

00376  
3.  
91



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

## ANALISIS DE LA DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS MAMIFEROS TERRESTRES EN LA REGION DEL GOLFO DE CALIFORNIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES)

P R E S E N T A :

PATRICIA ILLOLDI RANGEL

DIRECTOR DE TESIS: DR. VICTOR SANCHEZ CORDERO DAVILA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **INDICE**

<b>Agradecimientos</b>	<b>ii</b>
<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos</b>	<b>6</b>
<b>III. Hipótesis</b>	<b>6</b>
<b>IV. Área de Estudio</b>	<b>7</b>
<b>V. Método</b>	
1. Sistemas de Información Geográfica	11
2. Análisis estadísticos	14
<b>VI. Resultados</b>	
Topografía	17
Vegetación	23
Precipitación	32
Análisis GLIM	40
<b>VII. Discusión</b>	<b>47</b>
<b>VIII. Conclusiones</b>	<b>58</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>62</b>
<b>IX. Literatura citada</b>	<b>63</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Víctor Sánchez-Cordero Dávila, por su amistad y asesoría durante todo el trabajo de investigación, y por las facilidades prestadas para la utilización del equipo.

Al M. en C. Adolfo Navarro Sigüenza, por la revisión del trabajo y los comentarios y sugerencias que hicieron que mejorara a lo largo de los dos años de estudio.

A la M. en C. Livia León Paniagua, por las revisiones y aportaciones realizadas al presente trabajo durante los dos años de maestría.

Al Dr. Alejandro Velázquez, por las valiosas aportaciones y comentarios realizadas a este estudio.

Al Dr. Jorge López Blanco, por la revisión del presente trabajo, y sus aportaciones sobre sistemas de información geográficos.

Al Dr. Joaquín Arroyo Cabrales, por haber aceptado y revisado el presente estudio.

Al M. en C. René Hernández Rivera, por su confianza, amistar y revisión del presente trabajo.

Al Dr. Roberto Martínez Gallardo, por su gran ayuda para la realización de algunos de los análisis que aquí se presentan.

Al M. en C. Antonio Santos, ya que con su ayuda pude terminar parte de los análisis de este trabajo.

Al M. en C. Enrique Martínez Meyer, por esos ratos que hacen agradables los momentos difíciles.

A la Biól. Alejandra de Villa, por su amistad y apoyo durante la terminación del trabajo.

Al M. en C. Javier Sosa Escalante, por las discusiones que tuvimos dentro del laboratorio mientras estuvo en él.

A mis amigos y compañeros de la maestría, con los cuales pase ratos agradables y discusiones muy interesantes.

A mis hermanos, que siempre están para apoyarme cuando los necesito.

A Martha, Miguel y Aleja, ya que con su amistad han estado conmigo durante los últimos cuatro años, apoyándome en lo que hago.

A los miembros del Laboratorio de Mastozoología del Instituto de Biología de la UNAM.

Al Colegio del Sagrado Corazón, porque me han apoyado durante todo este tiempo.

A Conacyt, por el apoyo brindado para la realización de los estudios de maestría a través de una beca-crédito.

A la UNAM, por haberme brindado la oportunidad de poder continuar mis estudios y entender el concepto de **Alma Mater**.

**A mis padres, porque siempre me alentaron a seguir adelante, confiando en mí.**

Al autor virtual de este trabajo, que siempre me ha apoyado y dado confianza y con el cual quiero compartir la siguiente frase:

**"Trying to discover the laws that govern the abundance, distribution and diversity of species is not for those who are timid or content to do easy science"**

**J. Brown**

## RESÚMEN

En este trabajo se analiza la distribución de los mamíferos terrestres de la región del Golfo de California, comprendida por los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, a través de la utilización de un sistema de información geográfica.

Se analizó la influencia de dos factores abióticos (topografía y precipitación), y un factor biótico (tipo de cobertura) sobre los patrones de distribución general de los mamíferos de la región, a una escala 1:1 000 000. Estos factores se analizaron en primer lugar de manera independiente, mientras que en la segunda parte del análisis se conjuntaron todos los factores, a través de un análisis de modelos lineales generalizados (GLIM). Los resultados obtenidos para cada uno de los factores por separado fueron los siguientes:

- En el caso de la topografía, el intervalo que muestra una mayor riqueza de especies se encuentra entre los 800 y los 1200 m y alturas superiores a los 1600 m.

- Los tipos de coberturas mas importantes son zonas de agricultura, pastizal, selva baja caducifolia, matorral sarcocaulé, mezquital y bosque de pini-encino.

- Los principales intervalos de precipitación, por riqueza de especies, son los que van desde los 100 mm hasta los 800 mm anuales.

Los análisis de tipo GLIM señalaron la influencia que tienen los tres factores, de manera conjunta, sobre la distribución de las especies. A través de estos análisis se obtuvieron dos modelos que ayudan a explicar de los patrones de distribución. Estos modelos se obtuvieron a partir de un cálculo en la devianza total generada por cada uno de los factores, ya sea interactuando de manera independiente o en conjunto. El primer modelo, que se aplica para casi toda la región, tiene la forma de:

$$S = \text{topografía} + \text{precipitación} + \text{vegetación} + (\text{precipitación/vegetación})$$

dondel el orden se encuentra determinado en función de la explicación mas general hasta la mas específica.

El segundo modelo obtenido se aplica únicamente al estado de Sonora, y adquiere la siguiente forma:

$$S = \text{topografía} + \text{precipitación} + \text{vegetación} + (\text{topografía/vegetación})$$

A diferencia del primer modelo, aquí la interacción importante de factores es entre topografía y tipo de cobertura, y no entre precipitación y tipo de cobertura.

Gracias a la utilización de herramientas como los sistemas de información geográfica, y de técnicas estadísticas como los modelos lineales generalizados, se permite el diseño de modelos en los cuales no sólo se reconozcan las interacciones entre diferentes factores, sino que se pueden elaborar combinaciones de ellos, y a partir de ellas, obtener modelos que ayuden a explicar de una mejor manera los patrones de distribución. Esto nos lleva a un nuevo enfoque dentro de la Ecología, el cual permite analizar los datos de una manera espacial, tomando en cuenta los factores que influyen sobre las especies.

## I. INTRODUCCIÓN.

Para poder entender adecuadamente los patrones geográficos de la diversidad de especies, se requiere el entendimiento de la historia geológica, ambiente físico presente y pasado, la historia filogenética y evolutiva de los taxa, la dinámica de los procesos de origen y extinción de las especies y las relaciones ecológicas de éstas, tanto con su ambiente físico como con otros organismos (Brown, 1988; Heaney, 1989; Patterson, 1989; Brown, 1995). Sin embargo, algunos de los patrones en la diversidad y riqueza de especies pueden ser resultado de la variación en el ambiente físico, mientras que los procesos biológicos juegan otro papel que operan como una respuesta a diferencias primarias en el escenario físico (Brown, 1988)

Dentro del ambiente físico se pueden encontrar varios factores que afectan la riqueza de especies en un área determinada, entre los que se encuentran la latitud, la altitud, la temperatura, la heterogeneidad ambiental, etc. (Fischer, 1960; MacArthur, 1972; Patterson, 1989; Heaney, 1989; Stevens, 1992). El número de especies se modifica con el cambio en estas variables, resultando en diferentes patrones de acuerdo a la riqueza de especies presente. Además, esta aproximación permite ser evaluada de manera estadística por medio de técnicas como pueden ser la regresión sencilla entre el número de especies y las variables ambientales (Terborgh, 1971; Brown, 1988; Blair, 1996).

Cuando se trata de definir el papel que tiene la diversidad de hábitats para la determinación del número de especies presentes, generalmente se infieren las diferencias entre los mismos por medio de parámetros fácilmente cuantificables que se cree que reflejan tales diferencias: área, elevación máxima, riqueza florística presente (Terborgh, 1977; Stevens, 1992; Blair, 1996). Por otra parte, se han empleado técnicas estadísticas como la regresión



múltiple o modelos multivariados para estimar la importancia de estos distintos parámetros en el momento de determinar el número de especies de animales presentes (Gorman, 1991; Clark, 1993).

Al analizar la distribución de las especies que viven en los continentes, en particular en zonas ricas en especies, se tiene que con frecuencia se hallan restringidas a intervalos altitudinales, hábitats únicos y a determinados estratos verticales en la vegetación (MacArthur, 1962), análisis que se facilita con la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Antes de la aparición de los SIG, la forma más fácil de representar dichas distribuciones había sido colocar los puntos de colecta sobre mapas, pero no era posible saber como se relaciona la distribución de las especies con factores ambientales o con los lugares con mayor riqueza de especies, además de que se dificultaba el manejo de grandes volúmenes de información. Para solventar este problema, se sugiere la utilización de sistemas de información geográfica que constituyen una tecnología informática por medio de la cual se pueden representar fenómenos espaciales y que permiten analizar datos espacialmente relacionados. Además, hacen posible capturar, recuperar, editar, producir y manipular no solo la información gráfica (cartas temáticas), sino también la información biológica (bases de datos) (Shaw, *et al* 1990; McLaren y Briggs, 1991).

El término de sistema de información geográfica se refiere a una configuración de software para computadora que se utiliza para realizar mapas y analizar datos espaciales. El software consiste en un componente gráfico, un mapa y una base de datos relacional que contiene información sobre los mapas. Por medio de un SIG, los datos espaciales pueden ser ingresados a la computadora, editados, manipulados, analizados y graficados para crear mapas a casi cualquier escala. Al sobreponer diferentes mapas (coberturas) se pueden

relacionar por ejemplo, tanto los datos cartográficos, como la base de datos biológica. El potencial real de los sistemas de información es la habilidad que tienen para poder obtener respuestas por medio de tablas de información o despliegue de mapas en pantalla o impresos, acerca del componente de información de la base de datos. Además, el conocimiento de las relaciones topológicas, es decir, la determinación del área, perímetro y localización de los elementos del mapa así como el conocimiento de las asociaciones espaciales entre los atributos es una característica que distingue a los SIG (Illoldi, 1994).

La integración de bancos o bases de datos en sistemas de información geográfica y la modelación matemática, así como las aplicaciones individuales, han sido empleadas en diferentes estudios en diversas escalas (Burrough, 1986; Davis, 1990; Goodchild, 1991; Constanza, R. en prensa).

En México, uno de los primeros sistemas computarizados para almacenamiento y recuperación de datos fue implementado en el Instituto de Biología de la UNAM bajo el proyecto "Flora de Veracruz" (Soto, et al., 1984). Estos sistemas ocupaban un espacio físico muy grande, a la vez que los programas eran creados exclusivamente para las necesidades del proyecto, lo cual los hacía prácticamente inservibles para cualquier otra aplicación.

El desarrollo de los sistemas de información geográfica en el campo de la biología surge con la necesidad de poder manejar bases de datos biológicas con gran cantidad de información aunada a características físicas del ambiente, en un lapso de tiempo muy corto (Shaw et al., 1990). Esta necesidad se vuelve cada vez mas prioritaria en el estudio y conservación de la biodiversidad, ya que se ha empleado la riqueza de especies y el endemismo como criterios para determinar prioridades de conservación a escala global (World Conservation Monitoring Centre, 1992). Los datos sobre los rangos de distribución y abundancia de las especies son de fundamental importancia para los estudios

ecológicos, y se vuelven indispensables cuando se habla de evaluar la biodiversidad.

La Convención sobre la Diversidad Biológica recomendó en 1992 la creación de inventarios biológicos y las bases de datos computarizadas como indispensables para los esfuerzos de conservación de la biodiversidad (UNEP, 1992). Además dichas bases de datos facilitan la utilización de los datos que contienen para establecer políticas de conservación y desarrollo para la optimización de los recursos humanos y financieros.

Estudiar la distribución de las diferentes especies de mamíferos existentes en la región del Golfo de California es de gran importancia, sobre todo cuando se está hablando de un área considerada prioritaria para propósitos de conservación de la biodiversidad (CONABIO, 1997). La identificación de patrones de distribución permite la potencial predicción de zonas donde se pudiera encontrar cualquier especie, incluyendo a las endémicas. De esta manera, aunque las especies de mamíferos no estén registradas, se pueden establecer políticas de conservación, a través de estudios realizados en salidas de campo a puntos determinados que alberguen dichas condiciones. Esto es posible con la aplicación de los sistemas de información geográficas y la utilización de herramientas alternativas o complementarias a los sistemas de información en el manejo de información y datos con los que además se puedan generar modelos ambientales. Una de estas técnicas que reúne las características mencionadas es la de los Modelos Generales Linealizados o GLIM. La flexibilidad y generalidad del lenguaje 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 presente trabajo se presentan los resultados del análisis de la distribución geográfica de los mamíferos en la región del Golfo de California en dos partes. En la primera parte, se analizan dos factores abióticos y uno biótico de manera independiente por medio de un sistema de información geográfica. En la segunda parte se consideran las interacciones entre estos factores para diseñar modelos que expliquen sus efectos sobre la mastofauna de la región.

## **II. OBJETIVOS**

Para ayudar al conocimiento de la mastofauna del área de estudio en la consecución del establecimiento de políticas de conservación, se plantean los siguientes objetivos:

- Identificar los patrones generales de distribución de los mamíferos terrestres de la región del Golfo de California (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit).

- Determinar el efecto que tienen los factores abióticos, como topografía (altitud) y precipitación, y los bióticos, como cobertura vegetal, sobre la distribución de las especies de mamíferos terrestres.

- Identificar del modelo lineal generalizado óptimo que explique la relación entre los factores abióticos y bióticos.

## **III. HIPÓTESIS**

- La distribución geográfica de las especies de mamíferos terrestres está determinada por factores bióticos y abióticos. Se espera que la topografía, precipitación y los tipos de vegetación influyan de manera conjunta en la distribución geográfica de las especies en la región de Baja California.

Ho. Los factores bióticos y abióticos, de manera independiente o interrelacionados, no tienen ninguna influencia en la distribución geográfica de las especies y los mamíferos se distribuyen al azar en esta región.

#### IV. ÁREA DE ESTUDIO

La región del Golfo de California se localiza entre los 18° y 32° latitud norte y los 105° y los 117° de longitud oeste. Está formada por los cinco estados que reciben la influencia del Golfo de California o Mar de Cortés (Alvarez-Borrego, 1983), los cuales son: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit (UNAM /Gobernación , 1988; Figura 1).

La formación del Golfo de California se pudo deber a una serie de eventos geológicos que sucedieron desde el Mesozoico superior, hace 120 millones de años. La mayor actividad tectónica registrada en el área tuvo lugar durante el Mioceno superior, hace aproximadamente 25 millones de años. El Golfo de California, con sus características actuales es geológicamente reciente; se calcula su edad en aproximadamente 4.5 millones de años (UNAM / Gobernación, 1988). Geográficamente el Golfo de California está ubicado dentro de una región subtropical. Es por ello que se presenta una marcada fluctuación de las condiciones climatológicas durante el año, así como del día a la noche, a diferencia de las demás regiones costeras de México, localizadas en la región tropical que es más estable (UNAM / Gobernación, op. cit.).

