



00381  
15

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**PATRONES BIOGEOGRÁFICOS DE LA AVIFAUNA EN LA  
PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**P R E S E N T A**

**OCTAVIO RAFAEL ROJAS SOTO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**

**MEXICO, D. F.**



**JUNIO 2003.**

**COORDINACIÓN**

**A**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
COORDINACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 31 de marzo de 2003, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado del Doctorado en Ciencias del alumno(a) **Octavio Rafael Rojas Soto**, con número de cuenta 89552746 y número de expediente 3951089, con la tesis titulada: "**Patrones biogeográficos de la avifauna en la Península de Baja California, México.**", bajo la dirección del (la) Dr. **Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza**.

Presidente:	Dr. Oscar Alberto Flores Villela
Vocal:	Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Vocal:	Dr. Enrique Martínez Meyer
Vocal:	Dr. Juan José Morrone Lupi
Secretario:	Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza
Suplente:	Dr. Andrew Townsend Peterson
Suplente:	Dr. Juan Francisco Omelas Rodríguez

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 5 de mayo de 2003

  
Dra. Tila María Pérez Ortiz  
Coordinadora del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**EN 1987, SANFORD R. WILBUR ESCRIBIÓ "HAY MUCHO POR APRENDER  
SOBRE LA AVIFAUNA DE BAJA CALIFORNIA. YO ANIMO OTROS A QUE VEAN  
LO QUE PUEDEN ENCONTRAR..."**

**... Y ESTO ES LO QUE HE ENCONTRADO:**

**PATRONES BIOGEOGRÁFICOS DE LA AVIFAUNA  
EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO**

**OCTAVIO R. ROJAS SOTO**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**A RAFAEL ROJAS CORDERO (+)**

**A LA UNAM**

**AL SUDOR DEL MISIONERO JESUITA MIGUEL DEL BARCO,  
EL PRIMERO DE LA ORNITOLOGÍA BAJACALIFORNIANA**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

Si de agradecer se trata, la lista puede aparecer interminable, por lo que de antemano me disculpo con los que me han extendido su mano y he olvidado poner en esta lista, de cualquier manera saben que están en mi corazón.

Para comenzar quiero decir que sin la ayuda de mi familia, ni este sueño ni otros muchos se hubiesen podido realizar. Gracias Rafael (QEPD), Elvira, Víctor y Mirna por enseñarme que lo que realmente vale son los títulos que nos da la vida y que esos se obtienen con amor. Los sobrinos han representado un motivo por el cual seguir, así que gracias a Rafis, Benji y al que acaba de llegar. Quiero también reconocer el enorme apoyo de mis cuñados Benja e Isa. Por supuesto que mis tíos y primos Lorrain, Margarita, Andrea, Samuel, Anita, René, Lorrain Jr., John y Naye son el soporte de cada paso, así que muchas gracias por soportarme. Aunque Mazatlán queda lejos, es allá donde sé que están los que siempre llevo también conmigo, gracias a todos ellos.

Mis hermanos casi amigos Carlos, Carmen, Daniel, Nina y sus retoños, me han brindado la alegría ya desde hace muchos años, ¡así que muchas gracias aunque eso sea decir poco!

Hace años conocí a una persona que decidió dedicar mucho de sí a mi desarrollo académico y personal, al paso de los años me fui endureciendo tal como le pasa al barro, eso provocó que en algunos momentos el moldear mi desarrollo se haya vuelto una tarea difícil. Cometí muchos errores y él siempre me los perdonó, él también los cometió, pero de ellos igualmente aprendí. Ahora después del tiempo me gustaría agradecer al Dr. Adolfo Navarro el que haya aceptado el reto de formarme, la agradezco que a pesar de que me haya "endurecido", siempre continuó con su difícil tarea. Obviamente a mi también me ha costado, pues sus lecciones son a veces duras como el barro, pero mi cariño y agradecimiento hacia él son infinitos y lo digo de corazón. Adolfo, ahora tienes un alumno menos pero un amigo más, aunque éstos últimos no den puntos para el SNI, de lo contrario ya serías nivel "3".

Agradezco el apoyo académico y la amistad incondicional del Dr. "Bob" Zink.

La Dra. Ma. del Coro Arizmendi me ha apoyado siempre y desde siempre, de hecho gracias a su calidad de persona, yo llegué hasta aquí y ella sabe a lo que me refiero.

Una de las personas que cada vez que la veo me regala una enseñanza, es mi gran amigo Adán Oliveras, a quien le estoy muy agradecido por sus consejos académicos y por compartir sus ideas, los viajes y su amistad.

Hay algunas personas del museo que han marcado mi vida de alguna u otra manera, ya sea por los consejos, por animarme cuando estaba deprimido, por acompañarme cuando estaba solo, por hacerme reír cuando estaba triste, por regañarme cuando lo requería y por tantas otras cosas, gracias a Livia, Blanca, Gordillé, Maguie y Gaby García. Otro gran grupo de amigos que han llenado los vacíos diarios con los que llegaba al museo son: Nanda (que me debe una comida

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

china), Poncho (que se reformó¿?), Panda (que ya revivió), Loquillo (que espero se titule), Sherpa y Alinka (que les esté yendo bien), Roberto "Mampo" (que me debe un queso), Sandra (que fue la que se lo comió), Roberto Carlos (que por fin terminó sus curvas de acumulación), Javier "Guadalajara" (que me mostró que el matrimonio puede ser benéfico), Carmen (que vale mucho aunque se le olvida), *Gaby momotus* (que siempre está sonriente) Isabel (que compartió sus "depres" conmigo), Anita y Leo (por su afán de salir adelante), Elsa, Adriana, Vanessa, "Rots", Isabel Vargas, César, Andrés, Yoshi, Chente, Lety, "los herpes" Huicho, Betorro, Mundo y Geo.

Por la compañía durante los viajes, por los pleitos interminables en el campo, por las burlas y los albures, por compartir la locura de la ornitología, por soportar mi mal humor, así como por enseñarme más de lo que yo les pude haber enseñado, le agradezco a Samuel, Howell y Erick.

Les agradezco a Oscar y Armando que nunca dejaron de apoyarme, aunque me lo cobraran con albures. A Jorge por fundar y dirigir tan bien el museo de Zoología.

A Juan José Morrone, que además de ayudarme académicamente, me ha mostrado que la sencillez no está peleada con la ciencia.

Una par de locos que además de compartir el entusiasmo de la biología conmigo, me han enseñado el verdadero valor de la amistad: Fernando y Othón.

Dos jóvenes me han demostrado que no hace falta ser viejo para aprender a disfrutar de la vida, gracias a Iván y a La "Becsa", ¡que espero que cuando terminen de leer estos agradecimientos se vayan a trabajar en su tesis!

A mis "co-profesores", compañeros de trabajo y amigos Juan Carlos y Martha Rocha, gracias por todos los "paros" con las clases y con la ayuda fuera de las aulas.

Hay un grupo particular de chicas que siempre me ayudó espiritualmente, que me dijeron las palabras precisas y me enseñaron que todos tenemos un tesoro dentro, sobre todo cuando se tienen amigas como ellas: Samantha Karam (vos), Ana Sereno, Valentina Islas, Helga Caballero, Betsabé de la Barreda y Samanta Saucedo.

Agradezco la dirección de este trabajo al Dr. Adolfo G. Navarro Sigüenza y a los doctores. Ma. del Coro Arizmendi A. y el Town (A. Townsend Peterson) por fungir como comité tutorial durante todo su desarrollo, además de proveer valiosos comentarios durante cada fase. Los doctores Oscar Flores Villela, Juan José Morrone Lupi, Juan Francisco Ornelas Rodríguez y Enrique Martínez Meyer, revisaron y llevaron a cabo observaciones que permitieron la finalización de este proyecto. Adán Oliveras y Erick García ayudaron con excelentes comentarios y apoyo técnico para el término del Capítulo 1. Yoshinori Nakazawa, Andrés Lira, y Giuseppe Pasquetti ayudaron en la realización de las predicciones del Capítulo 4 y Leticia Ríos asesoró algunos análisis estadísticos. Juan José Morrone, A. Townsend Peterson, Tania Escalante, Robert M. Zink, y dos revisores anónimos proveyeron de valiosos comentarios para la publicación del Capítulo 4. El Dr. Lorrain Giddings y la Dra. Margarita Soto ayudaron con comentarios y apoyo logístico, así como durante la traducción del Capítulo 4. Alfonso López colaboró en la realización de las figuras de este

mismo capítulo. Samuel López de Aquino, Erick García-Trejo, Luis Antonio Sánchez-González, Fernando Puebla-Olivares, Iván Liebig-Fossas y Brett W. Benz colaboraron durante el trabajo de campo llevado a cabo en Baja California. Grandes facilidades fueron otorgadas por los señores Juan Bautista, del Rancho Monte Alto, e Isidro Manríquez del Rancho San Dionisio, ambos durante la estancia Baja California Sur. El Dr. Ricardo Rodríguez-Estrella apoyó logísticamente la visita a Rancho San Dionisio. El Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" y su personal proveyeron de las facilidades, material y apoyo logístico para el término de esta tesis. Particularmente Alejandro Gordillo Martínez, Livia León Paniagua y Ma. Fanny Rebón G. ayudaron en la logística y en la realización de algunos análisis de los diversos capítulos. Agradezco también a los curadores de las colecciones de México y el extranjero (Apéndice 2), por facilitar sus datos para la realización del Atlas de las Aves de México, de donde se obtuvieron la mayoría de los datos. Apoyo financiero para llevar a cabo el Atlas de las Aves de México, para el trabajo de campo y para la consulta a algunas colecciones fue otorgado por CONABIO (A002, E018, V009), CONACyT (R27961), DGAPA-UNAM (IN 218598 y 214200), British Council Mexico, National Science Foundation (DBI-9808739), y la Comisión de Cooperación Ambiental para América del Norte (CCA). El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología apoyó mediante una beca la realización de los estudios de doctorado. La DGAPA-UNAM apoyó con una beca complementaria para este mismo fin. La DGEP-UNAM, el Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" y la Facultad de Ciencias dieron apoyo financiero para la realización de las visitas al campo. El Instituto Nacional de Ecología (INE) proporcionó la licencia de colector científico (FAUT 0034) para la colecta de ejemplares a lo largo de Baja California y el permiso especial de colecta en la Reserva de la Biosfera "Sierra de la Laguna" (Oficio No. DOO.02.-0788).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESUMEN

Los patrones de distribución de la avifauna de la Península de Baja California aún no están bien entendidos, por lo que en este trabajo se reunió y actualizó la información disponible para analizar la distribución estacional, los patrones latitudinales de la riqueza y el endemismo y para generar una regionalización biogeográfica de la Península con base en su avifauna. Se reconoce que el inventario parece estar aún incompleto, como lo demuestran la gran cantidad de nuevos registros publicados recientemente. El análisis del conocimiento de la avifauna, considerando el esfuerzo de muestreo, así como la riqueza y el endemismo total arrojó una riqueza de 452 especies y 18 especies endémicas, esto utilizando el concepto evolutivo-filogenético de especie. Se observó que el esfuerzo de muestreo es heterogéneo a lo largo de la Península, existiendo áreas pobremente inventariadas, particularmente en el sur de la Península. Se analizaron de los patrones latitudinales de la riqueza y el endemismo de las especies residentes terrestres, así como su respectivo recambio y reemplazamiento a lo largo de la Península y se encontró la riqueza no coincide con un efecto peninsular, a diferencia del endemismo, cuyo comportamiento es similar aunque inverso al descrito por otros autores para otros grupos. El comportamiento temporal de la avifauna encontrado permite asegurar que ésta es fluctuante temporalmente a lo largo de todo su territorio, ya que más del 50 % de las especies son migratorias, lo que ocasiona que en ciertas temporadas, la riqueza se reduzca a más de la mitad de las especies. La riqueza de especies fue relacionada con algunos factores ecológicos tales como la vegetación, el clima, la altitud y el área, así como sus respectivas combinaciones, para ver si el patrón de distribución podría ser explicado, sin embargo, sólo el clima y la altitud resultaron significativos. El uso de un modelo predictivo del nicho ecológico de las especies (GARP por sus siglas en inglés), permitió generar la distribución potencial de las especies residentes terrestres con las que se llevó a cabo una regionalización avifaunística de la Península mediante la aplicación de un análisis de parsimonia de endemismos (PAE por sus siglas en inglés). Las relaciones entre las áreas con base en su avifauna compartida, describen claramente un patrón de anidamiento, convirtiendo a la Península en una sola unidad biogeográfica, destacando a la región del Cabo como una zona de concentración de endemismos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ABSTRACT

Patterns of distribution of the birds of Baja California peninsula are not well understood; hence the main goal of this study was to analyze avian distributional patterns in the peninsula. I used an extensive database of information associated with natural history museum specimens to analyze seasonal distributions, latitudinal patterns of richness and endemism, and the regionalization of the peninsula based in its avifauna. Although the overall inventory remains incomplete, as witnessed by recent new records. I analyze the avifauna, considering sampling effort, to document patterns of species richness and endemism. A total of 452 species (18 endemic) have been documented to occur in the peninsula (based on the phylogenetic species concept). Sampling effort is heterogeneous with poorly inventoried areas concentrated in the south. Analysis of latitudinal patterns of diversity of terrestrial resident species shows that the richness does not follow the peninsular effect. Seasonality in this avifauna is significant, with more than 50% of the species migratory; hence in certain seasons, species richness decreases to about half. Species richness was also related with ecological factors such as vegetation, climate, altitude and area, and its combinations to observe if its distributional patterns could be explained; however, just the climate and altitude were significant. Use of ecological niche modeling (using the GARP program), permitted generation of potential distributions for each terrestrial resident species; these distribution were used to develop a regionalization of the Peninsula via application of a parsimony analysis of endemicity (PAE). The result was a clearly nested pattern, making the Peninsula a single biogeographic unit, with the Cape region as an important area of endemism.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE

DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
OBJETIVOS .....	5
DESCRIPCIÓN DE LA PENÍNSULA .....	6
ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	13
MÉTODOS GENERALES Y FUENTES DE DATOS.....	19
CAPÍTULO 1 .....	20
Patrones latitudinales de la riqueza y el endemismo de la avifauna de la Península de Baja California, México.	
CAPÍTULO 2 .....	41
Patrones de la distribución estacional de la avifauna de la Península de Baja California, México.	
CAPÍTULO 3 .....	53
Patrones ecológicos de la distribución de la avifauna de la Península de Baja California, México.	
CAPÍTULO 4 .....	61
Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemicy and distributional modeling approach.	
CONCLUSIONES GENERALES .....	74
LITERATURA CITADA .....	78
APÉNDICE 1.....	86
APÉNDICE 2.....	91

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Además de esta primera parte introductoria, el presente trabajo está dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo es un análisis general del conocimiento ornitológico de la Península, tanto del esfuerzo de muestreo, de la riqueza y del endemismo, así como algunos aspectos sobresalientes relacionados con la composición de la avifauna. En este mismo capítulo se analizan los patrones latitudinales de la riqueza y el endemismo, así como su respectivo recambio a lo largo de la Península, contrastando los resultados con algunas hipótesis propuestas para explicar la variación de la riqueza y el endemismo a lo largo de gradientes latitudinales, tales como el efecto peninsular. El segundo capítulo es la descripción del comportamiento temporal de la avifauna, discutiendo los resultados bajo una perspectiva de las fluctuaciones estacionales en diferentes porciones a lo largo de la Península, así como las posibles causas promotoras de dichos patrones. En el tercer capítulo se analiza la relación que existe entre la riqueza de las especies residentes terrestres, considerando cuatro variables ecológicas tales como la vegetación, el clima, la altitud y el tamaño del área. Por último, en el cuarto capítulo se conjuntan los enfoques biogeográficos mediante la aplicación de métodos ecológicos e históricos, ya que se estima la distribución potencial de las especies residentes terrestres mediante modelos del nicho ecológico de las especies a través de un algoritmo genético (GARP, por sus siglas en inglés), a la cual se aplica un análisis de parsimonia de endemismos (PAE, por sus siglas en inglés); con el objetivo de encontrar los patrones de relación biogeográfica dentro de la Península y proponer una regionalización de la avifauna bajacaliforniana.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# PATRONES BIOGEOGRÁFICOS DE LA AVIFAUNA EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

## INTRODUCCIÓN

La biogeografía es el estudio de la distribución de los organismos tanto en el pasado como en el presente, su principal objetivo es describir y entender la distribución de las especies y de grupos taxonómicos mayores (Brown y Gibson 1983). Tradicionalmente, la biogeografía ha tenido dos enfoques; por un lado la biogeografía ecológica, que se encarga del estudio de las adaptaciones a condiciones del medio, y por otro la biogeografía histórica, que explica la distribución a partir de factores históricos, es decir, aquellos que ya no intervienen en la actualidad; aunque dada la existencia de un gradiente espacio-temporal, se puede asumir que la distinción entre ambas no es natural (Morrone 2001). Su estudio generalmente se lleva a cabo de manera independiente (Welsh 1988, Morrone y Ruggiero 2000) y ha permitido el desarrollo de diversos enfoques y métodos para entender y explicar los patrones de la distribución y el origen de la biodiversidad (Rosen 1988).

A la par de la publicación del "Distributional check-list of the birds of Mexico. Parts I and II" (Friedmann *et al.* 1950, Miller *et al.* 1957), donde se resumió la información de la distribución de las especies y subespecies de las aves del país; Griscom (1950) describió por primera vez el origen de la avifauna nacional en su conjunto y la explicó en un contexto biogeográfico con base en sus afinidades. Sin embargo, no fue sino hasta 4 décadas después que Escalante *et al.* (1993) publicaron el primer trabajo que describía los patrones generales de distribución de la riqueza y el endemismo de la avifauna en términos regionales, con base en provincias bióticas a lo largo del país. Previos a estos trabajos, los esfuerzos en describir patrones de distribución habían estado limitados a descripciones estatales, como los trabajos de Van Rossen (1945) para Sonora, Paynter (1955) para Yucatán, Schaldach (1963) para Colima, Binford (1989) para Oaxaca y

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Navarro *et al.* (1991) para Querétaro, por citar algunos. Sin embargo, las descripciones estatales a pesar de su gran utilidad, reflejan sólo parcialmente algunos patrones generalmente restringidos a límites políticos. Posterior al esfuerzo del reconocimiento de patrones generales de la avifauna mexicana realizado por Escalante *et al.* (1993), han sido pocos los trabajos que se han enfocado a describir a un nivel regional los patrones de distribución de la avifauna desde una perspectiva biogeográfica completa, entre ellos se pueden contar los desarrollados para la Sierra Madre Oriental (Navarro *et al.* en prep) y para la vertiente del Pacífico mexicano (García-Trejo 2002). En la actualidad, es necesario continuar con el estudio de la distribución de las especies a un nivel regional; esto permitirá el reconocimiento de los patrones de regiones naturales y el esclarecimiento de los factores que los han determinado histórica y ecológicamente, lo que además, puede repercutir directamente en el reconocimiento de áreas importantes para su conservación.

Baja California es la segunda Península más grande y aislada en el mundo, cuyo origen y transformaciones ecológicas han tenido un profundo efecto en la evolución, distribución y la estructura genética de sus vertebrados (Grismer 1994, 2000). La delimitación geográfica natural y las características topográficas, climáticas y de vegetación que posee, hacen de la Península un lugar muy atractivo para abordar problemas biogeográficos, tales como el estudio de la diferenciación de las poblaciones, eventos vicariantes y de dispersión, los patrones de la distribución latitudinal de la riqueza y el endemismo, el recambio de especies, etc. (Nelson 1921, Grinnell 1928, Davis 1959, Grismer 1994, 2000, Taylor y Regal 1978, Sieb 1980, Wilbur 1987, Welsh 1988, Rodríguez-Estrella 1997, Riddle *et al.* 2000, Rojas-Soto *et al.* 2003). Además, su posición latitudinal permite observar los patrones estacionales descritos por la mayoría de las especies migratorias, debido a que a lo largo de la Península se presentan los límites de distribución tanto de invierno como de verano de muchas de ellas.

Este interés particular, sumado a la cercanía con los Estados Unidos, ha resultado muy productivo ya que ha permitido la existencia de un importante número de publicaciones relacionadas con la avifauna, permitiendo que los estados que integran la Península sean de los que más publicaciones tienen en el país (Rodríguez-Yañez *et al.* 1994). Sin embargo, a pesar de los continuos esfuerzos en el inventario y de la existencia de los nuevos métodos de análisis dentro de la biogeografía, los patrones de la distribución de la riqueza, el endemismo y la composición de la estacionalidad de la avifauna de Baja California permanecen aún oscuros.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

El presente trabajo se realizó con el objetivo de describir y analizar los patrones de distribución de la avifauna de la Península de Baja California.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- 1) Reunir, actualizar y complementar el listado de aves en la Península de Baja California.
- 2) Describir la distribución estacional.
- 3) Analizar los patrones latitudinales de la riqueza y el endemismo.
- 4) Generar una regionalización biogeográfica de la Península con base en su avifauna.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DESCRIPCIÓN DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA

*Origen, localización y fisiografía.* Alguna vez conectada a la costa oeste del continente de México, Baja California se separó por diferentes movimientos tectónicos entre las placas del Pacífico y la Norteamericana y migró aproximadamente 300 kilómetros al noroeste en los últimos 4-5 millones de años a lo largo de la falla de San Andrés (Stock y Hodges 1989). Esta separación debió haber ocurrido en varios estados de levantamiento, hundimiento, aislamiento y desertificación (Axelrod 1979). Resultado de ello, es una Península muy estrecha, de aproximadamente 1600 km de largo, que se sitúa entre los 23° y 32° de latitud norte y los 109° y 117° de longitud oeste, con una inclinación transversal noroeste-sureste. Existe una serie de cadenas montañosas que corre a lo largo, la vertiente este es escarpada y se interrumpe bruscamente a diferencia de la vertiente oeste, que disminuye gradualmente. La más grande en extensión es la Sierra de Juárez, ubicada en el extremo norte de la Península, le sigue hacia el sur la Sierra de San Pedro Mártir, misma que se interrumpe alrededor de los 30° de latitud y posee el pico de mayor elevación con 3100 msnm, posteriormente empiezan una serie de valles y mesas intercalados por pequeñas montañas y picos rocosos que terminan en la latitud 28° aproximadamente. A partir de esta latitud, comienza el desierto del Vizcaíno, que ocupa gran parte del ancho de la Península desde la parte oeste; hacia el sur se interrumpe por la Sierra del Vizcaíno y al este por la Sierra de San Francisco. Al sureste de esta última existe una interrupción por un terreno bajo, donde se sitúan tres picos volcánicos llamados "Tres Vírgenes". El bloque montañoso continúa al sur a través de la llamada Sierra de la Giganta, donde la vertiente este es aún más abrupta que la de la Sierra San Pedro Mártir; la vertiente oeste está ocupada por una gran área llamada Llano de Magdalena y termina en su extremo sur en la Bahía de la Paz, donde se interrumpe para posteriormente llegar hasta la sierra más sureña de la Península y una de las más aisladas y elevadas, la Sierra de la Laguna con 2080 msnm (Wiggins, 1980). Las dos provincias fisiográficas que forman Baja California (Península de Baja California y Llanura Sonorense), se dividen en seis subprovincias que son: Sierras de Baja

California Norte, Desierto de Altar, Desierto de San Sebastián Vizcaíno, Sierra de la Giganta, Llanos de la Magdalena y Del Cabo (Fig. 1).

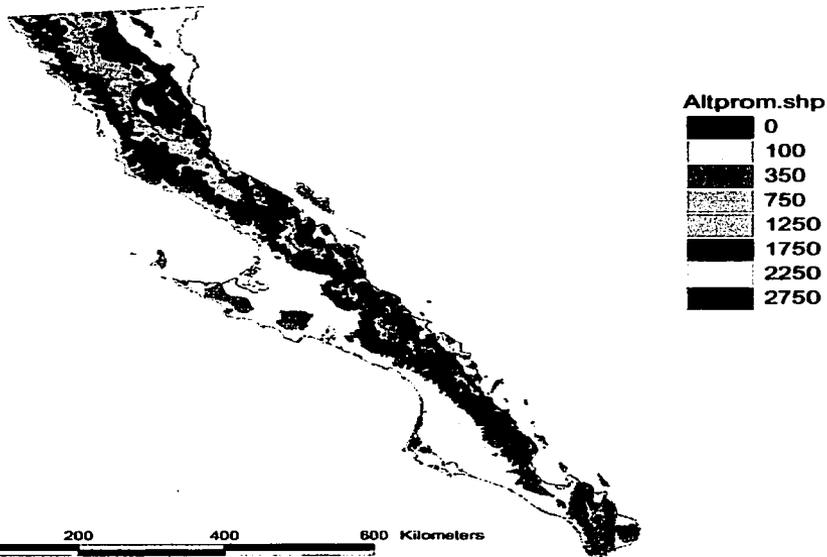


Figura 1. Topografía de la Península de Baja California (Tomado de INEGI 2001).

