ejemplo: *Dipodomys merriami*.
- 13) **Herbívoro Ramoneador, (HR).** Especies que consumen principalmente tallos, brotes, yemas, hojas e incluso frutas. Requieren de sistemas enzimáticos especiales para la digestión de los carbohidratos estructurales. Ejemplo: *Odocoileus virginianus*

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LOS MAMÍFEROS DE NORTEAMÉRICA EN LAS CATEGORÍAS DE DIETAS Y HÁBITOS.



Estas gráficas están basadas en datos y claves de categoría del anexo 7.

- 14) **Herbívoro Pastoreador (HP)** Animales que se alimentan principalmente de pastos.
Ejemplo: *Bison bison*.
- 15) **Frugívoro/Herbívoro (FrH)**. Animales que consumen principalmente frutas, pero una parte importante de su dieta la constituyen los vegetales verdes. Ejemplo: *Mazama americana*.
- 16) **Sanguinívoro, (S)**. Animales adaptados para alimentarse de la sangre de vertebrados de sangre caliente. Ejemplo: *Desmodus rotundus*.
- 17) **Zooplancívoro: (Z)**: Animales marinos adaptados a alimentarse de crustáceos pequeños (zooplancton).
- 18) **Carnívoro Piscívoro: (CP)** Animales principalmente marinos adaptados a comer presas terrestres y peces.

CATEGORIAS DE HÁBITOS

- 1). **Fosorial (F)**. Animales adaptados para vivir y realizar la mayor parte de sus actividades (comer, descansar, aparearse y cuidar a sus crías) bajo la tierra. Pueden salir a la superficie, pero poseen una especialización dominante que les permite pasar casi toda su vida bajo tierra. Ejemplo: *Geomys arenarius*
- 2). **Semifosorial (SF)**. Animales que presentan adaptaciones morfológicas para cavar. Las madrigueras se utilizan como refugios y a veces también cavan para obtener su alimento. Poseen habilidad para moverse en la superficie. Tienen capacidad para cavar en forma extensiva. Ejemplo: *Perognathus californicus*.
- 3) **Semiacuático, (SQ)**. Estas especies deben de pasar una parte del día fuera del agua, es esencial para estos animales tener un nido en el cual puedan secarse y conservar el calor corporal. Ejemplo: *Lontra longicaudis*.
- 4) **Acuático: (Q)**. Estas especies mucho tiempo en el agua, generalmente se trata de organismos marinos. Ejemplo: esta categoría los quirópteros. No se incluye ningún animal planeador
- 5) **Volador:(V)**. Animales con adaptaciones morfológicas para volar. Sólo pertenecen a.
Ejemplo: *Tadarida brasiliensis*
- 6) **Terrestres (T)**. Esta categoría incluye especies especializadas para obtener su alimento en la superficie de la tierra, pueden trepar o cavar, pero en mínima proporción.
Ejemplo: *Canis lupus*.
- 7) **Escansorial (SC)**. Estas especies muestran una considerable adaptación para trepar, pero también son lo suficientemente versátiles como para pasar aproximadamente el mismo tiempo en la superficie de la tierra. Ejemplo: *Neotoma fuscipes*.
- 8) **Arborícola, (A)**. Animales que pasan la mayor parte de su vida o toda su vida en los árboles. Ejemplo: *Alouatta palliata*.