La temperatura media anual en las costas circundantes es de 24° C con excepción de las zonas comprendidas entre Tepic y Mazatlán, los alrededores de Culiacán y entre la frontera entre Sonora y Sinaloa donde es de 26° C. La estación seca comprende los meses de octubre a junio, mes en el que se inicia la temporada de lluvias que dura hasta mediados de septiembre. La baja precipitación pluvial se debe a la presencia de cordilleras, con cimas de más de 3 000 m de altura, las cuales forman una barrera que aísla a la región del Océano Pacífico. Esto, aunado a las extensas zonas áridas que lo rodean, le confiere un clima continental más que oceánico (Alvarez-Borrego, 1983).

La mayor parte de las costas de Sonora, Sinaloa y Baja California tienen la característica común de presentar un exceso de evaporación sobre la precipitación pluvial y un clima desértico caliente, con inviernos secos y una estación lluviosa veraniega (UNAM / Gobernación, 1988).

La península de Baja California se caracteriza, en general, por la ausencia de ríos, y por los grandes desiertos, mientras que las costas de Sonora y Sinaloa presentan una gran cantidad de ríos y pendientes poco pronunciadas (UNAM / Gobernación, 1988).

En cuanto a los hábitats que se presentan en la región, el bosque de encino, el matorral xerófilo y la selva baja caducifolia están entre los sistemas ecológicos más importantes del país, ya que son los que cuentan con el mayor número de especies y el mayor porcentaje de endemismos de vertebrados (28.6 %, 29.6 % y 15 % respectivamente; Flores y Gerez, 1988; Cuadro 1). Estos tres sistemas se encuentran bien representados en la región, argumento que se suma a los ya mencionados para considerarla como prioritaria en el estudio de la distribución de mamíferos y la protección de la zona.

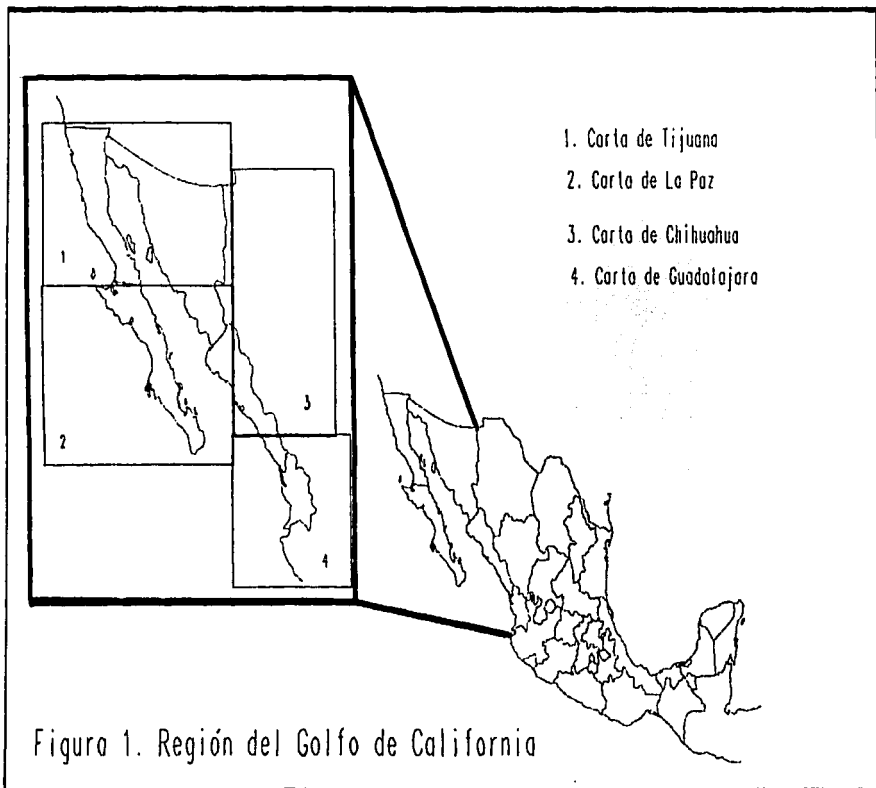
La región del Golfo de California se considera como una de las áreas de mayor importancia mastofaunística en México. En ella se encuentran 66 especies de mamíferos terrestres (Hall, 1981; Ramírez-Pulido y Cervantes, 1994) de las cuales el 6 % son endémicas de la zona.

Estado	área (km <sup>2</sup> )*	Tipos de cobertura
Baja California	6 992.10	bosque de coníferas, chaparral, matorral xerófilo y agricultura de riego.
Baja California Sur	7 347.50	bosque de coníferas y de encino, matorral xerófilo, selva baja caducifolia y agricultura de riego.
Sonora	18 205.20	bosque de coníferas y de encino, matorral xerófilo y selva baja caducifolia.
Sinaloa	5 832.80	bosque de coníferas, bosque de encino, matorral xerófilo, selva baja caducifolia, selva tropical subcaducifolia, agricultura de riego y de temporal.
Nayarit	2 697.90	bosque de coníferas y de encino, selva baja caducifolia, vegetación acuática y subacuática, agricultura de riego y de temporal.

Cuadro 1. Características importantes que comprenden a los estados del área de estudio.

\* El área fue calculada a partir del sistema de información geográfica, basada en los mapas de INEGI (1988).





## **V. MÉTODO**

### ***I. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA***

#### **1. Base de datos biológica.**

Se cuenta con una base de datos biológica (Romero, R., 1991) la cual se actualizó en Access v. 2.0 con los datos recientes que se tenían para la zona a partir de las colecciones del Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz, BCS, del CISECE de Ensenada, B.C. y del Tecnológico de Monterrey campus Guaymas, así como de otras colecciones nacionales (Colección Nacional de Mamíferos del Instituto de Biología, UNAM, Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Iztapalapa) que contienen datos de mamíferos para los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit.

Se trabajó en la categoría taxonómica de subespecie, ya que, considerando que la zona es una región de alto endemismo, es preferible trabajar a este nivel taxonómico para no subestimar de la riqueza. A su vez, se buscaron las sinonimias existentes para depurar y actualizar la base de datos (según Wilson & Reeder, 1993). Así mismo, se señalaron, a través de un campo específico en la base de datos, las especies y subespecies que son endémicas para facilitar su recuperación dentro de la misma.

Por otro lado, para todos los registros y localidades se comprobó la ubicación geográfica o georeferenciación; en caso de no tenerla, se ubicó la localidad mencionada por el colector, en mapas escala 1:50,000 o 1:10,000 para tener la mayor exactitud posible. Una vez obtenidas las coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos de todas las localidades, se

transformaron a coordenadas geográficas decimales, de tal forma que fueran compatibles con el sistema de información geográfica ( INEGI, 1988 ).

Una vez terminada la base de datos biológica, se contó con 1542 subespecies ubicadas en 584 localidades, repartidas en los cinco estados.

## **2. Base de datos cartográfica.**

Para realizar la base de datos cartográfica se trabajó con el SIG de la compañía ESRI en su versión PC ARC/INFO 3.4Dplus ( ESRI, 1990 ).

Se utilizaron la cartas temáticos publicadas por INEGI (1988), escala 1:1,000,000 para los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, que se encuentran en las cuatro cartas siguientes: La Paz (estados de Baja California Sur y parte de Sinaloa), Tijuana (estados de Baja California y Sonora), Chihuahua (parte central del estado de Sinaloa) y Guadalajara (parte sur del estado de Sinaloa y el estado de Nayarit) (Figura 1).

Los temas utilizados por carta fueron precipitación, topografía y vegetación. En el caso de la topografía, los intervalos altitudinales se dividieron cada 400 m, ya que dada la escala de la carta, se facilitaba la edición y el manejo de los datos para su análisis posterior.

Estas cartas se digitalizaron utilizando el SIG y una tableta digitalizadora (modelo HI - 9 000 de Houston Instrument), las cuales se almacenaron como coberturas. Esta parte se realizó dentro del módulo ARCEDIT del sistema.

Una vez digitalizados los mapas se procedió a su edición, esto es, unir los polígonos de tal manera que quedaran perfectamente cerrados, así como asignarles la etiqueta correspondiente a los atributos que contengan (p. ej.

Intervalo altitudinal, nivel de precipitación, etc.). Después se efectuó un procedimiento de reconstrucción de las coberturas, de tal manera que fuera posible su reconocimiento en el sistema, así como el cálculo del área y perímetro de cada polígono en unidades de tableta.

Inmediatamente terminada la edición se transformaron los mapas de coordenadas de pulgada, unidades que registra el sistema, a coordenadas geográficas, y de ahí se proyectaron los mapas, de tal manera que correspondan a la proyección original que tienen. Para este caso se realizó una proyección cónica de Lambert.

Todo lo anterior se realizó dentro de los módulos ARCEDIT y STARTERKIT de ARC/INFO, reiterando el proceso para cada una de las cartas y para los tres temas correspondientes.

### **3. Relación de bases de datos.**

Una vez terminadas y comparadas ambas bases de datos (biológica y cartográfica), se relacionaron utilizando el SIG de tal manera que se obtuvo un mapa final que contiene toda la información de ambas bases de datos. A partir de este mapa, y de una tabla de datos asociada, se obtuvieron los patrones de distribución generales para los mamíferos, en función de cada factor (precipitación, topografía y tipo de cobertura).

Asimismo, se obtuvo el cálculo del área y perímetro que ocupa cada polígono, en este caso, el área que ocupa cada intervalo altitudinal, tipo de vegetación e intervalo de precipitación en cada una de las cartas.

## **II. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

### **4. Análisis de regresión**

Se realizó un análisis de regresión para evaluar la influencia que tiene el área en la riqueza específica de la región, considerando como variable independiente el área que ocupa cada intervalo (topografía y precipitación) o cada tipo de vegetación, y como variable dependiente el número de especies y subespecies para cada uno. A partir de esta prueba se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ), a partir de un modelo logístico, calculando una recta de regresión con el número esperado de especies y subespecies, así como intervalos de confianza del 95%.

### **5. Prueba de $X^2$**

Se realizó una prueba de bondad de ajuste de  $X^2$  con el fin de determinar si la distribución de las especies se debe a procesos aleatorios o si bien las especies deben sus patrones de distribución a los factores tanto bióticos como abióticos que prevalecen en la región. En este análisis se trató a cada factor de manera independiente, incorporando a todas las especies y subespecies de mamíferos en general.

Por otra parte, para eliminar el sesgo que existe derivado de la colecta de datos, se compararon todas las áreas de la carta correspondiente y se calculó el número de subespecies que se esperaba encontrar si todas fuesen del mismo tamaño. A esto se le llamó análisis de comparación de áreas, lo permitió determinar los intervalos con mayor cantidad de subespecies, eliminando por un lado el mencionado sesgo y por otra parte la sobreestimación que ocasionan

áreas con mayores dimensiones que otras sobre el número total de subespecies.

## **6. Modelos lineales generalizados ( GLIM )**

Finalmente, se realizó un análisis por medio del programa GLIM v. 3.77 (Royal Statistical Society, London, 1993) para poder relacionar los diferentes factores que pudieran estar afectando a la distribución de mamíferos. Al trabajar con un GLIM se debe de especificar de manera precisa cual será el modelo que refleja de manera más adecuada la estructura de nuestros datos, por lo tanto la parte del análisis exploratorio es más demandante. Se tiene que buscar además el modelo adecuado mínimo, esto es, se busca la simplificación en la construcción de los modelos. Ahora bien en las ocasiones en que como resultado del análisis se tengan varios modelos y no se sepa cual es el más adecuado, se tiene la posibilidad de compararlos y determinar si las suposiciones acerca de la estructura de error, la transformación y la definición de los modelos son las adecuadas. Los resultados que se obtienen son susceptibles de ser sometidos a cualquier prueba de hipótesis.

En este sentido se estableció un modelo lineal generalizado. Para poder utilizar este programa se tuvo que diseñar una base de datos donde se tuvieran las combinaciones resultantes del análisis con el sistema de información para cada una de las cartas, esto es, se obtuvo una matriz donde se agruparon los intervalos altitudinales, los intervalos de precipitación, los tipos de vegetación y la frecuencia de aparición de las subespecies, para cada una de las combinaciones existentes, a diferencia de los análisis anteriores donde se analizaba cada factor, de manera independiente, en cada una de las cartas. A cada una de las variables ambientales se les denomina factores y cada intervalo o tipo de vegetación, etc. se trata de un nivel.

Esta matriz se sometió al análisis con el programa GLIM, donde se calculó, para cada una de las matrices, la devianza total de los datos contenidos en ellas, así como la influencia de cada uno de los factores en esta devianza. Ésta se calcula a partir del cambio de la devianza total conforme se van incorporando las matrices al modelo. De esta manera se pudo calcular el porcentaje de influencia de cada uno de los factores sobre la variable de respuesta, en este caso los conteos de subespecies. Los cambios en la devianza se interpretaron a través de tablas de  $X^2$ . Posteriormente, se realizó una prueba de t de Student para evaluar la significancia en cada uno de los intervalos presentes.

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. Al final se realizó un análisis en donde, en conjunto, se observó el efecto de la topografía (altitud), la precipitación y la vegetación.

Finalmente, las matrices se sometieron a un análisis anidado, donde se sumó el efecto de los factores como en el modelo aditivo. Además se definió una jerarquía entre dos de los factores, en este caso la precipitación y la vegetación, con preponderancia de la precipitación, ya que es la que explica los tipos de vegetación existentes para cada una de las zonas. Con estos análisis se obtuvieron los modelos que integran factores bióticos y abióticos que mejor explican la distribución de los mamíferos en esta región.

## VI. RESULTADOS TOPOGRAFÍA

A partir del análisis de los datos en el SIG se elaboró la Fig. 2 en donde se muestra el número total de especies y subespecies por intervalo altitudinal para toda la región del Golfo de California. En esta se puede observar que la mayor concentración de taxa se presenta en el primer intervalo (0 - 400 m), seguido por el tercer intervalo (800 - 1200 m). Se presentan también las figuras por carta donde se muestra el número de taxa por intervalo altitudinal (Figuras 3, 4, 5 y 6).