*Vegetación.* Según Rzedowzki (1978), la mayor parte del territorio de la Península forma la provincia florística de Baja California, que abarca exclusivamente el área peninsular y cuyo relativo aislamiento del resto de Norteamérica ha sido indudablemente la principal causa del desarrollo de muchas plantas de distribución restringida. Existe una parte de la Provincia Florística Californiana, que se encuentra en la porción noroeste de la Península y se extiende desde el estado de California en Estados Unidos, esta provincia se caracteriza por la presencia de chaparrales perennifolios, matorrales, pinos y encinos. En general, la vegetación de Baja California es de tipo desértica, aunque se presentan muchas variantes de la misma e incluso algunos tipos de vegetación diferentes que se presentan localmente. Wiggins (1980) describe ocho regiones botánicas: 1) Californiana, que se extiende desde el sur de California entre la línea costera del Pacífico y la región de los bosques de coníferas de Baja California hasta San Quintín. Las especies características son chaparrales, encinos y algunos pastos. 2) Bosques de coníferas de Baja California, se encuentran en las porciones altas de la Sierra de Juárez y Sierra San Pedro Mártir. El *Pinus quadrifolia* es característico en Sierra de Juárez y el *Pinus jeffreyi* en la Sierra de San Pedro Mártir, aunque también se presentan algunos pastos. 3) Desierto micrófilo, se extiende como parte de la zona del desierto de Sonora en la vertiente este de la Península desde las montañas del norte hasta Bahía de los Ángeles. El matorral predominante está constituido por especies como *Larrea tridentata*, *Cercidium microphyllum*, *Fouquieria splendens* y algunas especies de *Ambrosia* y *Olneya*. 4) Desierto sarcófilo o desierto de *Agave-Ambrosia*, incluye la región del Vizcaíno desde la costa pacífica cerca de El Rosario hacia el sur hasta la laguna de San Ignacio y hacia el este hasta la cresta de la montañas. La vegetación en esta región es la más escasa de Baja California y hay vastas áreas de dunas de arena y camas de sal con poca o sin vida vegetal. Las especies características de este desierto son algunas de los géneros *Agave*, *Yucca*, *Idria*, *Pachycormus*, *Ambrosia*, entre otros. 5) Desierto sarcocaulo o región de *Bursera-Jatropha*, se extiende en varias fajas angostas a lo largo de la línea costera del Golfo de Cortés entre la Sierra de la Giganta y Cabo

San Lucas. Las plantas dominantes son de los géneros *Cercidium*, *Bursera*, *Jatropha*, *Pachycereus*, *Opuntia* y *Ferocactus*. 6) Región Magdaleneana, incluye la región desértica del Pacífico desde el sur de San Ignacio hasta cerca de Todos Santos, en el distrito del Cabo. Las plantas más conspicuas son de los géneros *Pachycereus* y *Lysiloma*. 7) Sierra de la Giganta, corresponde a la zona montañosa accidentada entre Bahía Concepción y Bahía de la Paz. La vegetación está dominada por árboles de leguminosas y arbustos tales como *Lysiloma*, *Pithecellobius*, *Acacia*, *Prosopis*, *Cassia* y *Cercidium*, entre otros. 8) Región Árida Tropical, incluye la mayoría del Distrito del Cabo. No toda la vegetación de esta región es verdaderamente tropical; incluye desde *Pinus* en las zonas altas de la Sierra de la Laguna y algunos árboles y arbustos de los géneros *Erythea*, *Cyrtocarpa*, *Acacia*, *Pithecellobium*, *Enterolobium* y *Sapindus*, entre otros en las zonas bajas. León de la Cruz y Coria (1992) e INEGI (2001), dividen la Península en tipos de vegetación más finamente delimitados localmente (Fig. 2), entre los que destacan en orden de extensión: matorral sarcocaule, chaparral, matorral sarco-crasicaule, matorral inerme, matorral sarco-crasicaule de neblina, vegetación halófila, matorral de dunas o de desiertos arenosos, matorral micrófilo, matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule, izotales, selva baja caducifolia y bosques de encino-pino.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

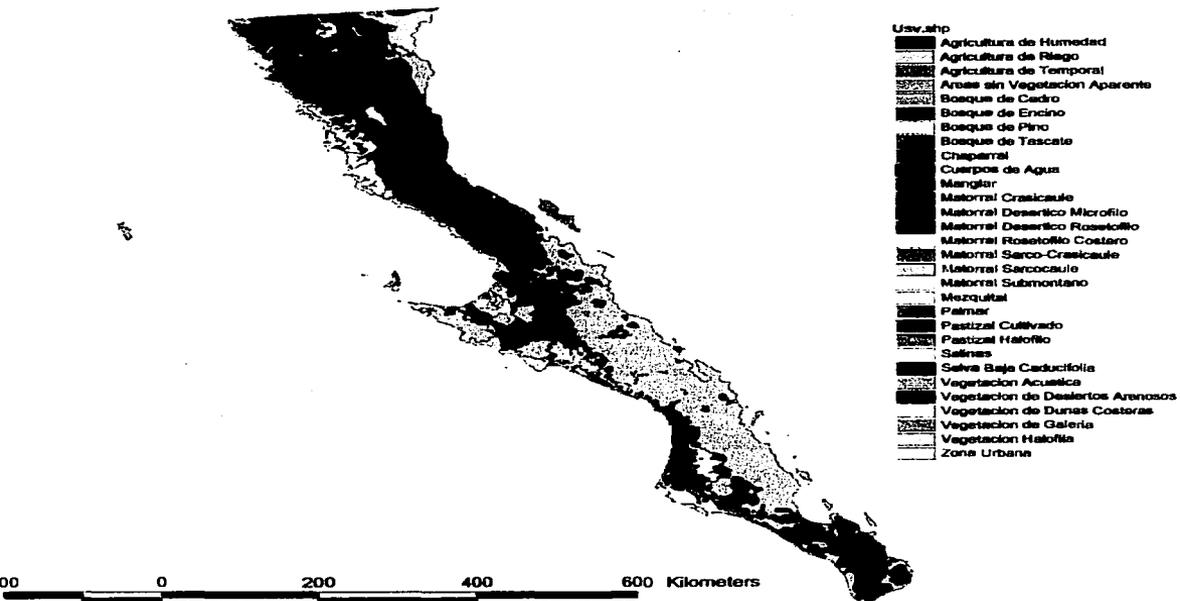
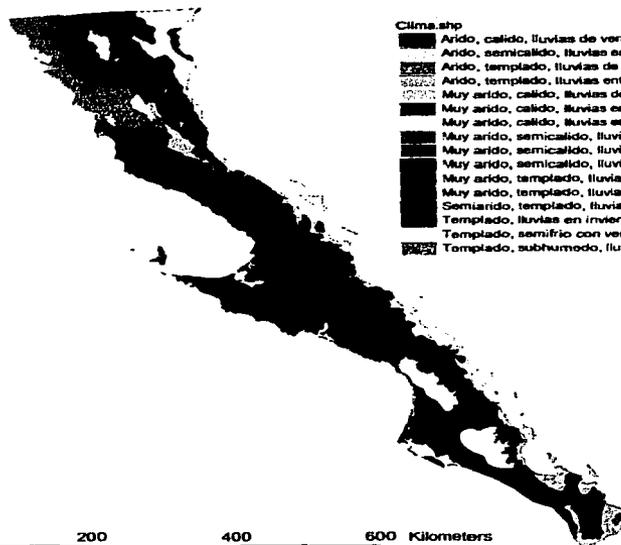


Figura 2. Tipos de vegetación de la Península de Baja California (Tomado de INEGI 2001).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Clima.*- La Península de Baja California se encuentra bajo la influencia del cinturón subtropical de altas presiones, las que, de acuerdo con la circulación general de la atmósfera, corresponden a una zona de corrientes descendentes subtropicales (Coria 1997). Estas zonas se hallan próximas a los paralelos de treinta grados tanto para la latitud norte como sur y corresponden a la ubicación de los grandes desiertos del planeta. Esta situación no rige en la porción noroccidental de la Península, en donde durante el invierno se presentan vientos del oeste que traen asociados consigo frentes fríos y lluvias regulares. En la región del Cabo, la mayor cantidad de precipitación está asociada a las tormentas derivadas de los ciclones que se originan en la costa occidental del centro y sur de la República (Coria 1997). Respecto al factor temperatura, se presentan cifras más elevadas en la costa del Golfo que en la del Pacífico, debido a los vientos del oeste que entran cargados de humedad, la altitud también afecta los valores de este parámetro. Aunado a lo anterior está el factor topográfico, ya que el relieve de la Península consiste en cadenas montañosas que se suceden unas a otras recorriéndola en toda su longitud, conservándose siempre muy próximas al litoral del Golfo (Coria 1997). En general, los climas son secos (B) y varían desde muy secos (BW) a climas secos semicálidos (BSoh) y templados (C), aunque en la porción norte se encuentra el clima de tipo mediterráneo que varía de húmedo a semiseco y de frío a semicálido. En el resto de la Península el clima predominante es el muy seco siendo menos árido en la parte meridional (Rzedowski 1978). Se alcanzan temperaturas en verano de hasta 50°C o mayores en las zonas más cálidas, como es el caso de la parte noreste de la Península, donde los vientos provenientes del Pacífico se interrumpen por la presencia de las sierras. Las temperaturas más bajas, menores a 0°C, se presentan en las sierras del norte a altitudes mayores a 750 msnm, donde llegan a existir heladas y nevadas por algunos días. En las sierras del sur, las heladas son poco frecuentes y no se han registrado en la Sierra de la Laguna (Wiggins 1980) (Fig. 3).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- Clima.shp
- Arido, calido, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual
  - Arido, semicalido, lluvias en invierno
  - Arido, templado, lluvias de invierno
  - Arido, templado, lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual
  - Muy arido, calido, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual
  - Muy arido, calido, lluvias en invierno mayores al 36% anual
  - Muy arido, calido, lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual
  - Muy arido, semicalido, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual
  - Muy arido, semicalido, lluvias en invierno mayores al 36% anual
  - Muy arido, semicalido, lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual
  - Muy arido, templado, lluvias de invierno mayores al 36% anual
  - Muy arido, templado, lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual
  - Semiarido, templado, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.
  - Templado, lluvias en invierno mayores al 36% anual
  - Templado, semifrio con verano fresco largo, lluvias en invierno mayores al 36% anual
  - Templado, subhumedo, lluvias de verano del 5 al 10.2% anual

200 0 200 400 600 Kilometers

Figura 3. Climas presentes en la Península de Baja California (Tomado de INEGI 2001).

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ORNITOLOGÍA BAJACALIFORNIANA

La descripción histórica llevada a cabo en esta sección, es quizá muy breve en comparación con la gran cantidad de trabajos realizados en Baja California, como puede apreciarse en la excelente recopilación llevada a cabo por Wilbur (1987). Sin embargo, se presenta un resumen de los principales trabajos llevados a cabo hasta la fecha, que han colaborado en la gran tarea de aportar al conocimiento de la avifauna bajacaliforniana.

La historia del conocimiento natural de la Península, a diferencia de otras áreas del país, comenzó hasta los siglos XVII y XVIII, ya que las condiciones de aislamiento político y la falta de interés económico en la región desde la llegada de los españoles en 1533 con la expedición de Diego de Becerra de Mendoza (León Portilla 1989, Bernabéu-Albert 1994), hasta principios del siglo XIX, provocaron que el conocimiento biológico estuviera limitado a visitas esporádicas de algunos personajes, la mayoría de ellos religiosos jesuitas, cuya vocación puede permitir considerarlos como naturalistas. En 1649, Pedro Porter y Cassanate, capitán y marino al servicio del rey de España, con la intención de demarcar los litorales californianos emprendió un viaje a lo largo de toda la Península y en él recogió copiosas noticias sobre los nativos, la flora y la fauna, sin embargo, no se tiene noticia de algún documento (León Portilla 1989). A partir de la entrada de los jesuitas en 1683, con el célebre Eusebio Francisco Kino, las aportaciones de la historia natural habrían de consolidarse con diversos trabajos publicados en España, como el de Miguel Venegas, quien a pesar de nunca haber estado en la Península, trabajó intensamente en una recopilación de la información obtenida hasta mediados del siglo XVIII y cuyo manuscrito fue posteriormente modificado por el padre Marcos Burriel, llamándolo *Noticia de la California y su conquista temporal y espiritual hasta el presente* y que apareció publicado en 1757 (Venegas y Burriel 1757); en esta obra aparecen las primeras descripciones de flora y fauna de la región. En 1789, el también destacado jesuita Francisco Xavier Clavijero

publicó *Historia de la Antigua o Baja California*, (Clavijero 1970) en donde detalla mucho de la flora y fauna de la Península. Curiosamente, Clavijero tampoco visitó la Península y las descripciones las obtuvo de otros religiosos, principalmente de Lucas Ventura y Miguel del Barco, con quienes convivió en su exilio en Bolonia después de ser desterrados de América.

Miguel del Barco vivió 30 años en Baja California a mediados del siglo XVIII y fue quien llevó a cabo el primer y quizá el principal trabajo sobre la fauna y flora de la Península. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de información que recopiló, Del Barco sólo fue conocido por los escritos que llamó originalmente *Correcciones y adiciones a la Historia o Noticia de la California* de Venegas-Burriel, realizados por él mismo, y de la información dada a Clavijero; en general su obra permaneció inédita hasta el siglo XX, cuando Miguel León-Portilla rescató su obra, a la cual llamó "Historia Natural y Crónica de la Antigua California" (Del Barco 1988). En ésta aparece por primera vez todo un capítulo dedicado a la descripción de la avifauna de la Península, sin mencionar la impresionante dedicación a la descripción general de la flora, fauna y culturas indígenas. Incluso con base en los nombres comunes descritos por Del Barco, es posible reconocer o inferir de manera sorprendente 23 familias y diversos géneros y especies que integran la avifauna de la región en la actualidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de la avifauna hecha por Miguel del Barco (1988).

Nombre usado por Del Barco	Familia	Género y/o especie
Tórtolas	Columbidae	<i>Columbina</i>
Codornices	Odontophoridae	<i>Callipepla</i>
Faisanes	Odontophoridae	¿ <i>Oreortyx</i> ?
Perdices	Odontophoridae	¿ <i>Callipepla</i> ?
Gansos	Anatidae	<i>Branta, Anser</i>
Patos	Anatidae	<i>Anas</i>
Gallinetas	Rallidae	<i>Fulica americana, Gallinula chloropus</i>
Anades	Anatidae	Diversos géneros y especies
Palomas torcazas	Columbidae	<i>Columbina</i>
Patos buzos	Anatidae	<i>Aythya</i>
Gavilanes	Accipitridae	<i>Accipiter</i>
Buitres	Cathartidae	<i>Calhartes aura, Gymnogyps californianus?</i>
Halcones	Falconidae	<i>Falco</i>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Quebrantahuesos	Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>
Cuervos	Corvidae	<i>Corvus</i>
Zopilotes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i> (juvenil)
Auras	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i> (adulto)
Águilas	Accipitridae	<i>Aquila</i>
Mochuelos	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i> , <i>Ciccaba virgata</i>
Búhos	Strigidae	<i>Otus</i> , <i>Bubo virginianus</i>
Cucos o cuquillos	Cuculidae	<i>Coccyzus</i>
Ruiseñores	Turdidae	<i>Sialia</i>
Calandrias	Icteridae	<i>Icterus</i>
Gorriónes	Emberizidae, Fringillidae	Diversos géneros y especies
Jilgueros	Fringillidae	<i>Carduelis</i>
Cenzontles	Mimidae	<i>Mimus polyglottos</i>
Cardenales	Cardenalidae	<i>Cardinalis</i>
Alcatrazes	Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>
Carpinteros	Picidae	<i>Melanerpes uropygialis</i> , <i>Picoides scalaris</i>
Golondrinas	Hirundinidae	Diversos géneros y especies
Saltaparedes	Troglodytidae	Diversos géneros y especies
Alcarabán	Burhinidae	<i>Burhinus bistriatus</i>
Colibríes	Trochilidae	Diversos géneros y especies

Del Barco a través de sus escritos hace referencia de Wenceslao Link, otro jesuita que llevó a cabo exploraciones en el norte de la Península entre los años de 1762-1778 (Burrus 1967), sin embargo, más allá de las descripciones geográficas y de vegetación, no existe información relacionada con la descripción de la avifauna. Otros naturalistas que visitaron la Península durante esta época y de los cuales se tiene noticia por su labor descriptiva de la geografía, fueron Juan Jacobo Baegert, Jean Baptiste Chappe d' Auteroche y Joaquín Velázquez de León (Bernabéu-Albert 1991), aunque quizá los de mayor trascendencia, fueron José Mariano Mociño y José Longinos. Ambos colectaron y describieron plantas y animales a lo largo de México a finales del siglo XVIII, y aunque Mociño trabajó algunas zonas del norte de la Península, fue Longinos quién llevó a cabo un viaje especial a la Alta y la Baja California durante los años de 1791-1792 (Bernabéu-Albert 1991, 1994). Debido a los problemas políticos y sociales en México a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, aunado a la expulsión de los jesuitas en 1767, las descripciones y los estudios biológicos en Baja California se vieron interrumpidos hasta mediados del siglo XIX, cuando comenzó nuevamente la llegada de naturalistas y científicos, quienes comenzaron a visitar la Península de manera sistemática y cuyos trabajos ornitológicos pueden ser formalmente

considerados desde una perspectiva científica. La lista de estos personajes es muy grande, aunque destacan por la cantidad de publicaciones y su trascendencia (adelante se anota el periodo de trabajo en la Península): J. Xantus (1855-1859), R. Ridgway (1876-1883), A. W. Anthony (1889-1925), L. Belding (1883-1900), W. Brewster (1888-1903), W. E. Bryant (1886-1894), R. C. McGregor (1897-1899), H. C. Oberholser (1899-1919), G. Bancroft (1922-1946), R. C. Banks (1962-1974), A. J. Van Rossem (1909-1947), A. B. Howell (1910-1923), L. M. Huey (1924-1954), J. Grinnell (1909-1931), J. R. Jehl Jr. (1968-1985) y Ch. C. Lamb (1909-1929) (Wilbur 1987, Craveri 1990, Mearns y Mearns 1992, 1998, Rodríguez-Yáñez 1994, Howell y Webb 1995, Navarro y Benítez 1994).

El trabajo avifaunístico acumulado hasta principios del siglo XX, permitió que se llevaran a cabo trabajos que aportaron algunas hipótesis para entender el origen y los patrones de distribución de la avifauna de la Península. Por ejemplo, Nelson (1921) por primera vez la dividió con base en asociaciones faunísticas, incluyendo a las aves, en diversos distritos faunísticos: Distrito San Diegano, Distrito de San Pedro Mártir, Distrito del Desierto del Colorado, Distrito del Desierto del Vizcaíno y Distrito del Cabo. Otro trabajo importante fue el de Grinnell (1928), quien dividió a la Península en un gran número de centros de diferenciación avifaunística en orden de importancia y concluyó que de todos ellos, en el distrito del Cabo era el más importante. Este autor puede considerarse como uno de los que más ha aportado a la ornitología de la Península, ya que publicó diversos trabajos relacionados con la distribución de las especies, así como muchos otros encaminados a la descripción de nuevas formas. Posteriormente, Davis (1959) sugirió que de los endemismos listados por Grinnell (1928) para la región del Cabo, existían tres grupos de especies: las de afinidades continentales, las de afinidades con la costa del Pacífico y las fuertemente diferenciadas propias del distrito del Cabo, aunque posteriormente Stager (1960) sugirió que en realidad la Región del Cabo constituye un centro de diferenciación relativamente poco importante. Tanto Grinnell (1928) como Davis (1959) coincidieron en que el origen de estos grupos pudo haberse dado por una colonización a través de una ruta

terrestre desde el norte hasta la base de la Península. Wilbur (1987) reunió el conocimiento de la riqueza y distribución de las aves de Baja California y además notó que existían asociaciones de especies que correspondían sorprendentemente con los distritos faunísticos propuestos por Nelson (1921). Algunos trabajos faunísticos sobresalientes previos al trabajo de Wilbur (1987) fueron llevados a cabo por Townsend (1923), Short y Banks (1965) y Short y Crossin (1967).

Existen algunos trabajos que han analizado recientemente el origen de la avifauna de la Península. Por ejemplo, Riddle *et al.* (2000) analizaron la filogeografía para diversos grupos de vertebrados, incluidas las aves, y sugirieron que han existido eventos vicariantes oscurecidos por las especies de amplia distribución, pero que en realidad el desierto peninsular posee una historia evolutiva única que le da independencia del desierto Sonorense. Howell (2001) publicó un trabajo que describe algunas asociaciones de especies para las regiones descritas por Nelson (1921). Rojas-Soto *et al.* (2003), con base en la distribución potencial de las aves residentes terrestres de la Península y aplicando un análisis de parsimonia, realizaron una regionalización de Baja California, encontrando que existe un patrón de anidamiento en toda la Península que permite identificarla como una sola unidad histórica, como lo sugirió Riddle *et al.* (2000).

Durante la última década la literatura ornitológica para Baja California se ha incrementado y diversificado, abordando temas tales como la abundancia de las especies (Massey y Palacios 1994, Fernández *et al.* 1998, Palacios *et al.* 2000), la estacionalidad (Castellanos y Llinas 1991, Palacios y Mellink 1992, 1993, Palacios y Mellink 2000), la ecología e historia natural (Salinas-Zavala *et al.* 1991, Rodríguez-Estrella 1991), sólo por citar algunos. Sin embargo, el inventario parece aún estar lejos de completarse, ya que frecuentemente se llevan a cabo nuevos registros de especies a lo largo de la Península o en sus costas (e. g. Wurster y Radamaker 1992, Radamaker y Ludden 1993, Patten 1993, Pyle y Howell 1993,

Howell y Pyle 1993, Unitt *et al.* 1995, Carmona *et al.* 1999, Hamilton 2000, Puebla-Olivares *et al.* en prensa, entre otros) cuya presencia y registro, más allá de ser accidental, sugieren todavía la existencia de grandes huecos en el conocimiento de la distribución de la avifauna en esta región.

## MÉTODOS GENERALES Y FUENTES DE DATOS

Debido a que las especies filogenéticas son las unidades adecuadas para los análisis biogeográficos (Cracraft 1983), se siguió la propuesta taxonómica de Navarro y Peterson (en prep.), que separa a muchas de las poblaciones diferenciadas como especies independientes, con base en lo propuesto por diversos autores con relación a conceptos alternativos de especie (Cracraft 1983, Mckitrick y Zink 1988, Zink 1997). La lista final de especies consideradas se encuentra en el Apéndice 1. La información distribucional de las especies se obtuvo a partir de tres fuentes de datos: 1) la disponible en la literatura (e. g. Wilbur 1987, Rodríguez-Yáñez *et al.* 1994), 2) los ejemplares depositados en las colecciones principales de México y el extranjero (Apéndice 2) a través de la consulta del Atlas de las aves de México (Navarro *et al.* 2002) y 3) trabajo de campo en cinco localidades durante 1997, 1998 y 2001 a lo largo de la Península de Baja California (Cuadro 2). Con la información anterior se construyó una base de datos considerando la distribución puntual de cada registro, con los siguientes campos: especie, localidad de colecta, fecha de colecta, latitud, longitud, colección, estacionalidad y endemismo. Cada localidad de presencia fue georreferida en mapas 1:250,000 (INEGI 1988) o con ayuda de un geoposicionador satelital (GPS) directamente en el campo. Esa base de datos fue transformada al formato DBase III y montada en un Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2a, ESRI 1999), en donde se realizaron los análisis distribucionales. Para los análisis de regresión de los diferentes capítulos se utilizó el programa JMP (SAS 1996).

Cuadro 2. Localidades visitadas durante el trabajo de campo.

Localidad	Coordenadas	Fecha
Santa Rosalía, BCS.	27° 21.99' N, 112° 18' W	1997 - 1998
Ejido José Saldaña, 6 km W, BC.	31° 49.732' N, 115° 25.906' W	abril, 2001
Cataviña, 15 km W, BC.	29° 42.168' N, 114° 50.039' W	abril, 2001
Esteros de Guerrero Negro, BCS.	27° 56.7' N, 114° 3.798' W	abril, 2001
Monte Alto, 15 km N San Javier, BCS.	25° 55.868' N, 111° 37.253' W	abril, 2001
San Dionisio, 20 km NW Santiago, BCS.	23° 33.532' N, 109° 51.938' W	abril, 2001

## **PATRONES LATITUDINALES DE LA RIQUEZA Y EL ENDEMISMO DE LA AVIFAUNA DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

### **Introducción**

Un primer paso para el estudio de los patrones de distribución, es recabar la información puntual de la riqueza y la distribución de las especies, para posteriormente hacer inferencias espaciales. La distribución de la riqueza de los seres vivos a lo largo de gradientes latitudinales siempre ha sido un aspecto muy atractivo dentro de la biogeografía (Simpson 1964, MacArthur y Wilson 1967), siendo quizá de las más conspicuas y universales en la naturaleza (Colwell y Lees 2000). El descubrimiento de las causas de tales patrones puede proveer la llave para el entendimiento de las causas de otros patrones distribucionales (Rohde 1998). La Península de Baja California es muy atractiva para abordar dicho aspecto por su forma y aislamiento (Taylor y Regal 1978, Seib 1980, Lawlor 1983). Taylor y Regal (1978) estudiaron la distribución de algunos grupos de vertebrados, principalmente mamíferos y propusieron un modelo de equilibrio para explicar la reducción peninsular en el número de especies, ellos consideraron que la geometría de una Península como Baja California inexorablemente produce una reducción en el número de especies en su parte más distal, ya que las extinciones no son reemplazadas por recolonizaciones tan fácilmente como lo hacen en la base, como lo sugirieron Simpson (1964) y MacArthur y Wilson (1967). Sin embargo, existen algunos autores que han cuestionado tanto el modelo de extinción-recolonización, así como el efecto peninsular de decremento de la riqueza (Terborgh 1971, Seib 1980, Lawlor 1983).

Alternativamente, Terborgh (1971) sugirió la hipótesis de los remplazamientos ecológicos para explicar el cambio en la composición de las faunas. Encontró en parte de la avifauna de Perú, que muchas especies ecológicamente equivalentes se reemplazan a lo largo de gradientes altitudinales sin relación aparente con el hábitat. Estudios posteriores (Terborgh y Weske 1975)

mostraron que la competencia directa y difusa explica las dos terceras partes de los límites de distribución de los intervalos de las especies.

El efecto peninsular fue apoyado posteriormente por Sieb (1980) para explicar la distribución de algunos grupos de reptiles en Baja California. Posteriormente, Lawlor (1983) estudió nuevamente la riqueza de especies de algunos mamíferos y encontró que varía muy poco de norte a sur en Baja California, por lo que el efecto peninsular descrito por Taylor y Regal (1978) lo atribuyó a una insuficiencia de datos, encontrando que el único grupo que declinó su riqueza de norte a sur fue el de los heterómidos. Este mismo autor, con base en el estudio de la distribución de los artiodáctilos y roedores en la Península de Baja California, sugirió que las especies están geográficamente restringidas por barreras geográficas o por límites de disponibilidad de hábitat.

Alternativamente, una manera de abordar el problema del grado de reemplazamiento de especies a lo largo de gradientes ambientales, es medir la diversidad beta o diversidad entre hábitats (Moreno 2001), la cual está basada en proporciones o diferencias, y puede evaluarse con índices o coeficientes de similitud a partir de datos cualitativos, es decir, de datos de presencia-ausencia (Magurran 1988).