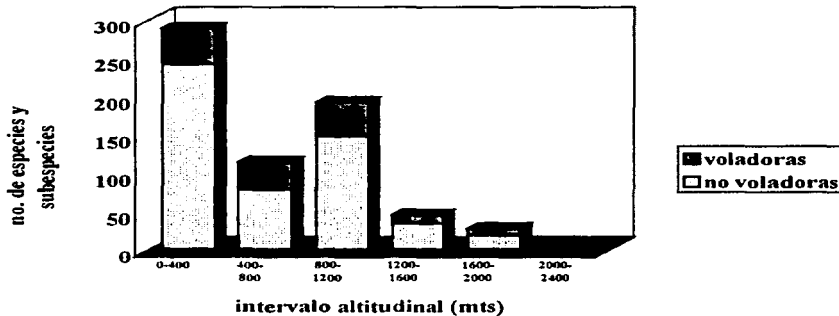


Figura 2. Número de taxa por intervalo altitudinal para toda la Región del Golfo de California

En estas figuras se muestra la relación de mamíferos no voladores vs voladores. En este caso tanto para la carta de La Paz como para la de Tijuana (Figuras 3 y 4), la mayor proporción de quirópteros se encuentra en el tercer intervalo (800 - 1200 m), seguido por el primero (0 - 400 m), mientras que para



la carta de Chihuahua (Fig. 5) el mayor número de mamíferos voladores se encuentra en el cuarto intervalo (1200 - 1600 m) representando casi la mitad del total de especies. Para la carta de Guadalajara (Fig. 6), la mayor riqueza de especies y subespecies de murciélagos se encontró en el segundo intervalo (400 - 800 m), y después en el primer intervalo (0 - 400m).

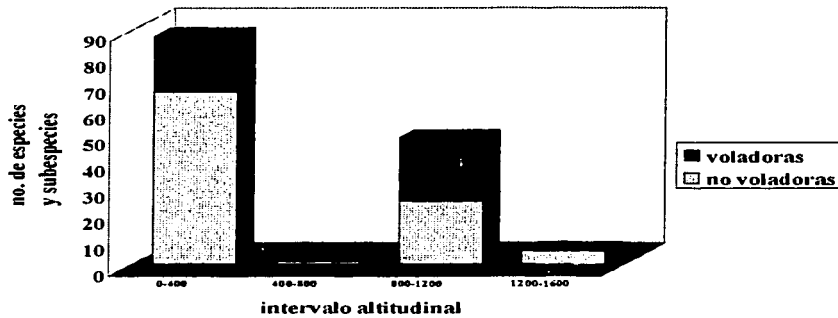


Figura 3. Número de taxa por intervalo altitudinal para la carta de La Paz ( incluye los estados de Baja California y parte del estado de Sinaloa )

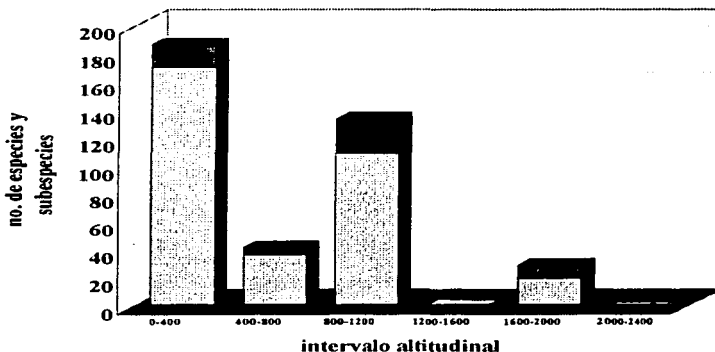


Figura 4. Número de taxa por intervalo altitudinal para la carta de Tijuana ( incluye los estados de Baja California y Sonora )

Para la región se observó que en todos los intervalos, excepto en el de 2000 -2400 m la distribución resultó significativa, con una mayor cantidad de taxa que las esperadas por factores azarosos ( $\chi^2 = 11.1$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 4), excepto en el intervalo de 400 - 800 m.

Para la carta de La Paz se tuvieron diferencias significativas para los casos de los intervalos altitudinales de 800 - 1200 m y de 1200 - 1600 m, ( $\chi^2 = 7.81$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 3), con mayor número de taxa que las esperadas al azar.

Para la carta de Tijuana todos los intervalos altitudinales fueron significativos, excepto de 400 a 800 m, donde se obtuvieron menos taxa que las esperadas ( $\chi^2 = 11.1$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 4 ).

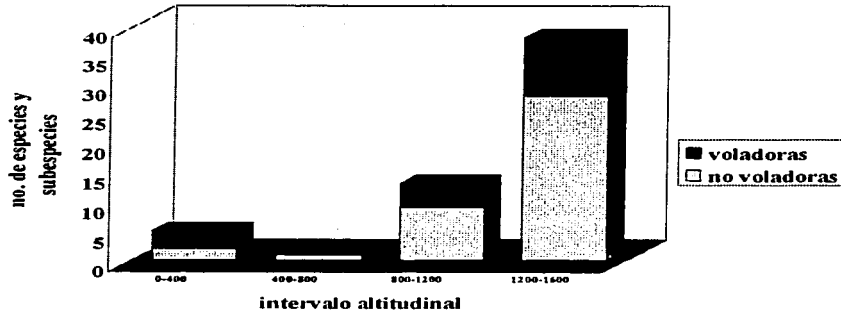


Figura 5. Número de taxa por intervalo altitudinal para la carta de Chihuahua ( incluye solamente una fracción del estado de Sinaloa )

En el caso de la carta de Chihuahua se registró un patrón similar que el de Tijuana, esto es, todos los intervalos altitudinales resultaron significativos, pero aquí se encontró un menor número de especies y subespecies que las esperadas para los intervalos de 0 - 400 m y de los 400 a los 800 m (  $X^2 = 7.81$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 3 ).

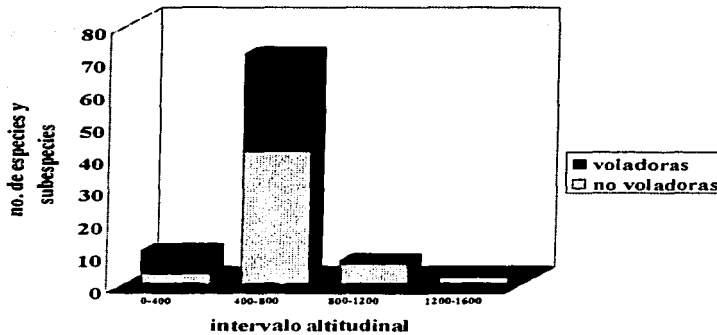


Figura 6. Número de taxa por intervalo altitudinal para la carta de Guadalajara ( incluye la parte sur del estado de Sinaloa y al estado de Nayarit )

Para la carta de Guadalajara se observaron patrones similares, ya que todos los intervalos fueron significativos. En este caso se obtuvieron mayor cantidad de especies y subespecies que las esperadas para los intervalos de 400 - 800 m y de 800 - 1200 m. Para los intervalos de 0 a 400 m y en el último intervalo aquí (1200 a 1600 m), se tuvieron menos taxa que las esperadas ( $X^2 = 7.81$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 3).

Una vez que se obtuvo el número de taxa presentes, tanto para la región en total, como por carta, se realizó una prueba de comparación de áreas, para toda la región, con el fin de examinar la riqueza de especies en áreas con similiares dimensiones (Fig. 7). Para esto, se efectuó un análisis de regresión, con el fin de evaluar la riqueza específica contra el área que ocupa cada

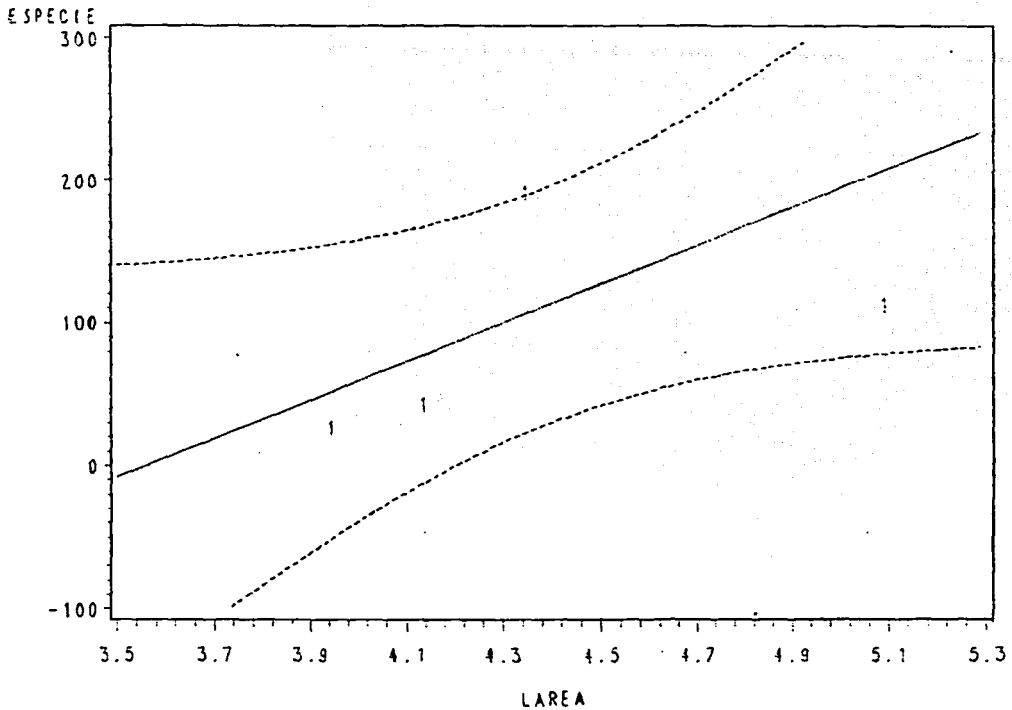


Figura 7. Relación entre el área ocupada por intervalo altitudinal y el número de especies y subespecies presentes ( $R^2 = 0.6473$ ;  $F = 7.356$ ;  $p > F = 0.0534$ ; g.l. = 4)

intervalo. Para el caso de la topografía (altitud) se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.6478 ( $F = 7.356$ ;  $p > F = 0.0534$ ;  $g.l. = 4$ ), lo que indica que los datos observados corresponden con los datos esperados en un 64.78%. Asimismo el único intervalo con diferencias significativas entre los valores observados y esperados corresponde al tercer intervalo (800 - 1200 m), el cual ocupa un área de 22022.03 km<sup>2</sup>, es decir, tiene la tercera área mas grande (Fig. 7).

Una vez comprobada la relación entre la riqueza de especies y el área que ocupa cada intervalo, se aplicó una prueba de  $X^2$  por intervalo altitudinal para determinar si la distribución de las especies o subespecies en esos intervalos era significativa de acuerdo a los datos esperados, suponiendo que las áreas que ocupan cada uno son iguales. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.

intervalo altitudinal ( metros )	área ( km <sup>2</sup> )	porcentaje del área	número de especies y subespecies	porcentaje de especies y subespecies	número de especies y subespecies esperadas	$X^2$ ( $X^2 = 3.841$ ; $p > .05$ ; $g.l=1$ )
0 - 400	168,404.19	49.76	288	38.56	288	—
400 - 800	122,091.65	36.07	114	17.04	210.21	44.03
800 - 1200	22,022.03	6.5	192	28.69	37.64	633.02
1200 - 1600	13,537.62	4	45	6.72	23.15	20.62
1600 - 2000	8,742.43	2.58	28	4.18	14.93	11.44
2000 - 2400	3,630.79	1.07	2	0.29	6.19	2.83

Cuadro 2. Prueba de  $X^2$  para los intervalos altitudinales en la región del Golfo de California.

## VEGETACIÓN

Con los datos obtenidos del análisis de tipos de coberturas se elaboraron las figuras que indican la distribución de las especies y subespecies por tipos

de hábitat considerados, tanto para toda la región (Fig. 8) como por carta (Fig. 9, 10, 11 y 12).

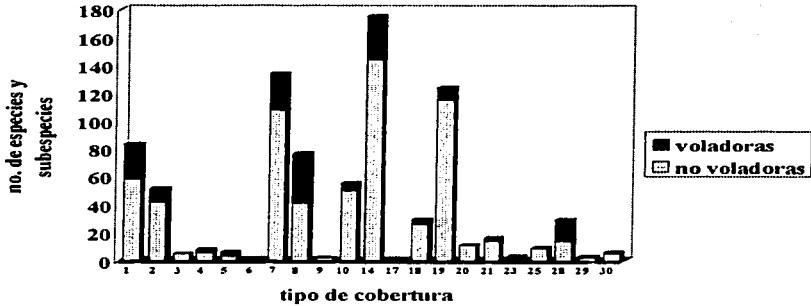


Figura 8. Número de taxa por tipo de cobertura vegetal para toda la región del Golfo de California.

A nivel regional, se tiene que el matorral sarcocaula es el tipo de cobertura con mayor riqueza de especies y subespecies con 175, seguido por el bosque de pino encino en donde se tienen 134 taxa y, en el matorral desértico micrófilo 124, taxa. Le siguen en importancia la agricultura de riego y la selva baja caducifolia con alrededor de 80 especies y subespecies cada una.

1	Agricultura de riego	20	Matorral desértico rosetófilo
2	Agricultura de temporal	21	Vegetación de desiertos arenosos
3	Áreas de riego suspendido	22	Vegetación de dunas costeras
4	Pastizal natural	23	Vegetación secundaria
5	Pastizal inducido	24	Vegetación de galería
6	Pastizal cultivado	25	Áreas sin vegetación aparente
7	Bosque de pino-encino	28	Pastizal halófilo
8	Selva baja caducifolia	29	Matorral subtropical
9	Manglar	30	Agricultura de humedad
10	Mezquital	31	Selva mediana subcaducifolia
14	Matorral sarcocaula	* NOTA: LOS TIPOS DE COBERTURA FUERON OBTENIDOS DE CARTOGRAFÍA DE INEGI	
16	Matorral sarco-crasicaule de neblina		
17	Matorral crasicaule		
18	Vegetación halófila		
19	Matorral desértico micrófilo		

Cuadro 7. Clave de identificación para los tipos de cobertura.



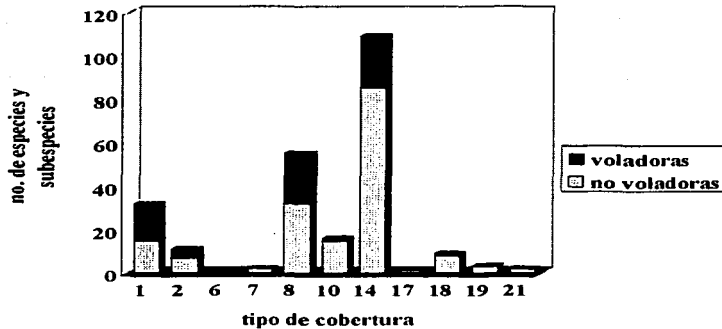


Figura 9. Número de taxa por tipo de cobertura vegetal para la carta de La Paz.