En la primera parte de este capítulo se describe de manera general la riqueza avifaunística de Baja California y su composición. En la segunda parte se describen y analizan los patrones de la distribución latitudinal de la riqueza y el endemismo de la avifauna y se comparan con los presentes en la vertiente del Pacífico.

## **Métodos**

Se obtuvo la información proveniente de los registros almacenados en las colecciones científicas, lo registrado en la literatura y en los datos obtenidos de las

visitas en algunas localidades a lo largo de la Península y la información se organizó en una base de datos (descrita a detalle en los métodos generales de esta obra). Se contó el número de registros, el número de localidades, el número de especies (riqueza) y el número de especies endémicas, tanto para la Península como para cada entidad federativa. Además, con el fin de analizar la composición de la avifauna, del total de especies registradas se identificaron a las especies introducidas, las extintas y las extirpadas.

*Análisis latitudinales.*- Se aprovechó la forma y dirección noroeste-sureste de la Península para analizar los patrones latitudinales. Para ello se dividió de manera artificial en unidades espaciales que permitieran describir los patrones latitudinales claramente, por ello se utilizaron segmentos latitudinales de medio grado cada uno, obteniendo en total 20 segmentos (Fig. 1), conforme aumenta el número del segmento, aumenta la distancia con relación a la base de la Península en el continente. A partir de la distribución puntual de cada especie, se analizó el esfuerzo de muestreo y se obtuvo la riqueza y endemismo para cada segmento. Tanto la riqueza como el endemismo fueron graficados latitudinalmente y la distribución de los puntos fue analizada mediante un análisis de regresión lineal para ver si existía una relación directa con la latitud utilizando el programa JMP (SAS 1996). Con el objetivo de rescatar de manera más clara los patrones de distribución de la avifauna, para los análisis latitudinales sólo se consideraron las especies residentes terrestres, ya que las especies migratorias pueden colonizar hábitat disponibles, pero discontinuos con relación a las especies residentes, oscureciendo de esta manera los eventos histórico-biogeográficos (Zink y Hackett 1986). La avifauna marina y la insular también fueron excluidas debido a que pueden poseer patrones de distribución diferentes a los peninsulares (Cody 1983).

El comportamiento latitudinal del endemismo de las aves de la Península se comparó con el presente en la vertiente occidental de México, con el fin de observar si los patrones corresponden a un efecto peninsular, o bien se presentan también en áreas continentales. Para ello, al igual que en la Península, se

realizaron divisiones latitudinales de medio grado en la misma latitud pero a lo largo de la vertiente del Pacífico, considerando como límite este el parte-aguas de la Sierra Madre Occidental y como límite oeste la línea costera (Fig. 1). Para cada segmento se obtuvo el endemismo, aunque no se consideraron los segmentos que corresponderían latitudinalmente a los cinco primeros de la Península por falta de suficiente información. Los valores del endemismo de la vertiente del Pacífico fueron graficados latitudinalmente y la distribución de los puntos fue analizada mediante un análisis de regresión lineal. Los datos continentales fueron tomados de García-Trejo (2000).

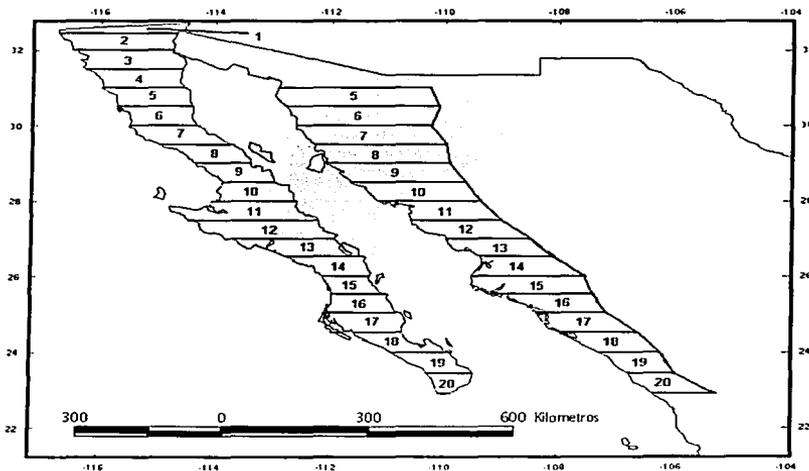


Figura 1. Segmentos latitudinales de medio grado a lo largo de Baja California usados para los análisis latitudinales. También se muestran los segmentos a lo largo de la vertiente del Pacífico utilizados para la comparación del patrón del endemismo con el de la Península.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Análisis de recambio de especies.*- Para evaluar el recambio de la riqueza y el endemismo a lo largo de la Península, se construyeron curvas de recambio de especies con base en lo propuesto por Terborgh (1971, 1977). Este análisis consiste en calcular y comparar a través de una gráfica, el porcentaje de las especies de un intervalo, que es compartido por otros intervalos a lo largo de un gradiente, en este caso latitudinal, para identificar los sitios en donde se recambia la riqueza y el endemismo. Para ello, se dividió nuevamente a la Península en segmentos latitudinales, sólo que debido a la complejidad de las gráficas resultantes, cada segmento fue de un grado, generándose en total diez segmentos (Fig. 2).

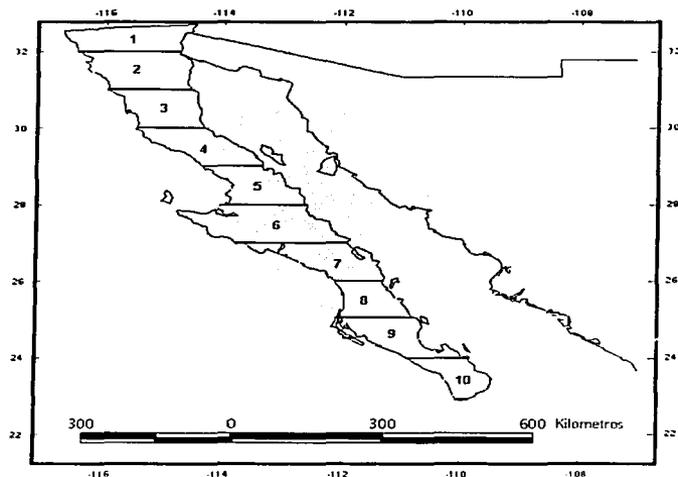


Figura 2. División de la Península en segmentos latitudinales de un grado utilizados para el análisis de recambio de riqueza y del endemismo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Análisis de agrupamiento.*- Alternativamente a los análisis de recambio, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento con el programa Biodiversity.pro Ver. 2 (McAlleece 1997) con base en los 20 segmentos latitudinales utilizados previamente para medir la similitud avifaunística entre cada uno (Fig. 1). Se utilizó el índice de Jaccard, el cual es usado para comparar asociaciones entre datos de presencia-ausencia. Cuando se comparan dos áreas (asociaciones), se considera como correspondientes a todos los taxa con presencia en ambas columnas, se tiene:

$$S_{\text{(Jaccard)}} = M / (M+N)$$

Donde "M" es el número de especies compartidas y "N" el número total de taxa con presencia en sólo un área. El índice de similitud de Jaccard resume la proporción de taxa distintos encontrados en las dos columnas y varía de 0 a 100%, en donde el primer caso no existen taxa compartidos y en el segundo, cuando ambas columnas poseen los mismos taxa. Una ventaja de este índice es que posee las propiedades de una distancia métrica verdadera y es usado como buena alternativa para medir la diversidad beta (Magurran 1988).

Tanto el análisis de recambio de especies como el de agrupamiento se realizaron para describir los patrones de recambio y/o reemplazamiento (diversidad beta) de la riqueza a lo largo de la Península.

## **Resultados**

Se obtuvieron en total 26,800 registros puntuales, de los cuales 15,033 (56%) fueron para el Estado de Baja California y 11,767 (44%) para el Estado de Baja California Sur, incluyendo los registros insulares. Fueron aproximadamente 1,517 localidades de recolecta y observación a lo largo de toda la Península (Fig. 3). Al igual que en el número de registros, la mayor proporción de localidades se han llevado a cabo en el Estado de Baja California, con 1,106 en contraste con las 424 localidades para Baja California Sur.

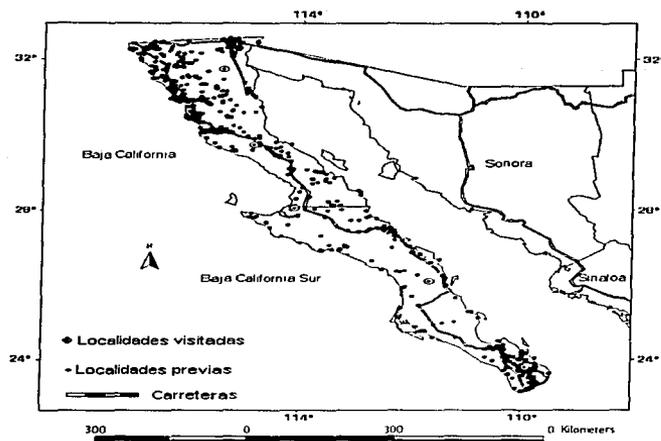


Figura 3. Localidades visitadas y registros históricos de aves en la Península de Baja California. Debido a la escala no se aprecia el número total de localidades históricas mencionadas en el texto.

El esfuerzo de muestreo por segmento latitudinal se muestra en la figura 4, representado a través del número de localidades y de registros. Los segmentos latitudinales que poseen un mayor número de registros y de localidades son: 2-6, 12, 19-20. El esfuerzo latitudinal de muestreo tanto de registros como de localidades presenta en general una relación positiva, sin embargo, en el segmento 18 la diferencia es aún mayor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

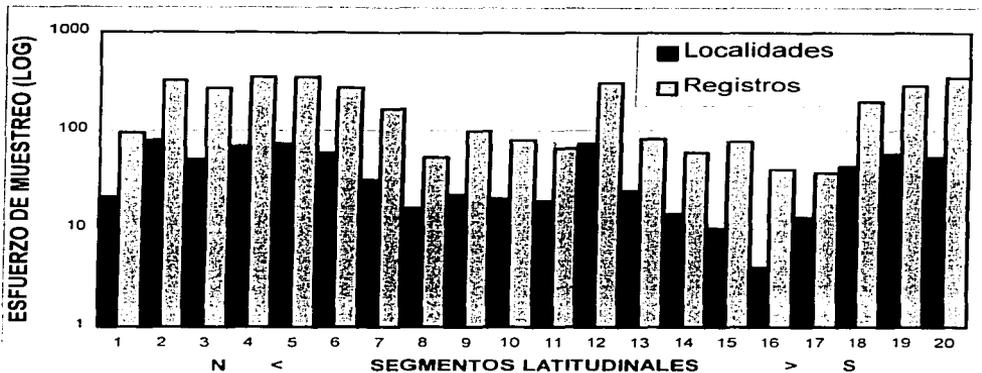


Figura 4. Esfuerzo de muestreo representado en escala logarítmica por número de registros y número de localidades por segmento latitudinal.

La riqueza total registrada para la Península, incluyendo la avifauna insular, fue de 452 especies. Considerando la riqueza por entidad federativa se registraron 399 especies para Baja California y 314 especies para Baja California Sur, aunque dentro de la riqueza total registrada, existen algunas especies que pueden ser consideradas como dudosas por su distribución actual conocida (Apéndice 1). Haciendo un análisis general del endemismo en la Península, se dedujo que del total de la riqueza registrada (452 especies), 36 especies (8%) son endémicas o cuasiendémicas a México (éstas últimas compartidas con algunas regiones del suroeste de los estados de California y Arizona en Estados Unidos) y 18 especies (4%) son endémicas a Baja California, incluyendo a las actualmente extintas (Apéndice 1).

La riqueza de especies residentes terrestres fue de 123, obtenida a partir de 3,650 registros puntuales únicos contenidos en 751 localidades. El análisis de la distribución latitudinal de esta riqueza se muestra en la figura 5, en ella se observa que el mayor número se presenta en tres áreas a lo largo de la Península. La

primera posee una riqueza de 80 especies y corresponde con las sierras Juárez y San Pedro Mártir y está representada por los segmentos 2-6. La segunda, cuya riqueza rebasa las 60 especies, coincide con la región del Cabo y está representada por los segmentos 18-20. Una tercera y última área con una alta riqueza es la correspondiente al sur del Desierto del Vizcaíno, representada por el segmento 12 con cerca de 60 especies (Fig. 5). A pesar de una ligera tendencia hacia la disminución en el número de especies de norte a sur, el resultado de la regresión demostró que no hay una relación directa ( $F=3.74$ ,  $P=0.069$ ) para explicar el comportamiento de la riqueza a lo largo del gradiente latitudinal.