Para la carta de La Paz (Fig. 9), la mayor riqueza de mamíferos no voladores se encuentra en el matorral sarcocaula, la selva baja caducifolia, el mezquital y zonas de agricultura de riego; lo mismo sucede con los mamíferos voladores, excepto para el mezquital. Para la zona que corresponde a la carta de Tijuana (Fig. 10), los tipos de cobertura que presentaron más de 50 taxa de mamíferos no voladores son: matorral desértico micrófilo, bosque de pino-encino y matorral sarcocaula; la mayor riqueza de mamíferos voladores se encontró en el bosque de pino-encino, selva baja caducifolia y matorral desértico micrófilo. La región de Chihuahua (Fig. 11) presenta la mayor riqueza de mamíferos no voladores en el bosque de pino-encino y en zonas de agricultura de temporal y riego, y la mayor riqueza de mamíferos voladores se encontró en el bosque de pino-encino y en las zonas de vegetación secundaria.

Finalmente para la carta de Guadalajara (Fig. 12), la mayor riqueza de mamíferos no voladores se tuvo en el pastizal halófilo.

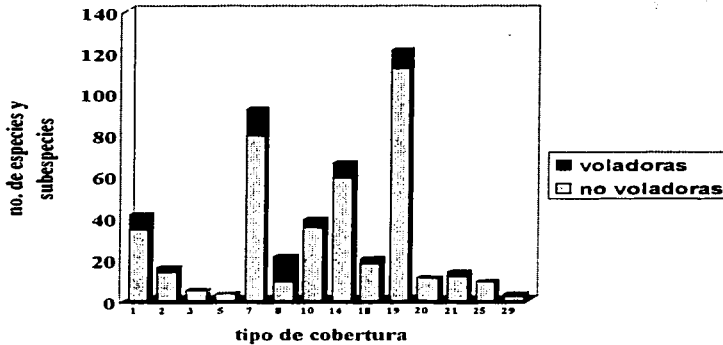


Figura 10. Número de taxa por tipo de cobertura vegetal para la carta de Tijuana.

Para la vegetación también se efectuó un análisis de comparación de área. Al igual que para el caso de la topografía (altitud), se realizó un análisis de regresión, así como las pruebas de significancia para toda la región.

El análisis de regresión mostró que la mayoría de los datos no se ajustan al modelo esperado ( $R^2 = 0.5077$ ;  $F = 24.751$ ;  $p > F = 0.0001$ ; g.l. = 24). De los 26 tipos de cobertura que se tienen registrados para toda la región, 16 tipos mostraron diferencias significativas con respecto a la riqueza esperada de acuerdo al modelo (Cuadro 3).

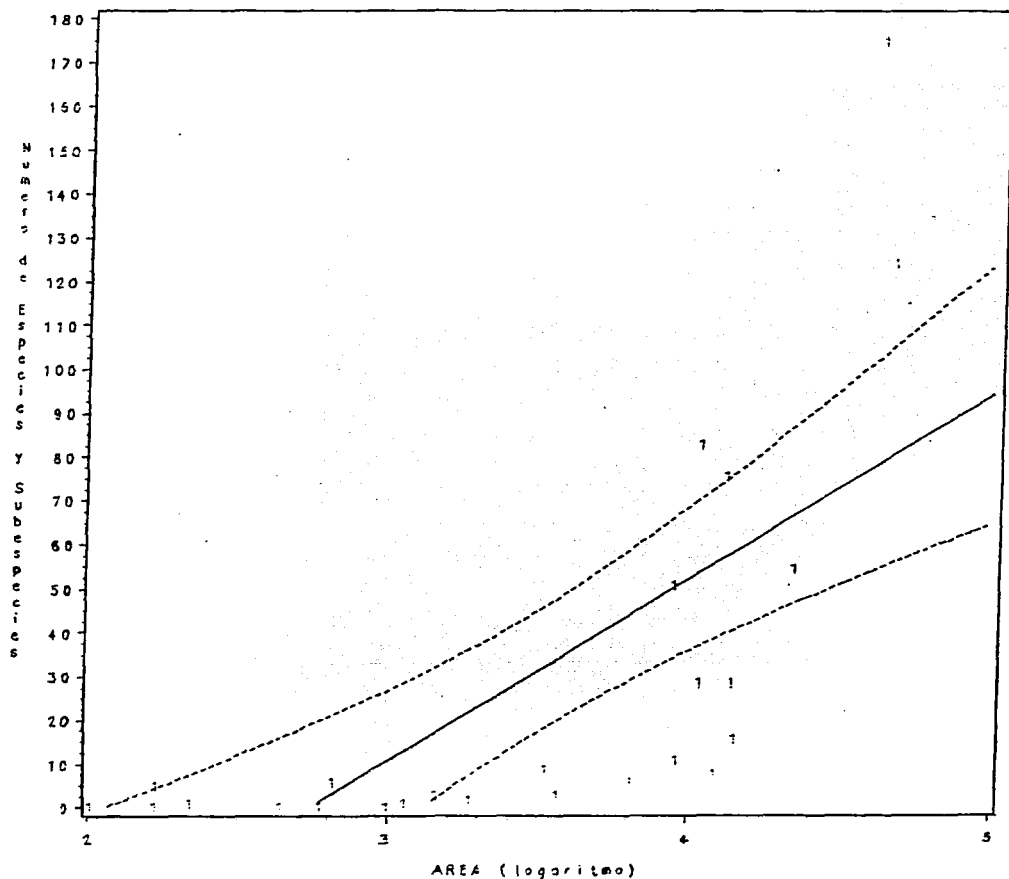


Figura 13. Relación entre el área ocupada por tipo de cobertura y el número de especies y subspecies presentes ( $R^2 = 0.5077$ ;  $F = 24.751$ ;  $p > F = 0.0001$ ; g.l. = 24)

La prueba de  $X^2$  fue significativa con respecto al azar para los siguientes tipos de cobertura: agricultura de riego, agricultura de temporal, áreas de riego suspendido, pastizal natural, pastizal inducido, selva baja caducifolia, matorral sarcocaula, matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, vegetación de desiertos arenosos y agricultura de humedad (Fig.13).

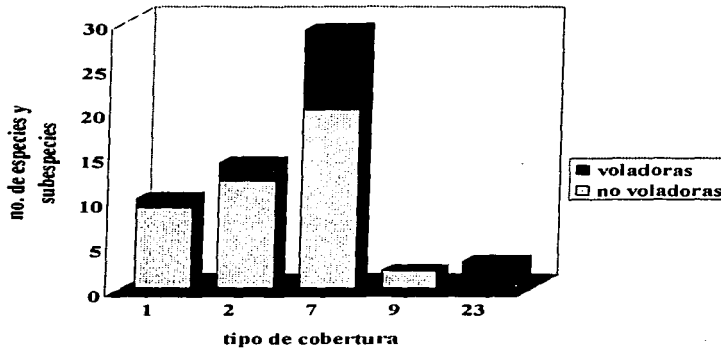


Figura 11. Número de taxa por tipo de cobertura vegetal para la carta de Chihuahua.

Para la carta de La Paz todos los tipos de cobertura resultaron significativos a excepción de las zonas de agricultura por riego suspendido, el pastizal natural, el pastizal inducido, el matorral sarco-crasicaule de neblina y el matorral desértico rosetófilo ( $X^2 = 31.41$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. = 20).

Para la carta de Tijuana (Fig. 10) los tipos de cobertura que no son significativos en la distribución de mamíferos son: los pastizales cultivados y el natural, el pastizal halófilo, bosque de pino-encino, manglar, matorral

crasicaule, matorral desértico micrófilo, vegetación de desiertos arenosos, vegetación de dunas costeras y la vegetación secundaria. El resto de los tipos de cobertura resultaron significativos ( $X^2 = 31.41$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. = 20).

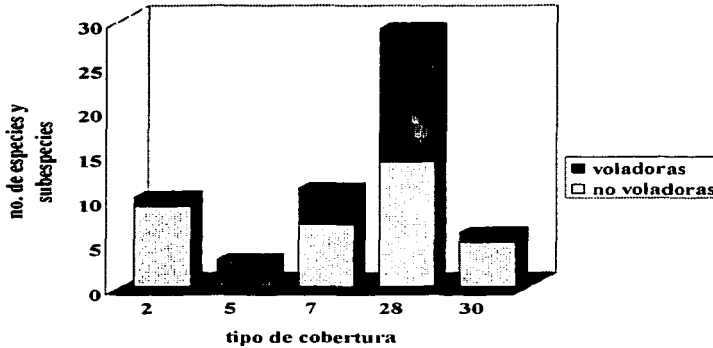


Figura 12. Número de taxa por tipo de cobertura vegetal para la carta de Guadalajara

Para la carta de Chihuahua (Fig. 11) los únicos tipos de cobertura que resultaron significativos fueron el manglar y la vegetación secundaria. El resto no lo fueron ( $X^2 = 15.5$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. = 8).

En el caso de la carta de Guadalajara (Fig. 12) los tipos de cobertura que resultaron significativos fueron las zonas de agricultura de temporal, pastizal inducido, el bosque de pino-encino y las zonas de agricultura de humedad. Los otros tipos de cobertura no fueron significativos ( $X^2 = 19.67$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. = 11).

Tipo de cobertura vegetal	área ( km <sup>2</sup> )	porcentaje del área	número de especies y subespecies	porcentaje de especies y subespecies	número de especies y subespecies esperadas	$\chi^2$ ( $\chi^2 = 3.841$ ; $p > .05$ ; $gl=1$ )
1. Agricultura de riego	10 540.59	3.84	83	10.03	23.84	146.80
2. Agricultura de temporal	8 822.89	3.22	51	6.16	20	48.05
3. Áreas de riego suspendido	165	0.001	5	0.60	0.006	4156.67
4. Pastizal natural	12 096.13	4.41	8	0.96	27.40	13.73
5. Pastizal inducido	6 351.46	2.31	6	0.72	14.34	4.85
6. Pastizal cultivado	213.24	0.07	1	0.12	0.43	0.75
7. Bosque de pino-encino	59 173.48	21.59	134	16.20	134	---
8. Selva baja caducifolia	12 777.57	4.66	76	9.18	28.94	76.52
9. Manglar	1 850.08	0.67	2	0.24	4.15	1.11
10. Mezquital	21 861.76	7.97	55	6.65	49.62	0.58
14. Matorral sarcocaula	40 167.45	14.65	175	21.16	91.15	77.13
16. Matorral sarcocaula de neblina	582.80	0.21	0	--	1.3	1.3
17. Matorral crasicaula	1 114.15	0.4	1	0.12	2.48	0.88
18. Vegetación halófila	10 669.96	3.89	29	3.50	24.14	0.97

19. Matorral desértico micrófilo	45 102.76	16.45	124	14.99	102.29	4.60
20. Matorral desértico rosetófilo	9 072.52	3.3	11	1.33	20.48	4.38
21. Vegetación de desiertos arenosos	13 927.87	5.08	16	1.93	31.52	7.64
22. Vegetación de dunas costeras	977.29	0.35	0	--	2.17	2.17
23. Vegetación secundaria	1 419.57	0.51	3	0.36	3.16	0.008
24. Vegetación de galería	163.82	0.059	0	--	0.36	0.36
25. Áreas sin vegetación aparente	3 295.89	1.2	9	1.08	7.44	0.32
28. Pastizal halófilo	13 556.22	4.82	29	3.50	29.97	0.03
29. Matorral subtropical	3 571.62	1.3	3	0.36	8.07	3.18
30. Agricultura de humedad	645.20	0.23	6	0.72	1.42	14.77
31. Selva mediana subcaducifolia	431.08	0.15	0	--	0.93	0.93

Cuadro 3 . Prueba de  $X^2$  por tipo de cobertura vegetal para la región del Golfo de California.

### PRECIPITACIÓN

Al igual que como se procedió con los dos factores anteriores se hizo con la precipitación, es decir, se unieron las bases de datos biológica y geográfica, y luego, se obtuvieron las especies y subespecies correspondientes a esas

localidades, con lo cual se obtuvo la diversidad presente por polígono de precipitación.

Los resultados totales por región en el caso del factor precipitación muestran que la mayor riqueza de especies se presenta en el segundo intervalo (100 - 200 mm), seguido por el primero (0 - 100 mm), con 186 y 137 subespecies respectivamente. En el tercero (200 - 300 mm), cuarto (400 - 500 mm) y octavo intervalos (700 - 800 mm) se encuentran más de 60 subespecies (80, 64 y 76 subespecies) (Fig. 14).

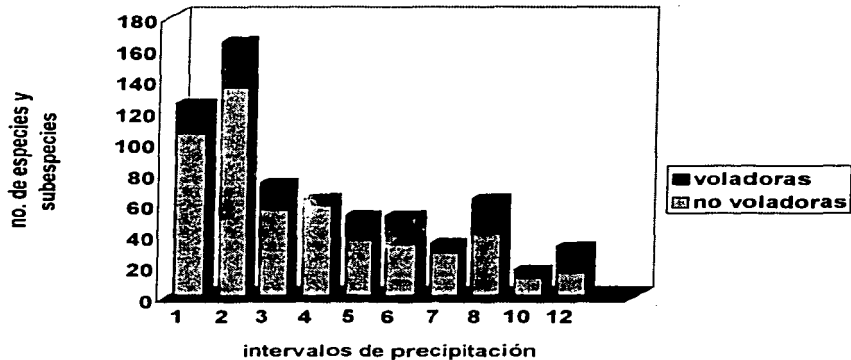


Fig. 14 Número de taxa por intervalo de precipitación para la Región del Golfo de California

Para el caso de la carta de La Paz, la mayor riqueza se presenta en el segundo intervalo (100 - 200 mm), seguido por el primero (0 - 100 m) y el tercero (200 - 300 mm), todos con mas de 40 subespecies (Fig. 15).



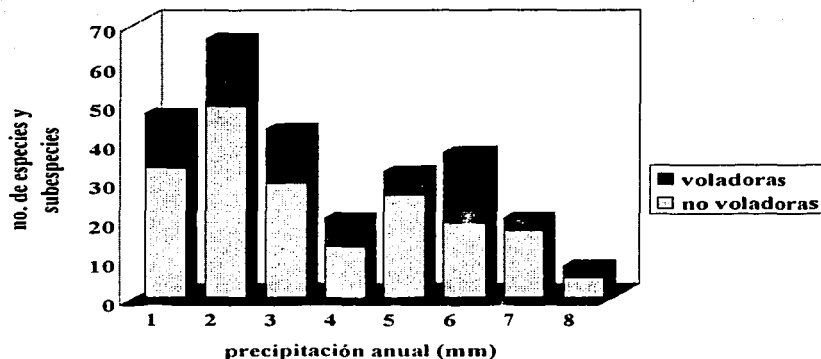


Figura 15. Número de taxa por intervalo de precipitación para la carta de La Paz.