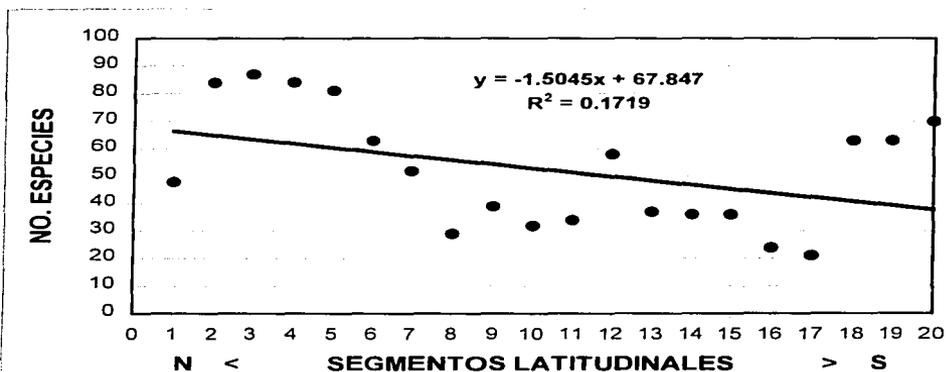


Figura 5. Distribución de la riqueza a lo largo del gradiente latitudinal representada por segmentos colocados de norte a sur. Se muestra la línea de regresión lineal, su ecuación y  $R^2$ .

La figura 6 muestra la distribución latitudinal del endemismo, en ella se aprecia que la región del Cabo, representada por los segmentos 18, 19 y 20, son los que poseen un mayor número de especies endémicas con nueve y diez respectivamente. Los segmentos situados al sur del Desierto del Vizcaíno y a lo largo de la Sierra de la Giganta (12, 14 y 15), presentaron un endemismo

medianamente alto, con seis y cinco especies, y por último las áreas con menor endemismo fueron la que colinda con la línea fronteriza de Estados Unidos y la situada al sur de la Sierra de la Giganta, correspondiente a los segmentos 1 y 17, ambas con una especie. El endemismo de la Península posee una clara tendencia de aumento de norte a sur en el número de especies y además, el resultado de la regresión demostró que sí existe una relación positiva directa ( $F=24.47$ ,  $P=0.0001$ ) para explicar dicho comportamiento a lo largo del gradiente latitudinal.

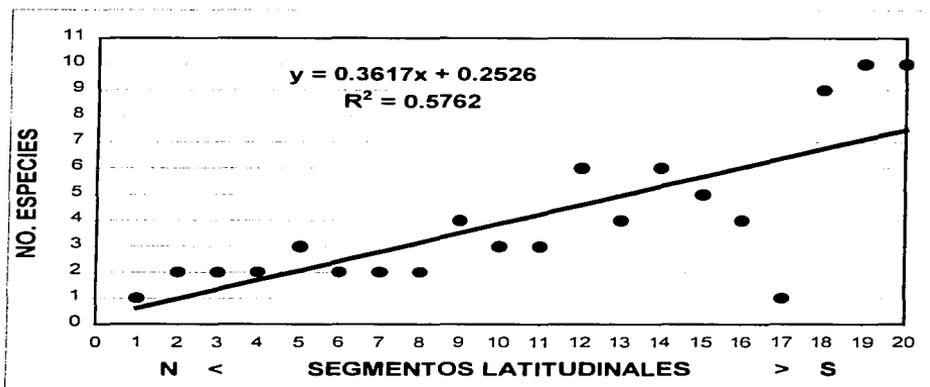


Figura 6. Distribución del endemismo a lo largo del gradiente latitudinal representada por segmentos colocados de norte a sur. Se muestra la línea de regresión lineal, su ecuación y  $R^2$ .

En relación con el recambio latitudinal de riqueza, la figura 7 muestra que la riqueza de los tres primeros segmentos localizados en el norte, se recambia gradualmente de norte a sur, compartiendo casi la totalidad de la riqueza entre sí y entre el 60-80% con el resto de los segmentos de la Península, incluyendo los más sureños. De manera contraria, existe un marcado recambio del porcentaje de especies compartidas de los segmentos centrales y del sur con relación a los tres primeros, ya que a partir del segmento 4 hacia el norte, el porcentaje es sólo del 50% o menor. Los segmentos centrales (4, 5, 6, 7 y 8), muestran un recambio en

la riqueza compartida hacia ambas direcciones norte y sur, siendo mayor con el norte. En el segmento 6, existe un patrón de disminución y aumento de recambio en ambos sentidos para todos los segmentos centrales, excepto para su propia riqueza, que presenta un recambio similar al norte y al sur. Los últimos dos segmentos propios de la región del Cabo (9 y 10), se recambian gradualmente hacia el norte, compartiendo sólo un 50% de su riqueza con el norte.

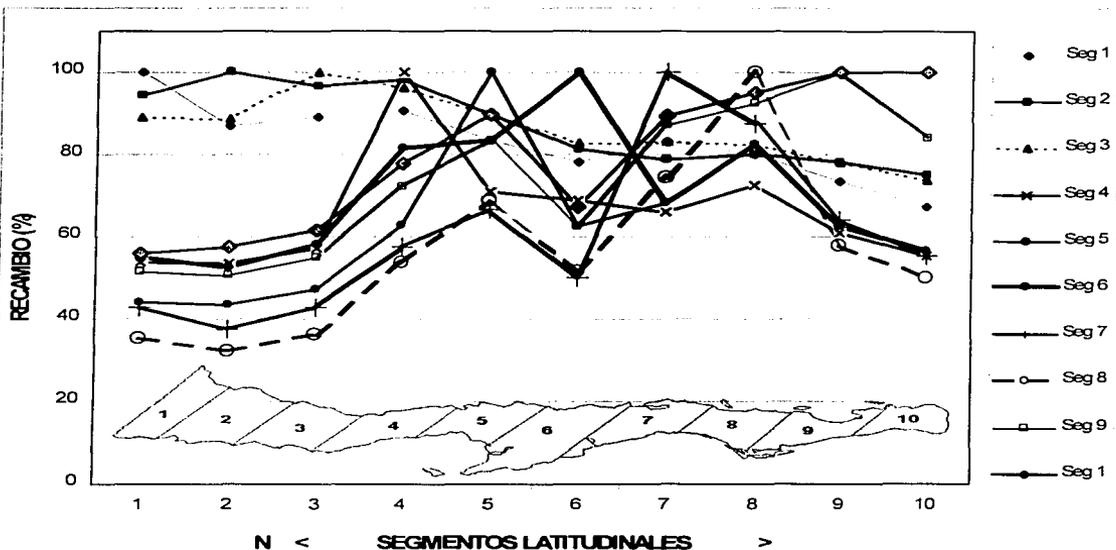


Figura 7. Recambio de riqueza por segmento latitudinal de un grado. Las diferentes líneas distinguen las curvas de intercambio correspondientes a cada segmento

La figura 8 muestra a través del promedio de los valores de recambio de cada segmento, que el mayor recambio de especies se presenta en los segmentos 3-4, 5-6 y 6-7. Los valores promedio y comportamiento de la curva muestran que

en general es la avifauna sureña la que mejor se representa a lo largo de la Península.

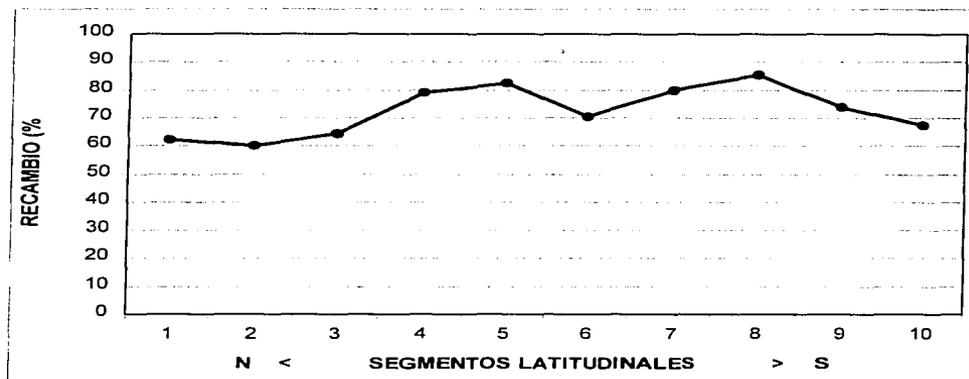


Figura 8. Valores promedio de recambio de riqueza por segmento latitudinal de un grado.

El recambio latitudinal del endemismo (Fig. 9) muestra que los segmentos 1 y 2, situados en el norte, comparten las mismas especies (100%) y a partir de estos segmentos hacia el sur se comienza a presentar un recambio, siendo en el segmento 4 donde es mayor. El endemismo del segmento 4 repentinamente desaparece hacia el sur a partir del segmento 5. Los segmentos 5, 6, 7 y 8, propios del centro de la Península, poseen un endemismo que se comporta de la misma manera con relación a su recambio a lo largo de la Península, siendo notorio que entre los segmentos 6, 7 y 8, no existe recambio alguno para el endemismo de ningún segmento. El porcentaje del endemismo de los segmentos 9 y 10 se recambia gradualmente hasta alcanzar el 100% de los pocos endemismos del norte representados por los tres primeros segmentos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

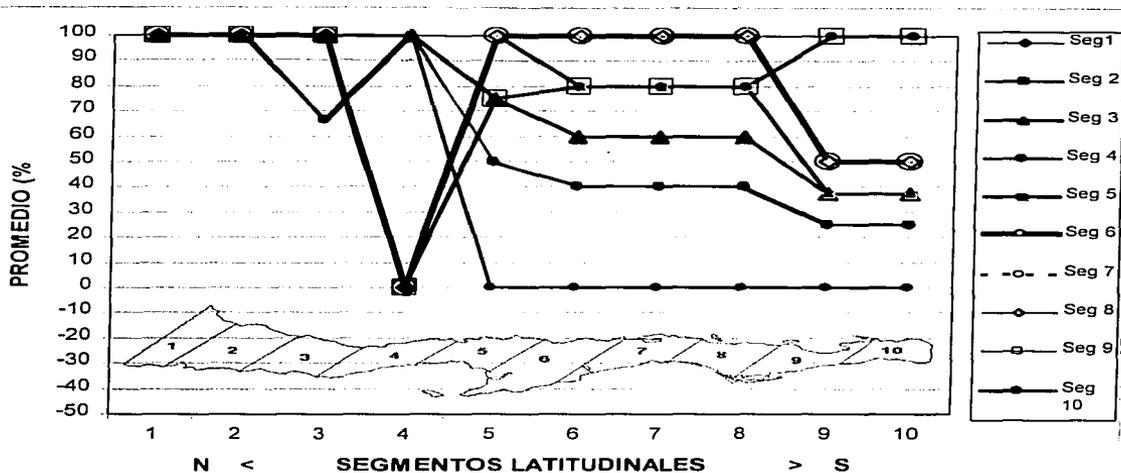


Figura 9. Recambio de endemismos en Baja California por segmento latitudinal de un grado. Las diferentes líneas distinguen las curvas de intercambio correspondientes a cada segmento.

La figura 10 muestra a través del promedio de los valores de cada segmento, que el mayor recambio de especies endémicas se presenta en los segmentos 3-4, 4-5 y 8-9. En general el endemismo se va perdiendo hacia el norte (como lo demuestra la figura 6), sin embargo, debido a que son las especies endémicas del sur las que se van perdiendo hacia el norte y las pocas especies endémicas del norte se distribuyen a lo largo de toda la Península, el comportamiento del recambio se presenta de manera inversa a lo observado en la figura 6.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

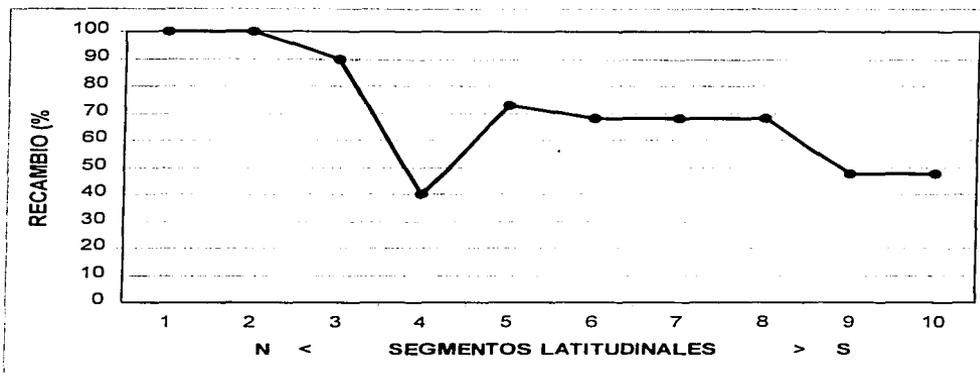


Figura 10. Valores promedio de recambio de endemismo por segmento latitudinal de un grado.

La figura 11 muestra la distribución latitudinal del endemismo en el extremo norte de la vertiente del Pacífico, en ella se aprecia que en la región del norte de Sonora presenta un poco más de cinco especies y se incrementan hacia el sur gradualmente hasta llegar al extremo sur de Sinaloa, representado por los segmentos 18, 19 y 20, que son los que poseen un mayor número de especies endémicas (50 y 60). El endemismo de la vertiente del Pacífico posee una clara tendencia de aumento de norte a sur en el número de especies y además, el resultado de la regresión demostró que existe una relación positiva directa ( $F=61.1$ ,  $P=0.0001$ ) para explicar dicho comportamiento a lo largo del gradiente latitudinal, particularmente si se considera el alto valor de  $R^2$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

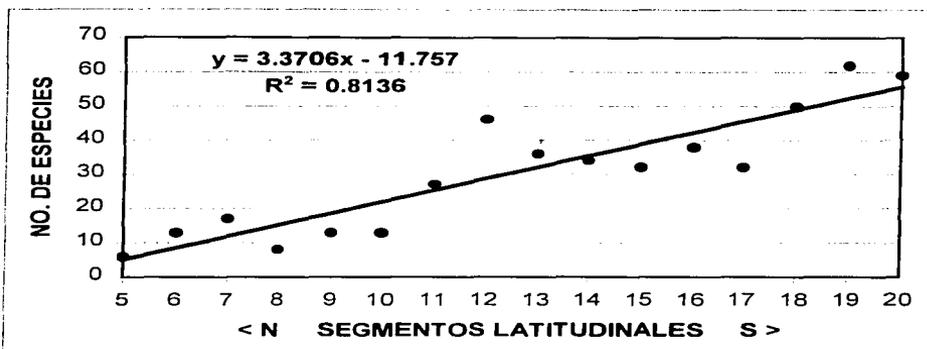


Figura 11. Número de especies endémicas por segmento latitudinal de medio grado en la vertiente del Pacífico. El número de cada segmento corresponde latitudinalmente al utilizado para la Península de Baja California. Se muestra la ecuación y  $R^2$ .

El análisis de agrupamiento (Fig. 12) demostró la existencia de dos principales grupos con valores de similitud relativamente altos (75% y 68% respectivamente), el primero integrado por los segmentos 18-20, que corresponden con la región del Cabo y el segundo integrado por los segmentos 2-6, que corresponden geográficamente con las sierras del norte de Baja California. Un tercer grupo con cerca del 60% de similitud fue el representado por los segmentos 11 y 13 y corresponde con dos de los segmentos en los que se dividió al desierto del Vizcaíno. El resto de los segmentos en general presentan una relación de similitud "en peine". Los segmentos 1, 16 y 17 fueron los que se presentaron como los más externos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

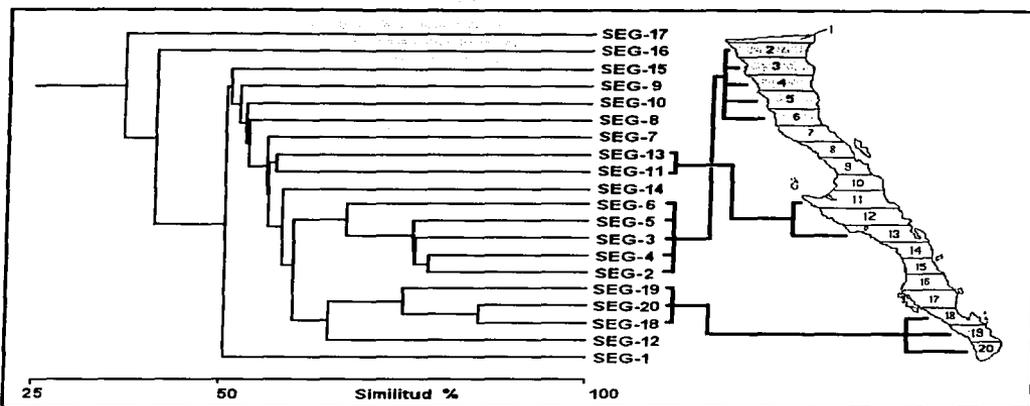


Figura 12. Fenograma del análisis de agrupamiento (Índice de similitud de Jaccard). Se muestran las correspondencias geográficas de los grupos formados.

### Discusión

El análisis latitudinal del esfuerzo de muestreo (Fig. 3) no ha sido homogéneo, ya que existen zonas relativamente bien representadas como es el caso de las zonas de grandes asentamientos humanos como son las ciudades de Tijuana, Mexicali, Ensenada, San Felipe, La Paz y Los Cabos (segmentos 2-6, 12 y 19-20), cuyos registros sobrepasan los 250 y arriba o cerca de las 50 localidades. Las zonas pobremente representadas corresponden a los desiertos centrales (o Valle de los Cirios) y a la Sierra de la Giganta (segmentos 8-11 y 13-17) con menos de 100 registros y menos de 25 localidades y cuyos asentamientos humanos se limitan a pequeñas poblaciones esporádicas a lo largo de la carretera trans-peninsular. Este patrón de muestreo también puede deberse a la accesibilidad a los sitios, ya que es coincidente el mayor número de registros y localidades con la existencia de un mayor número de vías de comunicación, destacando que la mayoría de los segmentos que tienen carreteras pavimentadas con dirección este-oeste

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

(cruzando la Península transversalmente), corresponden con los mejor muestreados (Fig. 1).

La riqueza total encontrada en la Península de Baja California fue de 452 especies y corresponde al 35% de la avifauna total de México (1,282 especies, Navarro y Peterson en prep.), siendo mayor la riqueza de Baja California en un 21% aproximadamente con relación a Baja California Sur. Cabe resaltar que la riqueza total incluye cinco especies introducidas (*Phasianus colchicus*, *Columba livia*, *Quiscalus mexicanus*, *Sturnus vulgaris* y *Passer domesticus*), una especie invasora que se dispersó recientemente (*Bubulcus ibis*), cuatro especies extintas (*Oceanodroma macrodactyla*, *Caracara lutosus*, *Colaptes rufipileus* y *Carpodacus mcgregori*) y dos que han sido extirpadas de la Península (*Gymnogyps californianus* y *Crotophaga sulcirostris*) (Apéndice 1). Además, existe una fracción de la riqueza (2.2%) cuyo registro es dudoso, integrada por un conjunto de especies que su presencia requiere de verificación (Apéndice 1). Por último, existen algunas especies marinas que por su cercanía podrían formar parte de la avifauna de Baja California (e.g. *Catharacta maccormicki*), sin embargo, debido a que no han sido registradas todavía en sus costas, no fueron consideradas.

A pesar de que el esfuerzo de muestreo no ha sido homogéneo, ya que existe una clara tendencia de acumulación de localidades de muestreo hacia el norte y en la punta sur de la Península (Fig. 4), el número de registros (26,680) y de localidades (1,530) resultaron ser elevados en comparación con los existentes para otras entidades del país, como por ejemplo Hidalgo, Puebla y Querétaro, con menos de 200 localidades cada una (Navarro *et al.* 2002, Navarro y Sánchez-González en prensa).

La comparación de la riqueza avifaunística de la Península con relación a otras regiones del país, permite sugerir que ésta es relativamente alta, siendo similar por ejemplo, a la de los estados de San Luis Potosí, Michoacán, Sinaloa y Tamaulipas, entidades caracterizadas por una alta riqueza y que ocupan el octavo,

noveno, décimo y onceavo lugar en el país respectivamente en cuanto a riqueza de aves (Navarro y Sánchez-González en prensa); incluso, es comparable con la riqueza de la Península de Yucatán, misma que posee un poco más de 450 especies a pesar de estar situada en el neotrópico y cuya riqueza también tiende a ser elevada. Sin embargo, se debe considerar que casi el 20% de la riqueza de Baja California (85 especies) pertenece a especies de presencia accidental (Apéndice 1), las implicaciones de ello se discuten en el siguiente capítulo, pero es importante mencionar que un alto componente de la riqueza no reside regularmente en la región.

*Riqueza.*- Los patrones latitudinales de la riqueza encontrados muestran por un lado, que aunque ésta aparentemente tiende a disminuir de norte a sur (Fig. 5) la regresión no fue significativa ( $F=3.74$ ,  $P=0.069$ ), lo que implica que deben ser otros los factores que están determinando la distribución de la riqueza más allá de la latitud, como puede ser la presencia de elementos fisiográficos y de vegetación tales como cadenas montañosas y desiertos, ya que la mayor concentración de especies coincide con la presencia de dichos elementos. El análisis de recambio latitudinal de especies entre los segmentos de un grado, permite identificar tres importantes divisiones latitudinales donde se presenta un mayor recambio de especies cuyos límites son, para el primer caso, las Sierras del norte de Baja California alrededor de los  $30^{\circ}$  de latitud, para el segundo en el Desierto del Vizcaíno alrededor de los  $28.5^{\circ}$  de latitud (considerado por otros autores como punto de transición biogeográfica entre faunas, Zink *et al.* 1998, Riddle *et al.* 2000) y un tercero localizado en el sur de la Sierra de la Giganta y al norte de la región del Cabo alrededor de los  $24.5^{\circ}$  de latitud (Fig. 5). Este patrón coincide con lo que sugiere Sieb (1980) para los reptiles y Lawlor (1983) para los mamíferos en Baja California.

Por otro lado, el análisis de agrupamiento (Fig. 12) muestra claramente la formación de dos grupos geográficamente bien delimitados y correspondientes a la región del Cabo y las sierras del norte de Baja California. Ambas zonas

geográficas presentan cadenas montañosas caracterizadas por climas y tipos de vegetación típicamente de bosques templados, lo que puede favorecer la similitud entre sus avifaunas, además de algunas otras variantes locales únicas de cada una. Esta es quizás la razón por la cual ambos grupos se integran formando una agrupación mayor con un índice de similitud con más de 60%. Un tercer agrupamiento corresponde a parte del desierto del Vizcaíno, que es una zona ecológicamente homogénea con relación al clima, la topografía y la vegetación, lo que puede explicar también su similitud avifaunística. Curiosamente, los grupos formados corresponden a zonas geográficas cuyos límites han sido resaltados en análisis anteriores como de recambio de faunas (Figs 7 y 9). El resto de los segmentos presentan una relación típica de grupos anidados, los cuales se van integrando uno a uno en agrupaciones cada vez mayores, lo que puede sugerir la existencia de gradientes ecológicos a lo largo de la Península, como lo observado en otros análisis. El comportamiento de los segmentos más externos (1, 16 y 17), puede deberse por un lado a la carencia de registros (Fig. 4) y por otro, a la poca riqueza presente en cada uno (Fig. 5).

En resumen, la disminución y el recambio o reemplazamiento de la riqueza no es gradual como se esperaría bajo la hipótesis del efecto peninsular de Taylor y Regal (1978), por el contrario podría ser más fácilmente explicado tanto por la hipótesis de los reemplazamientos ecológicos (Terborgh 1971, Sieb 1980), como por la de las barreras geográficas y ecológicas (Lawlor 1983), particularmente considerando la enorme coincidencia entre dicho recambio y la presencia de elementos orográficos y cambios de vegetación.

*Endemismo.*- En relación con el patrón de distribución del endemismo, la mayor concentración de endemismos se presenta en la región del Cabo, en donde se encuentran diez de las doce especies endémicas peninsulares, seguido por el Desierto del Vizcaíno con seis especies y ha sido también previamente reconocido como centro de endemismos tanto para aves como para plantas (Zink *et al.* 1997, Ortega y Arriaga 1991) (Fig. 6). Los valores más bajos se encuentran en la parte

norte con una especie. Lo anterior demuestra un patrón de aumento norte-sur, existiendo 10 especies endémicas en los 24° de latitud, seis alrededor de los 28° de latitud y una en la latitud 31° (Fig. 6). Este patrón de incremento está sustentado por el análisis de regresión que cuyo modelo fue altamente significativo, lo que implica que la latitud puede uno de los factores que mejor explican tal distribución. Por otro lado, el patrón de recambio del endemismo a lo largo de la Península parece demostrar, al menos para la mayoría de las especies endémicas del sur y centro, que éstas se van perdiendo gradualmente hacia el norte hasta alrededor de los 29.5° de latitud, a diferencia de las especies endémicas del norte que se presentan a lo largo de toda la Península (Figs. 9 y 10).

Es claro que existe una relación entre el incremento del endemismo con la disminución de la latitud, es decir, con el aumento de la distancia a partir de la base de la Península. El fenómeno de diferenciación en el sur podría ser explicado debido al gran aislamiento de las formas sur-peninsulares, que limita la posibilidad de recolonización y de flujo génico por parte de las formas continentales a través de la Península (dispersión según Grinnell 1928 y Davis 1959) o a través del Golfo de California (vicarianza según Riddle *et al.* 2000), es decir, podría ser explicado a través del modelo de recolonización-extinción propuesto por Simpson (1964), McArthur y Wilson (1967) y Taylor y Regal (1978). Sin embargo, la comparación de este patrón con el encontrado para la vertiente del Pacífico (Fig. 1), demostró al igual que en la Península, que en esta porción del continente se da un incremento norte-sur, también fuertemente sustentado por la regresión altamente significativa (Fig. 11). Esto demuestra que los patrones de distribución del endemismo en Baja California no son exclusivos de la Península, sino que el incremento en el número de especies hacia sur parece ser más bien una cualidad general que corresponde a un efecto latitudinal en el hemisferio norte más que un efecto peninsular debido al aislamiento.