Aunque los mamíferos voladores estuvieron presentes en todos los polígonos de esta carta, la riqueza no es muy grande en ninguno de ellos excepto en el caso del sexto intervalo (500 a 600 mm), en donde casi representaban la totalidad de la fauna mastozoológica, en este caso 18 subespecies de murciélagos, comparadas con las 19 de mamíferos no voladores.

En la carta de Tijuana, los intervalos segundo (100 - 200 mm) y primero, (0 a 100 mm) son los que presentan una mayor riqueza con un 37.5 % y un 28.12 % respectivamente, de las 320 subespecies presentes (Fig. 16).

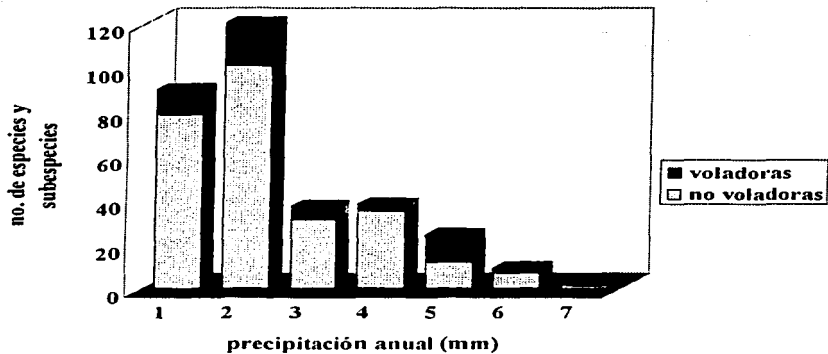


Figura 16. Número de taxa por intervalo de precipitación para la carta de Tijuana

Por otra parte se encontraron murciélagos en todos los intervalos, siendo su mayor número en los intervalos dos (100 - 200 mm) y el cinco (400 - 500 mm), en comparación con el número de subespecies de mamíferos terrestres que se tienen registrados. En ambos intervalos la riqueza de murciélagos corresponde 50 % de las especies registradas.

Para la carta de Chihuahua se debe hacer notar que no se cuenta con registros de taxa para los tres primeros intervalos (desde cero hasta 400 mm), probablemente debido a un sesgo en la colecta. En el cuarto intervalo se cuenta con 16 subespecies. La mayor riqueza de especies se presenta en los intervalos de 800 a 1 000 mm y de 400 a 500 mm con 21 y 16 subespecies respectivamente (Fig. 17).

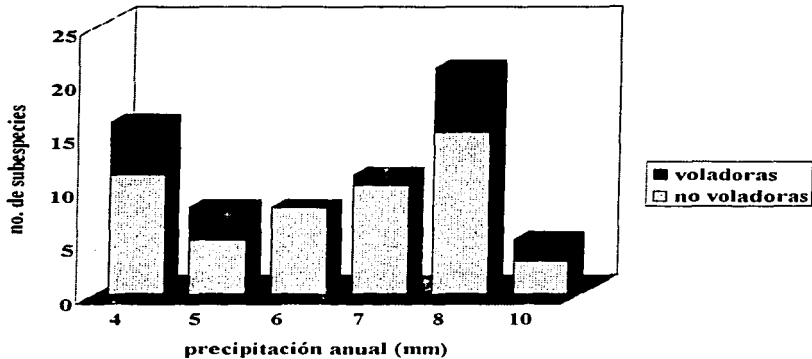


Figura 17. Número de taxa por intervalo de precipitación para la carta de Chihuahua

Para el caso de los murciélagos los intervalos con mayor riqueza de especies son también el de 700 a 800 mm y el de 300 a 400 mm, es decir los que presentan el mayor número de subespecies. No se cuenta con registros de especies en el sexto intervalo (500 - 600 mm).

Para la carta de Guadalajara sucede algo similar que para el caso de Chihuahua, esto es, no se tienen registradas especies en los primeros cuatro intervalos de precipitación (de cero a 400 mm), luego solo una subespecie en el quinto (500 - 600 mm), en el séptimo (600 - 700 mm) se tienen 23 y la mayor riqueza se presenta en el 8 (700 a 800 mm) con 47 subespecies (Fig. 18).

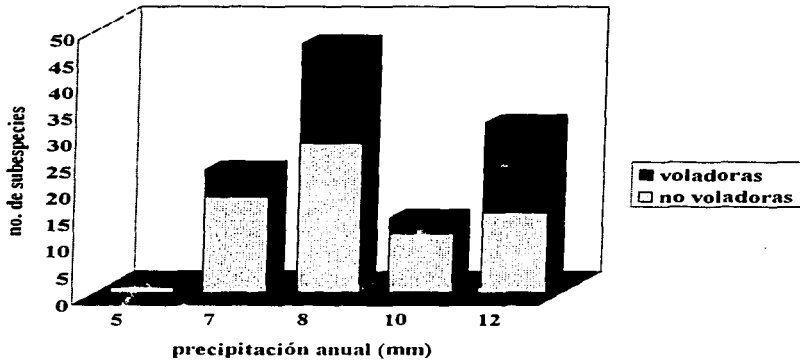


Figura 18. Número de taxa por intervalo de precipitación para la carta de Guadalajara.

Respecto a los murciélagos, la mayor riqueza se encontró en los intervalos 8 (700 - 800 mm) y 12 (1200 - 1400 mm), aportando en conjunto el 81.81 % del total de subespecies de murciélagos que se tienen registrados para esa carta y el 49.31 % del total de mamíferos.

Con este factor se procedió de la misma manera que con los factores anteriores. El análisis de regresión muestra que no existe mucha relación entre los datos observados y los esperados ( $R^2 = 0.5616$ ;  $F = 10.249$ ;  $p > F = 0.0126$ ; g.l. = 8). En la prueba de  $X^2$ , cuatro intervalos presentan diferencias significativas, los cuales corresponden a los intervalos 2 (100 - 200 mm), 5 (400 - 500 mm), 6 (600 - 700 mm) y 12 (1200 - 1400 mm). Los resultados de la prueba de  $X^2$  para toda la región se presentan en el Cuadro 4.

intervalo pp ( mm )	área ( km <sup>2</sup> )	porcentaje del área	número de especies y subespecies	Porcentaje de especies y subespecies	número de especies y subespecies esperadas	$\chi^2$ $\chi^2 = 3.841$ ; $p < 0.05$ ; g.l.=1
1 (100-200)	70,331.4	21.35	137	17.81	137	—
2 (200-300)	47,756.46	14.5	186	24.18	93.19	92.43
3 (300-400)	48,720.24	14.79	80	10.4	95.13	2.40
4 (400-500)	33,405.54	10.14	64	8.32	65.23	0.02
5 (500-600)	37,587.29	11.41	65	8.45	73.26	0.93
6 (600-700)	30,194.17	9.16	54	7.02	58.79	0.39
7 (700-800)	15,334	4.65	56	7.28	29.84	22.93
8 (800-1000)	24,944.12	7.57	76	9.88	48.58	15.47
10 (1000-1200)	11,634.82	3.53	19	2.47	22.68	0.59
12 (1200-1400)	9,389.78	2.85	32	4.16	18.29	10.27

Cuadro 4. Prueba de  $\chi^2$  para los intervalos de precipitación en la Región del Golfo de California.

Al realizar la prueba de  $\chi^2$  para cada carta, se encontraron los siguientes resultados:

Para la carta de la Paz todos los intervalos resultaron significativos ( $\chi^2 = 18.48$ ;  $p > 0.01$ ; g.l. = 7).

Para la carta de Tijuana, solo los intervalos 1 (0 - 100 mm), 2 (100 - 200 mm) y 4 (300 - 400 mm) resultaron significativos al 99 % ( $\chi^2 = 16.81$ ;  $p > 0.01$ ; g.l. = 6). El resto de los intervalos no mostró diferencias significativas.

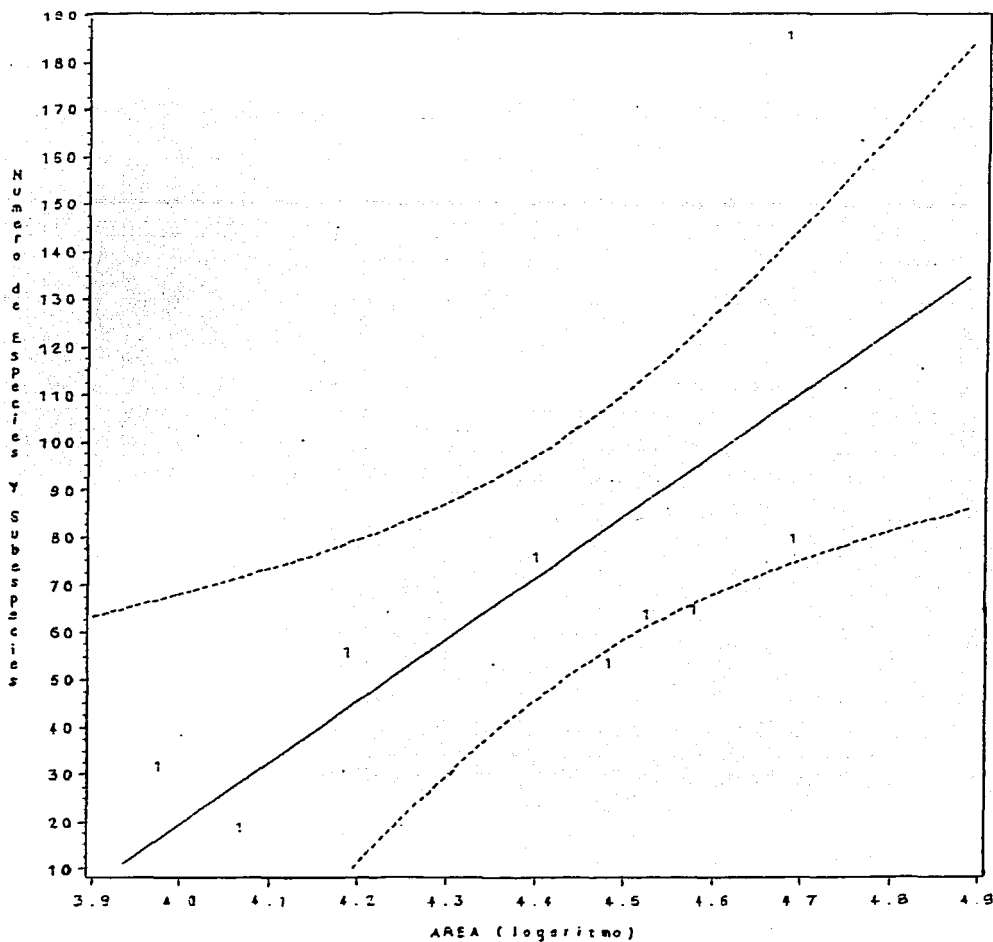


Figura 19. Relación entre el área ocupada por intervalo de precipitación y el número de especies y subespecies presentes ( $R^2 = 0.5616$ ;  $F = 10.249$ ;  $p > F = 0.0126$ ; g.l. = 8)

Para la región que comprende la carta de Chihuahua, todos los intervalos presentes, excepto el 4 (300 - 400 mm) resultaron significativos al 95% ( $X^2 = 11.07$ ;  $p > 0.05$ ; g.l. = 5).

Para la carta de Guadalajara, solo el quinto intervalo (400 - 500 mm) y el séptimo (600 - 700 mm) resultaron significativos ( $X^2 = 16.81$ ;  $p > 0.01$ ; g.l. = 6). El resto de los intervalos no mostró diferencias significativas.

### **ANÁLISIS GLIM**

En el caso del análisis efectuado con los modelos lineales generalizados, los resultados se resumen en el Cuadro 5. Para realizar estos análisis, se utilizaron las matrices de conteo de las subespecies para cada carta. En este caso no se separó entre voladores y no voladores, ya que lo que se evaluaba era el efecto de los factores sobre el conjunto de la mastofauna en la región. En este cuadro se puede observar el cambio en la devianza que se obtuvo al analizar cada uno de los factores presentes para cada carta, así como el porcentaje de explicación y el resultado de la prueba de  $X^2$  para cada factor; esto se obtuvo a partir del cambio en la devianza del modelo general y del cambio en los grados de libertad. De manera general, se puede observar que en todos los casos, el factor que mejor explica de manera independiente, aunque no completamente, la distribución de las subespecies es el tipo de cobertura. Asimismo, se puede observar que en todos los casos, los factores resultaron significativos al aplicar la prueba de  $X^2$ , a excepción de precipitación para la carta de Chihuahua, donde el resultado no fue significativo.

Carta	factor	cambio en la devianza	porcentaje de explicación	$\chi^2$
La Paz	topografía	23	2.82	12.83 *; g.l. = 3
	precipitación	203.7	25	21.95 *; g.l. = 8
	vegetación	364.9	44.79	29.8 *; g.l. = 13
Tijuana	topografía	60.59	9.11	14.86 *; g.l. = 4
	precipitación	105.84	15.92	18.54 *; g.l. = 6
	vegetación	127.48	19.18	37.15 *; g.l. = 18
Chihuahua	topografía	6.96	26.9	6.2 *; g.l. = 3
	precipitación	2.52	9.74	no significativo
	vegetación	13.01	50.28	12.83 *; g.l. = 5
Guadalajara	topografía	26.73	16.49	12.83 *; g.l. = 3
	precipitación	23.84	14.71	16.75 *; g.l. = 5
	vegetación	39.36	24.28	21.95 *; g.l. = 8

\* p &gt; 0.1

Cuadro 5. Análisis de GLIM por carta para cada uno de los factores empleados en el análisis.

Asimismo, y como parte de la metodología de GLIM, se efectuó una prueba de *t* de Student para evaluar si existen diferencias entre cada uno de los niveles que presenta cada factor, a fin de corroborar el análisis realizado anteriormente para cada uno de los factores en el sistema de información geográfica. Los resultados obtenidos fueron:

### La Paz

Topografía. Para esta carta se encontró que el tercer intervalo (800 - 1200 m) resultó más significativo (  $t = 2.13$ ,  $p < 0.05$ , g.l. 3 ) al explicar mejor la presencia de subespecies que los otros tres intervalos que se hallan en la zona.



Precipitación. En este caso el segundo intervalo (100 a 200 mm) seguido del de cero a 100 mm son los intervalos que mejor explican la distribución de especies ( $t = 1.86$ ,  $p < 0.05$ , g.l. 8).

Vegetación. Los dos tipos de cobertura más importantes por riqueza de especies y subespecies en la zona son el pastizal cultivado, el matorral crasicaule y el matorral sarcocaule ( $t = 1.77$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 13).

### **Tijuana**

Topografía. En esta carta el sexto intervalo altitudinal (2000 - 2400 m) seguido del tercero (800 - 1200 m) son los más importantes por riqueza de especies ( $t = 2.13$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 4).

Precipitación. En los intervalos con precipitación pluvial entre 600 y 700 mm y entre 100 a 200 mm se encuentra que se explica mejor la presencia de especies según la prueba de t de Student ( $t = 1.94$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 6).

Vegetación. Los tipos de cobertura más importantes para la distribución de especies según las pruebas de significancia son los de chaparral, matorral sarcocrasicaule de neblina y matorral desértico micrófilo ( $t = 1.73$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 18).

### **Chihuahua**

Topografía. Al analizar los resultados de la prueba de t de Student para esta carta, los intervalos altitudinales más importantes por riqueza de especies fueron el segundo (400 - 800 m) y el tercero (800 - 1200 m) ( $t = 1.63$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 3).

Precipitación. Para el caso de este factor, ningún intervalo resultó significativo.

Vegetación. Para esta carta se encontró que los tipos de cobertura más importantes para la distribución de las subespecies fueron la selva baja caducifolia, seguida de agricultura de temporal y el bosque de pino-encino ( $t = 2.01$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 5).

### **Guadalajara.**

Topografía. En esta carta, los intervalos altitudinales que tuvieron importancia de acuerdo a la riqueza de especies, fueron el segundo (400 - 800 m) y el tercero (800 - 1200 m), al igual que para la carta de Chihuahua ( $t = 2.13$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 3).

Precipitación. En este caso tampoco se encontró ningún intervalo que fuera significativo en la distribución de las especies.

Vegetación. Para el caso de este factor, los tipos de vegetación que resultaron importantes fueron la vegetación halófila, el manglar y las áreas de riego suspendido ( $t = 1.86$ ,  $p < 0.05$ ; g.l. 8).

A partir de estos resultados, se tiene que ninguno de los tres factores puede explicar en un 100 % el cambio en la devianza, es decir, ninguno de ellos por sí mismo puede explicar la distribución de las especies de mamíferos. Por lo tanto, se decidió diseñar un modelo según el cual se pueda encontrar la mejor combinación de los factores - y sus niveles respectivos - en cuestión. Existen dos maneras de efectuarlo, ya sea por medio de un análisis aditivo y, en caso de ser todavía necesario, un análisis anidado. En el primer caso, lo que se hace es obtener la sumatoria de las varianzas de los factores involucrados, la cual se resta de la devianza total; de esta manera se puede calcular - por medio del cambio en esta devianza - el efecto de esos factores en la variable de respuesta, en este caso la riqueza de especies. El cambio en la devianza se puede transformar en porcentajes de explicación para cada factor.

Para el análisis aditivo, se evaluó el efecto que tenían los factores cuando uno de ellos se encontraban interactuando con otros, con la finalidad de poder obtener un modelo que explicara lo mejor posible la influencia de los tres factores sobre la distribución de las especies. Para cada modelo se calculó - a partir de la devianza total - el cambio en la devianza al interactuar topografía

(altitud) y precipitación, y el cambio en la devianza cuando interactuaban los tres factores, realizando una prueba de  $X^2$  para evaluar la significancia de esos cambios en la devianza. Así mismo, se evaluó el porcentaje de influencia para cada combinación de factores. Se puede observar que al sumar el efecto de los tres factores, el porcentaje de explicación aumenta, aunque no se puede explicar el 100 % de la distribución de las especies con este modelo solamente (Cuadro 6). Sin embargo, el poder explicar arriba del 60% de la distribución a partir de un modelo como este es aceptable.

Finalmente se realizó un análisis que involucrara la anidación de dos de los factores, de tal manera que pudiera explicarse el 100 % de la devianza para cada una de las cartas. En las pruebas de GLIM un análisis anidado es aquel en el que se establece una jerarquía entre los factores de trabajo a partir del análisis aditivo. Por ejemplo, si para una región determinada se tienen los factores, A, B y C, y se realiza un análisis aditivo donde se observa que al sumar el efecto de los tres factores no se puede explicar el 100 % de la riqueza específica ( S ), sino tan sólo el 80 %, se puede suponer que el 20 % restante es el resultado de la combinación entre alguno de estos factores, por ejemplo A y B ó B y C. El diseño del modelo resultante considera cuál de los factores explica de manera mas general la riqueza específica.

Si en nuestro ejemplo B y C son la combinación que explica el porcentaje restante (20 %) y A explica de manera independiente un porcentaje muy bajo de la riqueza, el modelo toma la siguiente forma:

$$S = A + B + C + B / C$$

de tal manera que se tenga que considerar el efecto aditivo de cada uno de los factores (A + B + C = 80 %) y el de la combinación de dos de ellos

(B / C = 20 %), para, finalmente, a partir de un grupo de datos, identificar el modelo mas adecuado que explique su comportamiento.

	factor	cambio en la devianza	porcentaje de explicación	$\chi^2$
La Paz	T + P + V	420.4	51.60	29.81*; g.l. = 13
	T + P + V + (P / V)	119.5	100	42.31*; g.l. = 18
Tijuana	T + P + V	193.22	29.07	37.15*; g.l. = 18
	T + P + V + (P / V)	229.43	100	49.72*; g.l. = 23
	T + P + V + (T / P)	113.9	95.48	40.79*; g.l. = 17
Chihuahua	T + P + V	8.18	34.05	7.77*; g.l. = 4
	T + P + V + (P / V)	25.87	100	24.73*; g.l. = 13
Guadalajara	T + P + V	38.10	23.51	26.12*; g.l. = 8
	T + P + V + (P / V)	159.2	98.24	48.26*; g.l. = 22

\*  $p > 0.1$

Cuadro 6. Prueba de GLIM para análisis aditivo y anidado (T = topografía; P = precipitación; V = vegetación).

En este análisis también se realizó una prueba de  $X^2$  para evaluar el cambio en la devianza, y posteriormente se calculó el porcentaje de explicación del modelo (Cuadro 6). Para todas las cartas, a excepción de una porción de la carta de Tijuana, se encontró que el modelo que mejor explicaba la distribución de las especies y subespecies era el que involucraba el efecto de los tres factores de manera aditiva, más la presencia de un cuarto factor que era la combinación o anidación de la vegetación dentro de la precipitación, lo que significa que la vegetación se encuentra determinada por la precipitación, y la topografía actúa de manera más general sobre la distribución de las especies. Para la carta de Tijuana, el modelo fue muy similar, con la excepción de que los factores anidados fueron la precipitación dentro de la topografía, esto es, de manera más general el factor más importante fue la topografía, la cual determina a su vez la precipitación.

## VII. DISCUSIÓN

Las explicaciones sobre la variación geográfica en la distribución de la riqueza de especies han estimulado numerosas discusiones que han planteado sus propias hipótesis para explicar la riqueza de especies (Merriam, 1890; MacArthur, 1961,1962; Huston, 1979; MacArthur, 1979; Pianka, 1983; Colwell et al., 1994).

En 1961, MacArthur analizó la diversidad de especies de aves en función de la estructura del follaje y su altura, antes que asignar alguna importancia a la relación especies-área. Desde este momento se comienzan a realizar estudios sobre la composición de especies en una comunidad y los factores que intervienen en su distribución; en términos del ambiente que controla la diversidad de especies se puede concluir que, o bien las especies están distribuidas al azar, o que, en el caso del estudio de MacArthur, las aves utilizan condiciones muy similares entre sí pero con las diferencias necesarias como criterio de selección de habitats. De esta forma, MacArthur analiza la altura del follaje en una primera aproximación, encontrando que hay cierta preferencia por algunas alturas. Posteriormente (MacArthur, 1962) realiza una segunda medición y encuentra que se puede identificar la distribución de una especie en función del número de parches de vegetación cuyo patrón sea el utilizado por la misma especie, lo que habla que la distribución de las aves no es azarosa. Este mismo patrón se puede aplicar en cierta forma a mamíferos, ya que estos tampoco muestran una distribución azarosa, aunque existen diferencias entre ambos grupos. Por ejemplo y en general, los mamíferos son mas susceptibles a las barreras geográficas que las aves, lo que puede resultar que, para ciertas regiones, las tasas de endemismos sean mas altas para los primeros que para las aves (Blondel y Vigne, 1993).

Ahora bien, la mayor parte de los análisis realizados sobre la distribución de mamíferos se han basado en factores ambientales aislados, a diferencia de

este trabajo en el cual se analizaron los factores bióticos y abióticos en conjunto para definir su relación con la distribución y a diferencia de otros estudios, poder plantear un modelo a partir del cual se este en posibilidad de analizar con mayor precisión la distribución de los mamíferos.

Un caso de análisis de cada factor geográfico de manera independiente, se tiene al proponer que tal vez exista una regla de patrones altitudinales similar o a manera de extensión de la regla latitudinal de Rapoport (Stevens, 1992), al cual se pudiese atribuir algún efecto en la riqueza específica de una región por sí mismo (Brown, 1988; Colwell, 1994).

En la primera parte de este trabajo se analizaron el efecto de cada uno de los factores sobre la distribución de los mamíferos de la Región del Golfo de California.

Para el caso del factor topografía, es decir la altura reportada para cada registro a nivel regional, existe un mayor número de subespecies (288) para el intervalo que comprende de los 0 a los 400 m, mayor que cualquier otro intervalo altitudinal. Este intervalo ocupa el 49.76 % de toda el área de la región, repitiéndose el mismo patrón cuando se analiza cada una las cartas que engloban la península de Baja California. Una posible causa de esto es que la mayor parte de la península tiene pendientes muy ligeras y extensas, o presenta grandes regiones casi planas y áridas como el Desierto de Altar en Sonora.

Para las dos cartas restantes, Chihuahua y Guadalajara, el intervalo de 0 a 400 m contiene pocas subespecies, lo cual puede deberse a que el área que ocupa este intervalo desde la costa al interior del continente es pequeño, aunque puede deberse también a la poca diversidad de hábitats presentes en el mismo, sin descartar una combinación de ambos.

En el intervalo que comprende de los 800 a los 1200 m se tiene un aumento en número de subespecies (192), a pesar de que este intervalo corresponde apenas al 4 % del área total de la región. Esto ocurre para las cartas de La Paz y Tijuana, y puede deberse a que al incrementarse la altitud se encuentra a su vez un incremento en la heterogeneidad ambiental (Newmark, 1986). Estos resultados son similares a los encontrados por Hall (1981) quien señala que la región suroeste de los Estados Unidos contiene más subespecies de mamíferos que ninguna otra área continental en el mundo de tamaño similar. Hall atribuye esta diversidad de subespecies al alto grado de relieve topográfico y a la variedad de hábitat en esta área, características que promueven el aislamiento geográfico y la especialización (Pagel *et al.*, 1991).

En intervalos superiores, esto es, de los 1600 a los 2400 m, en el caso de la carta de Tijuana, el número de subespecies es alto (30) con relación al área que presentan (3.31 y 1.35 % de la carta, respectivamente). La misma explicación es válida para la carta de Chihuahua, donde el intervalo con mayor número de subespecies es el cuarto, es decir, de los 1200 a los 1600 m. Estos datos concuerdan asimismo con datos obtenidos de trabajos como el de Heaney (1984) realizados en Filipinas. Además se tiene que en intervalos altitudinales mayores existe un mayor número de especies endémicas lo cual se puede explicar por el aislamiento que presentan estas regiones y la fragmentación que existe en la cobertura vegetal. De este modo, Brown (1995) propone que hábitats altamente fragmentados con una baja dispersión entre los parches favorecen una riqueza baja pero un alto grado de endemidad, fenómeno que podría estar ocurriendo en esta región.

El aumento en la riqueza específica a mayor altitud puede estar relacionado con el aumento en la heterogeneidad ambiental y, el aumento en las especies endémicas, con un mayor número de refugios de especies sobrevivientes a condiciones ambientales extremas. Además, como se verá



posteriormente - análisis GLIM - existe una relación entre la altura (topografía) y los tipos de vegetación presentes, y tal vez, un aumento de la heterogeneidad ambiental en su conjunto (Patterson, *et al.*, 1989; Pagel *et al.*, 1991). En otros estudios se ha visto que estos factores actúan en conjunto para determinar o modificar no solo la riqueza sino la diversidad de las especies (Pizzimenti y De Salle, 1981; Patterson *et al.*, 1989).

Para el estado de Nayarit, el intervalo altitudinal con mayor número de subespecies es el que va de los 400 a los 800 m. Esto se puede explicar por la falta de carreteras, ya que las principales carreteras que parten de ciudades importantes como Tepic llegan precisamente a dicho intervalo, (400-800 mts) en el que se tiene un mayor número de colectas y que a su vez ocasiona un sesgo de colecta (Colwell, 1994). A pesar de que a alturas superiores el número de subespecies colectadas es pequeño (8), la mitad corresponden a especies endémicas. La ausencia de murciélagos y el bajo número de mamíferos terrestres registrados a partir de los 800 m, se debe probablemente al poco esfuerzo de captura realizado en esta zona.

Lo anterior contrasta con la hipótesis según la cual, conforme aumenta el área se incrementa a su vez el número de especies y viceversa (Preston, 1962; MacArthur & Wilson, 1967). En este caso la teoría de biogeografía de islas predice que las islas de mayor tamaño contienen más especies porque las probabilidades de extinción de las especies son menores que en las islas de menor superficie. Por otra parte, existe un caso en el que se demostró la existencia del efecto del área per se (Nilsson *et al.*, 1988). En ese estudio, al separar el efecto del área de las otras variables, incluyendo la heterogeneidad del ambiente se llegó a la conclusión de que aquella era muy importante sobre el número de especies de plantas e invertebrados en una serie de islas en Suecia. Sin embargo, en la región del Golfo de California, al realizar la comparación de las áreas, se tiene que el intervalo altitudinal mas importante por la riqueza de

subespecies que alberga es el que corresponde a los 800 - 1200 m, lo cual concuerda con la hipótesis de Simberloff (1985) y los trabajos de Arita en México (Arita, 1993), quienes plantean que el área no necesariamente está relacionada con la riqueza de especies, es decir, que se pueden tener áreas pequeñas con una gran riqueza de especies (Fig. 8) (Colwell, 1994). Estos resultados también concuerdan con trabajos donde se ha demostrado que condiciones físicas como la aridez, en el caso del Desierto de Altar, limitan la riqueza de especies, ya que éstas experimentan una gran variación temporal de los factores abióticos (Brown, 1995).

Como ya se mencionó en el análisis de áreas, ésta tiene una influencia muy limitada sobre la riqueza de especies en la región. Es posible que el mecanismo sugerido principalmente por MacArthur y Wilson, funcione en ciertas escalas pequeñas y en archipiélagos, pero su validez sea menor a escalas mayores (Rosenzweig, 1992). A estas escalas, los patrones que se han encontrado en otros estudios (Simberloff, 1985; Fischer, 1960; Simpson, 1964; Heaney, 1984; Morse *et al.*, 1988; Gaston & Lawson, 1988; Brown, 1995) referentes a la distribución de otros grupos de organismos, tanto mamíferos, aves, reptiles, peces, insectos y plantas son muy similares a los encontrados en este trabajo, lo que nos lleva a pensar que los patrones aquí presentados no solo suceden a nivel regional, sino que pueden ser patrones globales, independientes de la escala y temporalidad, los cuales se dan en diferentes grupos taxonómicos.

Debe tomarse en cuenta que los datos cuentan con un sesgo en la colecta, ya que existe una mayor concentración de registros en los límites de los caminos principales, sobre todo en el continente (Bojórquez-Tapia *et al.* 1994; Sánchez-Cordero, *et al.* 1997).

En lo que se refiere a la vegetación, se tienen una gran cantidad de tipos de coberturas presentes para toda la región. Al realizar el análisis de comparación

de áreas, se tiene que el 43.12 % del total del área comparada, y que comprende siete tipos de coberturas diferentes, cuenta con el 53.20 % de la fauna de la región ( Fig. 14 ). De estos siete tipos, tres corresponden a zonas de agricultura. La fauna que se encuentra aquí seguramente tiene hábitos alimentarios herbívoros, granívoros o insectívoros, por lo que estos sitios aseguran la sobrevivencia de los organismos durante buena parte del año. Los otros cuatro tipos de cobertura corresponden al pastizal, selva baja caducifolia, matorral sarcocaulé y mezquital.

Un factor que se debe mencionar lo constituye el hecho de que muchos de los registros que se tienen para los mamíferos de la región son de hace más de 40 años, por lo cual es muy probable que la vegetación de esas localidades no sea ya la original. Así, puede suceder que muchas de las especies hayan ocupado nuevos nichos aprovechando las condiciones de perturbación existentes y algunas otras hallan desaparecido o se encuentran en peligro de hacerlo (Sánchez-Cordero, *et al.*, 1993; Illoldi, 1994).

El incremento aparente en la diversidad de los hábitats es un artefacto del disturbio humano que debe ser visto como un problema en el manejo de las comunidades. Este efecto es análogo al incremento en la diversidad de especies a nivel local que puede ocurrir posterior a un disturbio. La diversidad es mas grande debido al mayor número de tipos sucesionales regionales comunes en el paisaje, pero a costa de toda la diversidad regional (Ricklefs, 1987).

Al respecto, existen algunos estudios en donde se consideran importantes a los elementos climáticos, como en el estudio de Owen (1990) quien utiliza dos hipótesis como marco general para el planteamiento de su trabajo. En dicho trabajo se plantea que áreas con climas estables permiten un flujo mas constante de recursos dentro de una comunidad lo que permite una mejor explotación de los recursos alimentarios y como consecuencia de ello la evolución de nichos mas

especializados (Pianka, 1983). En contraste, la explotación de climas inestables requiere la evolución de intervalos de tolerancia a las condiciones mucho mas amplios para poder sobrevivir. Como consecuencia, el número de especies disminuye conforme aumenta la amplitud de las fluctuaciones climáticas periódicas (MacArthur, 1965; May y MacArthur, 1972). Además, la hipótesis de inestabilidad climática menciona que la variación climática no predecible puede funcionar biológicamente como una forma de disturbio. Estas disrupciones estocásticas pueden impedir que las comunidades de mamíferos alcancen un equilibrio de manera que se presenta un disturbio intermedio en las condiciones de riqueza de especies (Connell, 1978) lo cual podría explicar el alto número de subespecies registradas en los siete tipos de vegetación, principalmente en las zonas de agricultura.

Por otro lado, Levin & Paine (1974) mostraron que en ciertos habitats, los niveles mas altos de la diversidad se encontraron en niveles intermedios de disturbio. En estos casos, el disturbio intermedio genera la mas grande heterogeneidad espacial efectiva ya que allí se presentan todos los diferentes tipos de hábitats característicos de la sucesión, es decir, algunos habitats con disturbio reciente y otros en la últimas fases sucesionales. La heterogeneidad efectiva mas alta ocurre en habitats intermedios, desde el punto de vista sucesional, y dicha heterogeneidad permite que numerosas especies coexistan ademas de que la frecuencia de los disturbios no permite que exista tiempo suficiente para que ocurra la exclusión competitiva (Connell, 1978; Huston, 1979; Blair, 1996). Sin embargo, es necesario realizar un estudio a una escala mucho mayor de manera que se pueda incluir la competencia como un factor adicional, ya que a la presenta escala su efecto no es reconocible.

En este trabajo, también se encontró que el bosque de pino-encino cuenta con el 21.59 % del total del área y en él se encuentra un 16.20 % de la mastofauna de la región. Este tipo de vegetación se encuentra principalmente en

las cartas de Chihuahua y Guadalajara, donde se encuentra la Sierra Madre Occidental. Para la península, la zona principal del bosque se encuentra en la Sierra de San Pedro Mártir (BC) , así como en la Sierra de la Laguna, BCŞ.

Los veinte tipos de coberturas restantes se encuentran distribuidos a lo largo de los intervalos altitudinales y cuentan con el 30.59 % de las especies, lo cual también puede atribuirse, en parte, al sesgo en la colecta que existe, como se mencionó anteriormente, ya que existen lugares que son prácticamente inaccesibles por la falta de caminos.

Para los murciélagos se tiene que en las cartas de La Paz y Tijuana su distribución es parecida, por sus preferencias en cuanto al hábitat, a la de los mamíferos no voladores. Pero, para las dos cartas restantes, éstos tienen preferencia por la vegetación secundaria en el caso de la carta de Chihuahua, y por pastizal inducido y bosque en el caso de la carta de Guadalajara. En estas dos cartas también se encuentran murciélagos en los tres diferentes tipos de agricultura.

Hay que tomar en cuenta, como se mencionó anteriormente, que los datos obtenidos del SIG surgieron a partir de colectas realizadas principalmente durante la década de los 80's, por lo que al sobreponer los datos con los tipos de cobertura, éstos probablemente no sean los tipos de cobertura originales. Las cartas proporcionadas por INEGI fueron realizadas aproximadamente en esas mismas fechas de colecta, por lo que tomando en cuenta la escala a la que se trabajó (1:1'000 000) se está en posibilidad de plantear los modelos que se describen en la siguiente sección.

En el caso de la precipitación, la mayor riqueza de subespecies se concentra en los intervalos que comprenden de los 100 a los 300 mm de precipitación, los cuales corresponden a alturas de 0 a 400 m y en coberturas de

vegetación como son pastizal y zonas de agricultura. La presencia de estos organismos, en estos intervalos, puede deberse no tanto al factor precipitación per se, sino a la presencia, como se mencionó anteriormente, de zonas de agricultura que aseguran la sobrevivencia de las subespecies.

El análisis de comparación de áreas dio como resultado que, al igual que la topografía y la vegetación, áreas pequeñas tienen una diversidad mucho mayor a lo que originalmente se podría esperar si ésta se atribuyera únicamente a un efecto de área física. La presencia de la variable precipitación contribuye de manera significativa al aumento de la diversidad en todos los intervalos.

La importancia de las variables relacionadas con la humedad y las relacionadas con la complejidad ambiental se demuestra en el hecho de que han sido halladas como significativas al establecer una correlación entre ellas y la riqueza de especies. Estas fueron de las variables o factores más importantes como determinantes de la riqueza específica en un total de 53 estudios que analizaron 82 correlaciones entre dichos elementos (Wright, et al. 1993).

## **GLIM**

Para poder evaluar la influencia de los factores en conjunto, se realizó un análisis por medio de un modelo lineal generalizado, donde se obtuvieron modelos para cada una de las regiones que comprenden El Golfo de California.

En esta segunda parte de los análisis, se elaboró un modelo que explicara la distribución de las especies a partir del porcentaje de explicación de cada uno de los factores (Cuadro 5). Como se puede ver, la topografía es el factor que explica de manera más general la distribución de las especies, presentando un porcentaje bajo, seguido por la precipitación en el caso de la península y finalmente por la vegetación, que explica con un porcentaje más alto esta distribución, al ser ésta un reflejo de la topografía (altura) y la precipitación

(Begon, 1988; Brown y Davidson, 1977; Patterson, *et al.*, 1989). Por este motivo, se realizó un análisis en el que se sumara el efecto de los tres factores (Cuadro 6), donde se tiene que, conforme se van incorporando los factores al modelo, el porcentaje de explicación aumenta, aunque en ningún caso se llega al 100 %. Esto nos indica que el efecto de los tres factores es importante para poder explicar la distribución de las especies, aunque sigue faltando un cierto porcentaje por explicar, el cual muy probablemente se debe al efecto de alguno de estos factores combinado con otro. Para lo anterior, y como se explicó en el capítulo de resultados, es necesario encontrar el modelo anidado donde se expliquen al 100% las interacciones.

Para el caso de las cartas de La Paz y Chihuahua, el modelo que mejor explica la distribución de las subespecies es aquel en el cual se tiene a los tres factores interactuando y con un orden en relación a su porcentaje de explicación, mas la influencia del efecto de la precipitación con la vegetación, de manera anidada, esto es,

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

Este modelo indica que la influencia de los tres factores es muy importante para explicar la distribución de las subespecies, pero además se encuentra que es necesaria la combinación de dos de los factores, en este caso la precipitación y la vegetación, para que el modelo explique de manera completa esta distribución. Además puede servir como modelo predictivo para establecer las regiones que, por la combinación de factores, pudieran tener una alta riqueza de especies, aún y cuando no se tengan datos registrados, lo cual puede ser de utilidad para planear futuras áreas de colecta.

Para el caso de la región que corresponde a la carta de Guadalajara, se tiene que el modelo que mejor explica la distribución de la subespecies es el mismo que para las cartas anteriores. Este modelo explica el 98.24 % de la distribución, lo que significa que existe otro factor que no se está tomando en cuenta, que responde al 1.76 % restante. Dicho porcentaje puede ser explicado si se efectúa un modelo anidado con los tres factores, esto es, un modelo en el cual se incluya la vegetación dentro de la precipitación, y éstos dentro de la topografía. El poder explicar el 98.24 % de la distribución en una zona tan compleja como es el estado de Nayarit, donde se halla la Sierra Madre Occidental, se considera suficientemente aceptable.

Para el caso de la carta de Tijuana, el análisis se dividió en tres partes, debido una vez mas a los problemas generados por el tamaño de la matriz de datos utilizada. Para las dos terceras partes de la región, el modelo que explica la distribución de las especies es el mismo que para las regiones anteriores. Sin embargo, para la otra tercera parte de la región, que corresponde a los registros que se encuentran en el estado de Sonora, el modelo que mejor explica la distribución de las subespecies es,

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

Esto significa que, a diferencia del resto de la región, la combinación entre la topografía y la precipitación, y no precipitación y vegetación, explican al 100 % la distribución de las subespecies. En esta región, el principal tipo de vegetación es matorral desértico micrófilo, en áreas con precipitaciones entre los 0 y los 200 mm anuales e intervalos altitudinales entre los 0 y los 400 m. La mayor parte del estado es una región árida, donde existen grandes zonas desérticas como el Desierto de Altar, y alturas relativamente bajas, en donde se encuentran los mamíferos. En este caso no se está eliminando el efecto del área, que en el caso



del intervalo altitudinal citado es muy grande. Sería necesario realizar un análisis anidado con los tres factores, o rediseñar la matriz de datos de tal manera que se pueda eliminar el efecto del área.

## VIII. CONCLUSIONES

Con los análisis realizados hasta el momento, se puede hablar de patrones de distribución generales determinados por la influencia de los tres factores hasta ahora manejados, la topografía, la precipitación y la vegetación o cobertura vegetal. Con las ventajas que proporciona un sistema de información geográfico (Scott, *et al.*, 1987), se tiene la posibilidad de determinar en que intervalos se concentra la mayor riqueza de especies de manera positiva y consistente. En este caso, para toda la región, tenemos que los intervalos de topografía mas importantes son los que comprenden alturas que van de los 800 a los 1200 m y alturas superiores a los 1600 m; los tipos de cobertura mas importantes son zonas de agricultura, pastizal, selva baja caducifolia, matorral sarcocaulé, mezquital y bosque de pino-encino, y los principales intervalos de precipitación que van desde los 100 mm hasta los 800 mm anuales.

Dentro de los tipos de cobertura ya mencionados, se encuentran sistemas de producción que en este estudio se reconocen como muy importantes por su riqueza de especies. Una posible explicación para estos patrones de riqueza de especies en zonas con algún nivel de perturbación puede ser la sugerida por Connell (1978) y por Huston (1979) quienes proponen que niveles moderados de perturbación promueven la coexistencia de especies que bajo otras circunstancias no lo podrían hacer. Bajo estas condiciones pudiera elevarse la diversidad de especies. Esta hipótesis podría explicar la alta riqueza de especies que se encontraron en zonas de agricultura y pastizal para la Región del Golfo de California. O bien pudiera ser que como muchos de los registros son de hace mas de 40 años, las colectas se realizaron antes del establecimiento de las zonas productivas.

En los mapas de colectas obtenidos en el sistema de información geográfico se aprecia una mayor concentración de registros en los límites de los caminos principales, sobre todo en el continente. En otros estudios se han encontrado efectos o fenómenos similares lo que constituye una llamada de atención sobre los métodos o formas de colecta y los datos derivados de ellas y aun más, sobre las conclusiones con respecto a la ecología de las especies derivadas de ellos (Bojórquez-Tapia *et al.*, 1994; Colwell, 1994; Sánchez-Cordero *et al.*, 1993; Sánchez-Cordero *et al.* 1997).

La posibilidad de utilizar técnicas complementarias o alternativas a los sistemas de información geográfica, como son los modelos lineales generalizados, permiten el diseño de modelos en los cuales no sólo se reconozcan las interacciones entre los factores, sino que se elaboren combinaciones de ellos. Esto va más allá de las técnicas tradicionales de correlación que en muchas ocasiones se utilizan para tratar de lograr estos resultados. Y es que, el grado de desarrollo en la informática permite a diferencia de otros métodos en donde se ajustan las bases de datos a los modelos establecidos, y en donde se limitaban las aplicaciones para la conservación, se pueden generar nuevos modelos por medio de sistemas de información y modelos lineales generalizados acordes a las necesidades actuales.

Otra diferencia fundamental de este estudio es la utilización de sistemas de información geográfica, ya que anteriormente los métodos más utilizados para observar patrones de diversidad de especies era por medio de una gradilla superpuesta a los mapas, en donde el tamaño de los cuadros varía de acuerdo al estudio a realizar y una vez identificados los patrones o los elementos más importantes estos se pasaban a mapas temáticos de precipitación, topografía, etcétera (Owen, 1990; Pearson & Juliano, 1993). Este tipo de análisis con gradillas provee un panorama gráfico del patrón espacial de diversidad en una región. Sin embargo, tiene ciertas dificultades como la unidad de análisis ya que

las celdas adyacentes son muestras pseudoreplicadas de una misma región. Asimismo, ese tipo de análisis no incorporan la heterogeneidad del habitat dentro de las celdas.

Los análisis de tipo GLIM señalan la influencia que tienen los factores en la distribución de las subespecies, no sólo de manera independiente, sino que, la influencia de los tres en esta región es fundamental para poder entender su distribución, y en zonas tan complejas como es la región del Golfo de California, es necesario analizarlos de manera conjunta para poder identificar patrones de distribución. Ahora bien, cabe señalar que lo novedoso no es tanto este enfoque, sino la incorporación de técnicas relativamente recientes que por otra parte permitirán incorporar nuevos factores al análisis de manera relativamente sencilla. De lo que se trata posteriormente es de añadir otros temas al análisis de factores, ya sea por medio de sobreposición de otras cartas temáticas diferentes a las manejadas aquí, o de actualizar y aumentar los campos considerados inicialmente en la base de datos biológica. Ello aumentaría las capacidades de análisis por otros medios y con otros objetivos, tanto a nivel ecológico como de conservación y a nivel de distribución geográfica.

Con respecto a los estudios de conservación, cabe señalar que si bien al inicio de este estudio uno de los objetivos iniciales era el identificar las áreas importantes para la conservación por su riqueza de especies, posteriormente este fue enriqueciéndose. Por medio del sistema de información geográfica se encontraron zonas importantes por las especies endémicas que habitan en dichas localidades. Además, se puede hablar de regiones fuertemente perturbadas con una riqueza de especies muy importante. Como ya se aclaró, dichas áreas de perturbación se encuentran indistintamente en el continente y en la península y pueden deber su alta riqueza a las condiciones mencionadas para explicar la distribución.

Los sistemas de información geográfica son solamente una herramienta que permite un acercamiento espacial a una serie de datos que se tengan. Sin embargo, el sólo utilizarlos de manera descriptiva limita las aplicaciones prácticas que se puedan hacer de éstos a niveles predictivos, por lo que es conveniente evaluar la importancia de tener un SIG, si no se puede sobrepasar la primera etapa de análisis que involucra solamente la descripción de los datos. En este estudio se partió de dicha fase descriptiva a una intermedia hacia la meta de las predicciones, en la cual se utilizaron técnicas alternativas que complementan la información generada con los sistemas de información geográfica, y que son susceptibles de utilizarse para probar una serie de suposiciones teóricas que existen sobre fenómenos ecológicos, tomando en cuenta la complejidad del hábitat. Esto permitirá proporcionar información mas fidedigna que pueda ser utilizada en la toma de decisiones sobre la conservación de áreas o especies de interés.

## RECOMENDACIONES

La protección de la diversidad biológica debe ser considerada en un contexto amplio del paisaje que incluye la gran mayoría de tierras utilizadas para una gran variedad de propósitos. La mayoría de las reservas son remanentes de ecosistemas de un tamaño limitado. Pocos o ninguno representan ecosistemas intactos y ninguna reserva puede proveer todos los valores del ecosistema. Cada vez mas se reconoce la importancia del contexto del paisaje en la determinación de los procesos que ocurren dentro de los límites de reservas aisladas y pequeñas o de parches de bosque remanentes (Noss, 1987; Wiens, 1995). La lección, a partir de esto, es considerar cada reserva, cada parche o tipo de habitat como un componente funcional de un mosaico de paisaje mas grande. El contexto completo de paisaje es el nivel que debe ser estudiado en investigación y manejo para proveer un área adecuada del ecosistema y, la conectividad para el movimiento de animales y materiales, la dispersión de especies y para facilitar la recuperación de los procesos del ecosistema en respuesta a disturbios y cambios sucesionales.

Otra manera de aproximarse a este problema es estudiar las relaciones entre los organismos y su ambiente de una manera multitemporal y multiespacial. Esto se está haciendo posible con la utilización de un tipo de SIG llamado SIG temporal (TGIS por sus siglas en inglés), en el cual es posible incluir y manipular variables y datos con diferente temporalidad y a diferentes escalas dentro del mismo sistema. Actualmente se encuentra en fase experimental, sin embargo se planea comercializar, lo cual abrirá una nueva gama de análisis para ser utilizados en conservación (Montgomery, 1995).

## **IX. LITERATURA CITADA**

Alvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: Estuaries and Enclosed Seas. B.H. Ketchum, Ed. Amsterdam, pp- 427 - 449.

Arita, H.T. 1993. Riqueza de especies de la mastofauna de México. En : Avances en el estudio de los Mamíferos de México. Rodrigo A. Medellín y G. Ceballos, eds. Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C. pp 109 -128.

Begon, M., J. L. Harper y C. L. Townsend. 1988. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Omega, Barcelona, 1 - 753.

Blair, R.B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, 6(2): 506-519.

Blondel, J. & J.D. Vigne. 1993. Space, time and man as determinants of diversity of birds and mammals in the Mediterranean region. En: Species diversity in ecological communities. R.E. Ricklefs & D. Schluter eds. The University of Chicago Press. 135 - 146 pp.

Brown, J.H. & D.W. Davidson. 1977. Competition between seed-eating rodents and ants in desert ecosystems. *Science*, 196 : 880 - 882.

Brown, J.H. 1988. Species Diversity. En: Analytical biogeography. An integrated approach to the study of animal and plant distributions. A. A. Myers & P.S. Gillers eds. Ed. Chapman & Hall 57-90 pp.

Brown, J.H. 1995. Macroecology. The University of Chicago Press. 269 pp.

- Bojórquez-Tapia, L.A., P. Balvanera, A.D. Cuarón. 1994. Biological inventories and computer data bases: their role in environmental assesments. *Environmental Management*. 18, 5, 775-785 pp.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assesment. Monographs on Soil and Resources Sourvey No. 12. Clarendon Press, Oxford, 193 pp.
- Cervantes, F.A., A. Castro-Campillo y J. Ramírez-Pulido. 1994. Mamíferos terrestres nativos de México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Zool.* 65 (1):177 - 190.
- Clark, J. D. 1993. A multivariate model of female black bear habitat use for a geographic information system. *J. Wildl. Manage.* 57(3): 519-526.
- Colwell, R.K. & G.C. Hurtt. 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. *Am. Nat.* 1994. Vol. 144, pp. 570-595.
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199: 1302 - 1310.
- Constanza, R., T. Maxwell. ( en prensa ). Resolution and predictability: an approach to the scaling problem. Maryland International Institute for Ecological Economics Center for Environmental and Estuarine Studies. University of Maryland.
- Crawley, M.J. 1993. Methods in Ecology: GLIM for Ecologists. J.H. Lawton & G.E. Likens, Eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 379 pp.

- Davis, F.W., D.M. Stoms, J.E. Estes, J. Scepán & J.M. Scott. 1990. An information systems approach to the preservation of biological diversity. *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 4 No. 1, 55-78 pp.
- Fischer, A.G. 1960. Latitudinal variations in organic diversity. *Evolution* 14: 64-81.
- Flores V., O. y P. Gerez. 1988. Conservación en México: síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo. INIREB-Conservación Internacional. 185 pp.
- Gaston K.J. & J.H. Lawton. 1988. Patterns in body size, population dynamics, and regional distributions of bracken herbivores. *Am. Nat.* 132 : 622-80 pp.
- Goodchild, M. F. 1991. Integrating GIS and environmental modeling at global scales. Proceedings of GIS/LIS '91, Atlanta, Georgia, 117-127 pp.
- Gorman, M.L. 1991. *Ecología Insular*. Ed. Vedral, 99 pp.
- Hall E.R. 1981. The mammals of North America. Vols. I y II. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 600 + 90, 1181 + 90 pp.
- Heaney, L.R. 1984. Mammalian species richness on islands on the Sunda Shelf, Southeast Asia. *Oecologia*. 61 : 11-17 pp.
- Heaney, L.R. , P.D. Heideman, E.A. Rickart, R.B. Utzumum & J.S.H. Klompen. 1989. Elevational zonation of mammals in the central Philippines. *Journal of Tropical Ecology*. 5. 259-280.



Huston, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist*, 113: 81-101.

Illoldi R., P. 1994. Uso de un sistema de información geográfico para la conservación de la diversidad mastofaunística de la Región del Golfo de California. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, UNAM.

Levin, S.A. & R.T. Paine. 1974. Disturbance, patch formation, and community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 71: 2744 - 2747.

MacArthur, R. M. & J. MacArthur. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42 : 594-598 pp.

MacArthur, R.M., J. MacArthur & J. Preer. 1962. On bird species diversity II. Prediction of bird census from habitat measurements. *American Naturalist* 96: 167 - 174 pp.

MacArthur, R.M. & E.O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton: Princeton University Press, 203 pp.

MacArthur, R.H. 1972. Geographical ecology: Patterns in the distribution of species. Harper & Row, New York.

McLaren, S.B. & J.M. Briggs (Eds). 1994. GIS applications in mammalogy. Special publication of the Oklahoma Museum of Natural History. Norman, Oklahoma, 41 pp.

- May, R. M. & R.H. MacArthur. 1972. Niche overlap as a function of environmental variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 69 : 1109 - 1113 pp.
- Merriam, C.H. 1890. Results of a biological survey of the San Francisco mountains region and desert of the Little Colorado River in Arizona. USDA Bureau of Biology, Survey of American Fauna 3: 1 - 132.
- Montgomery, L.D. 1995. Temporal geographic information systems technology and requirements: where we are today. M.A. Thesis. Graduate School of the Ohio State University, 71 pp.
- Morse, D.R., N.E. Stork, & J.H. Lawton. 1988. Species numbers, species abundance, and body length relationships of arboreal beetles in Bornean lowland rain forest trees. *Ecological Entomology* 13 : 25-37 pp.
- Newmark, W.D. 1986. Species-area relationship and its determinants for mammals in western North American national parks. *Biological Journal of the Linnean Society*. 28 : 83 - 98.
- Nilsson, S. G., J. Bengtsson & As S. 1988. Habitat diversity or area per se? Species richness of woody plants, carabid beetles and land snails on islands. *Journal of Animal Ecology*, 57 : 685 - 704.
- Noss, R.F. 1987. From plant communities to landscapes in conservation inventories: A look at the Nature Conservatory (USA). *Biological Conservation* 41: 11-37.
- Owen, J.G. 1990. Patterns of mammalian species richness in relation to temperature, productivity, and variance in elevation. *Journal of Mammalogy*, 71(1): 1-13.

- Page M.D., R.; May & A.R. Collie. 1991. Ecological aspects of the geographical distribution and diversity of mammalian species. *Am. Nat.* 137 : 791-815 pp.
- Patterson, B.D. 1982. Pleistocene vicariance, montane islands and the evolutionary divergence of some chipmunks (genus *Eutamias*). *Journal of Mammalogy*. 63: 387 - 398.
- Patterson, B.D., P.L. Meserve & B.K. Lang. 1989. Distribution and abundance of small mammals along an elevational transect in temperate rainforest of Chile. *Journal of Mammalogy*. 70(1): 67-78.
- Preston, F. W. 1962 . The canonical distribution of commonness and rarity. Part I. *Ecology*, 43 : 185 - 215. Part II : *Ecology*, 43 : 410 - 431.
- Pearson, D.L. & S.A. Juliano. 1993. Evidence for the influence of historical processes in coexistence and diversity of Tiger beetle species. En: Species diversity in ecological communities. R.E. Ricklefs & D. Schluter eds. The University of Chicago Press. 194 - 202 pp.
- Pizzimenti, J.J. & R. De Salle.1981. Factors influencing the distributional abundance of two tropical guilds of Peruvian cricetid rodents. *Biol. J. Linnean Soc.*, 15: 339 - 354.
- Romero, R.R. 1991. Biogeografía de mamíferos en las islas del Golfo de California. Distribución y riqueza de especies. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM. 68 pp.
- Rosenzweig, M.L. 1992. Species diversity gradients: we know more and less than we thought. *Journal of Mammalogy*, 73(4): 715-730.

Sánchez-Cordero, V. y M. Prieto. 1993. Uso de un sistema de información geográfico: una caso de estudio mastofaunístico en Veracruz. Pp. 455-463. En: Avances en el Estudio de los Mamíferos de México. R. Medellín y G. Ceballos (eds).

Sánchez-Cordero, V., R. Martínez-Gallardo, M. Prieto y M. Linaje. 1997. Mamíferos de Veracruz: Diversidad y Análisis de un Siglo de Inventarios. En: Biodiversidad de Veracruz. Comisión Nacional para El Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D.F. 38 pp, 6 fig. Y 171 mapas.

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.

Secretaría de Gobernación / UNAM. 1988. Islas del Golfo de California. 292 pp.

Shaw, D.M. & S.F. Atkinson. 1990. An introduction to the use of geographic information systems for ornithological research. *The Condor* 92(3): 564-570.

Simberloff, D.S. 1985. Biogeography: the unifications and maturation of a science. En: Perspectives in Ornithology. A.H. Brush and G.H. Clark Jr. (eds.). Cambridge University Press. Pp. 411 - 455.

Simpson G.G. 1964. Species density of North American Recent mammals. *Evolution* 15 : 413-46 pp.

SPP. 1980. Cartas topográficas, de uso del suelo y vegetación y de precipitación pluvial anual.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Soto, M. M. Angulo, O. Garduño y M. Hernández. 1984. Bioclimatología y computación interactiva. *Ciencia y Desarrollo*, núm. 59, año X. Pp. 153 - 161.

Stevens, G.C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist*, 140: 893 - 911.

Terborgh, J. 1971. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcamba, Peru. *Ecology* 52: 23-40.

Terborgh, J. 1977. Bird species on an Andean elevational gradient. *Ecology*, 58, 1007-1019 pp.

UNEP. 1992. Draft. Convention on biological diversity. Conference for the adoption of the agreed text of the convention on biological diversity. UNEP / Bio. Div. / Conf. / L. 2, Nairobi, pp.

Wiens, J.A. 1995. Landscapes mosaics and ecological theory. En: *Mosaic Landscapes and Ecological Processes* Hansson L.,L. Fahrig & G. Merriam eds. Chapman & Hall.

World Conservation Monitoring Centre. 1992. *Global Biodiversity: Status of Earth's living resources*. Chapman y Hall, London. XX + 594 pp.

Wright, D.H., D.J. Currie & B.A. Maurer.1993. Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales. En: *Species diversity in ecological communities*. R.E. Ricklefs and D. Schluter eds. The University of Chicago Press. pp.