*Recambio y/o reemplazamiento ecológico.*- La hipótesis del recambio ecológico de Terborgh (1971) fue apoyada por Sieb (1980) para los reptiles de Baja California, ya que encontró que los intervalos de la mayoría de las especies sureñas de desiertos, tienden a terminar más o menos donde existen especies con requerimientos ecológicos similares, asumiendo que se dispersaron del norte hasta que se encontraron. Por su parte Lawlor (1983), encontró para los múridos, que cada región soporta igual número de especies pero con dos reemplazamientos a lo largo de la Península. Debido a que en el presente trabajo no se estudiaron los requerimientos ecológicos de las especies, es difícil asegurar para el caso de las aves que el recambio se da por una exclusión competitiva entre equivalentes ecológicos. Sin embargo, con base en la relación de la posible similitud en los requerimientos ecológicos de algunas especies hermanas o cercanamente emparentadas que se reemplazan (Figs. 7, 8, 9, 10 y 12), tales como *Colaptes cafer* y *Colaptes chrysoides*, *Campylorhynchus affinis* y *Campylorhynchus brunneicapillus*, *Polioptila melanura* y *Polioptila californica*, *Toxostoma lecontei* y *Toxostoma arenicola*, *Pipilo crissalis* y *Pipilo albigula*, entre otras, se puede sugerir que la exclusión competitiva puede en parte ser responsable del recambio entre las avifaunas. Sin embargo, a diferencia de la riqueza, para el endemismo el intercambio ecológico entre formas similares parece ser poco posible, debido a que la mayoría de las especies endémicas del sur y del centro (*Columba vioscae*, *Glaucidium hoskinsii*, *Hylocharis xantusii*, *Melanerpes angustifrons*, *Turdus confinis*, *Toxostoma arenicola*, *Pipilo albigula* y *Junco bairdi*), tienen en su mayoría a sus especies hermanas (ecológicos similares) restringidas a las zonas montañas y desiertos del norte de la Península, como lo muestra el análisis de agrupamiento (Fig. 12).

# **PATRONES DE LA DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LA AVIFAUNA DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

## **Introducción**

Su posición geográfica en Norteamérica hace que México posea más especies migratorias que cualquier otro país en Latinoamérica (Howell y Webb 1995), ya que más del 50% de las especies migratorias de Norteamérica se concentran en México, ya sea durante el invierno o durante su migración (Terborgh 1980). Las distribuciones invernales de la mayoría de especies terrestres migratorias neotropicales del oeste de Norteamérica, están concentradas en el oeste de México. Lo anterior permite que en promedio cerca del 45% de la riqueza esté constituido por especies migratorias, colocando al oeste de México como uno de los pocos sitios en el mundo con tan alta proporción de especies migratorias (Hutto 1995). Baja California, por su posición geográfica y su forma ha sido considerada por diversos autores como una ruta de migración importante para muchas especies (Howell y Webb 1995). Sin embargo, no todas las especies se comportan de la misma manera estacionalmente a lo largo de la Península, por ello se llevaron a cabo algunos análisis con el objetivo de realizar una descripción de los patrones geográficos de la distribución de la estacionalidad de la avifauna de la Península de Baja California.

## **Métodos**

La riqueza total de la avifauna (452 especies) se dividió en cinco categorías estacionales: residentes (especies presentes todo el año) migratorias de invierno (especies presentes sólo durante el invierno), migratorias de verano (especies presentes sólo durante el verano), transitorias (especies registradas durante su migración, es decir, aquellas que pasan por la Península o alguna parte de ella durante sus migraciones intercontinentales o interpeninsulares) y accidentales (especies de registro casual en la Península). La asignación a las diferentes

categorías estacionales de cada especie se basó en dos fuentes: 1) las fechas de presencia (observación y/o colecta) provenientes del Atlas de las aves de México (Navarro *et al.* 2002) y 2) la condición estacional propuesta por Howell y Webb (1995).

Muchas especies varían su condición estacional latitudinalmente, es decir, la misma especie tiene poblaciones tanto residentes, migratorias, transitorias o combinaciones de las anteriores a lo largo de Baja California. Por ello, para facilitar el esclarecimiento de los patrones estacionales, se analizó la estacionalidad a dos escalas: general y local.

Para analizar la estacionalidad a nivel general se dividió a la Península en tres grandes porciones latitudinales de aproximadamente 3 grados cada una y se asignó la categoría estacional de cada especie por porción. La porción norte va de la línea fronteriza con Estados hacia el sur hasta los 29<sup>o</sup> N, de donde sigue la porción centro hasta la latitud 26<sup>o</sup> N, seguida por la porción sur que se extiende hasta la punta sur de la Península (Fig. 1). Es necesario mencionar que algunas especies, tanto marinas como terrestres, además varían su condición estacional longitudinalmente dentro de una misma porción; en estos casos se le asignó la categoría estacional más común considerando el mayor número de registros por mes, o con base en la mayor área de distribución en los mapas propuestos por Howell y Webb (1995). Los valores de riqueza de cada categoría estacional para cada porción fueron comparados mediante una prueba de  $X^2$  para saber si existían diferencias significativas entre ellos. Las categorías estacionales de transitorias (T) y accidentales (A), no fueron consideradas en la prueba de  $X^2$  debido a que la presencia de este tipo de especies puede no estar relacionada con la preferencia por alguna de las porciones en particular.

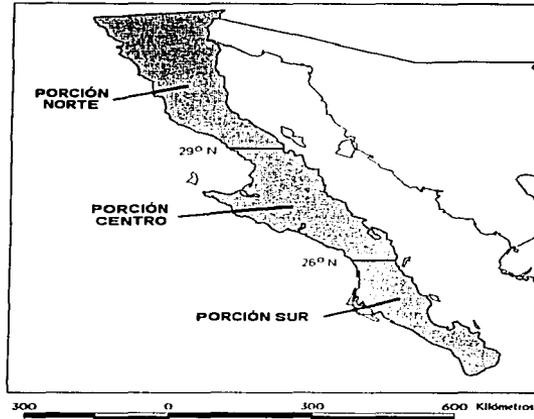


Figura 1. División de la Península en porciones latitudinales de 3 grados aproximadamente.

Para analizar la estacionalidad a nivel local se dividió a la Península en 20 segmentos latitudinales de medio grado cada uno y se asignó la categoría estacional de cada especie por segmento (Fig. 2). Al igual que en análisis general, para aquellas especies que varían su condición estacional longitudinalmente, se le asignó la categoría estacional más común considerando el mayor número de registros por mes, o con base en la mayor área de distribución en los mapas propuestos por Howell y Webb (1995). La riqueza de las categorías migratorias de verano (Mi), migratorias de invierno (Mv) y residentes (R), fue analizada por separado mediante una regresión lineal para describir si se ajustaban al gradiente latitudinal (representada por los segmentos). Con fines comparativos, se analizó la distribución latitudinal de estas categorías (Mi, Mv y R) a lo largo de la porción norte de la vertiente del Pacífico (Fig. 2) y también obtuvieron regresiones de cada una. Al igual que a una escala general, en la escala local las categorías estacionales de transitorias (T) y accidentales (A), no fueron consideradas debido

a que la presencia de este tipo de especies puede no estar relacionada con la preferencia por algún segmento latitudinal en particular.

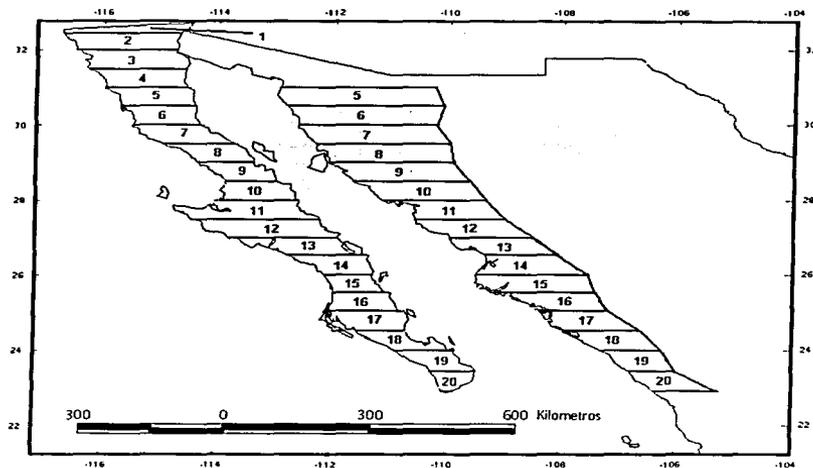


Figura 2. Segmentos latitudinales de medio grado a lo largo de Baja California usados para los análisis estacionales. También se muestran los segmentos a lo largo de la vertiente del Pacífico utilizados para la comparación del patrón estacional con el de la Península.

## Resultados

Se registró una riqueza total para la porción norte de 374 especies, de ella se observa en la figura 3, que tiene como principal elemento estacional a las especies residentes con 155 (42%), seguido de las especies migratorias de invierno con 106 (28%). Las especies transitorias (31) constituyen un 8% y las migratorias de verano (27) representan un 7%. Por último, el número de especies accidentales es de 55 (15%).

La porción media tiene una riqueza de 288 especies, de las cuales existe un mayor número de especies migratorias de invierno con 118 (41%), seguido de las especies residentes con 97 (34%). Las especies transitorias son 40 (14%) y las especies accidentales son 30 (10%). Sólo se registraron 3 especies migratorias de verano (1%) (Fig. 3).

De las 289 especies registradas para la porción sur, se observa en la figura 3, que hay un mayor número de especies migratorias de invierno 118 (41%) seguidas por las especies residentes que suman 104 (36%). Las especies transitorias son 25 (9%) y 39 las especies accidentales (13%). Sólo se presentan 3 especies migratorias de verano (1%).

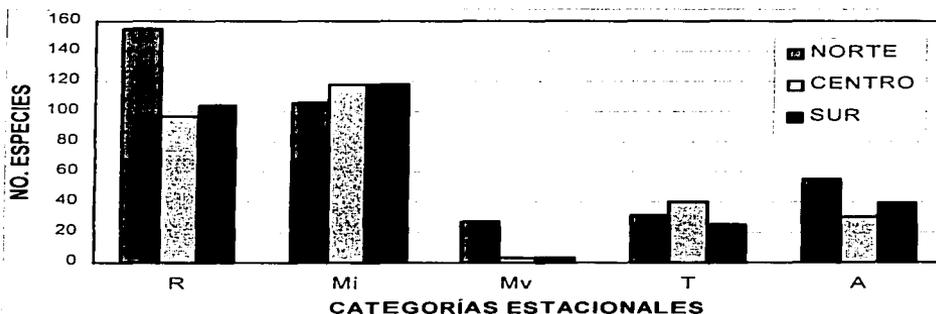
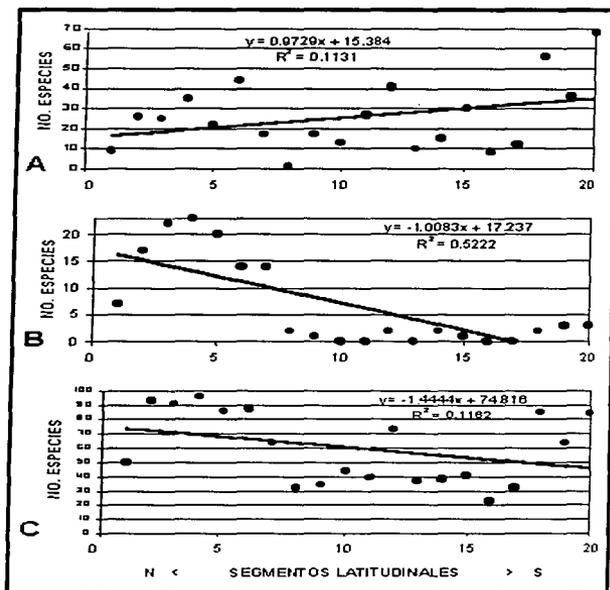


Figura 3. Comparación del número de especies por categoría estacional (R= residentes, Mi= migratorias de invierno, Mv= migratorias de verano, T=transitorias y A= accidentales) entre las porciones norte, centro y sur de la Península.

Las pruebas de  $X^2$  para comparar el número de especies de las diferentes categorías estacionales entre las porciones norte, centro y sur, indican que existen diferencias significativas para las categorías de residentes ( $X^2=16.88$ ,  $gl= 2$ ,  $P= 0.05$ ) y migratorias de verano ( $X^2=34.89$ ,  $gl= 2$ ,  $P= 0.05$ ), a diferencia de las

especies migratorias de invierno, que no presentaron diferencias significativas ( $X^2=0.841$ ,  $gl= 2$ ,  $P= 0.05$ ).

Las regresiones de la distribución de la riqueza estacional por segmento latitudinal en la Península (Fig. 4, A, B y C), muestran que para las categorías estacionales de migratorias de invierno (Mi) y residentes (R) no existe una relación positiva directa con la latitud, ( $F=2.294$ ,  $P=0.147$  y  $F=2.36$ ,  $P=0.141$  respectivamente), a diferencia de la categoría de migratorias de verano (Mv) en donde sí existe una relación positiva directa con relación a la latitud ( $F= 19.67$ ,  $P=0.0003$ ).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4. Distribución latitudinal en Baja California de las categorías estacionales de: A) migratorias de invierno (Mi), B) migratorias de verano (Mv) y C) residentes

(R). Se presentan los valores de la ecuación y  $R^2$  producto de la regresión. Los segmentos se distribuyen de norte a sur.

Las regresiones de la distribución de la riqueza estacional por segmento latitudinal en la porción norte del a vertiente del Pacífico (Fig. 5, A, B y C), muestran que para la categoría estacional de migratorias de invierno (Mi) no existe una relación positiva directa con la latitud ( $F=1.625$ ,  $P=0.104$ ). Sin embargo, para las categorías estacionales de migratorias de verano (Mv) y residentes (R) la relación entre su riqueza y la latitud sí muestran una relación positiva directa ( $F=16.58$ ,  $P=0.0011$  y  $F=17.96$ ,  $P=0.0008$  respectivamente).

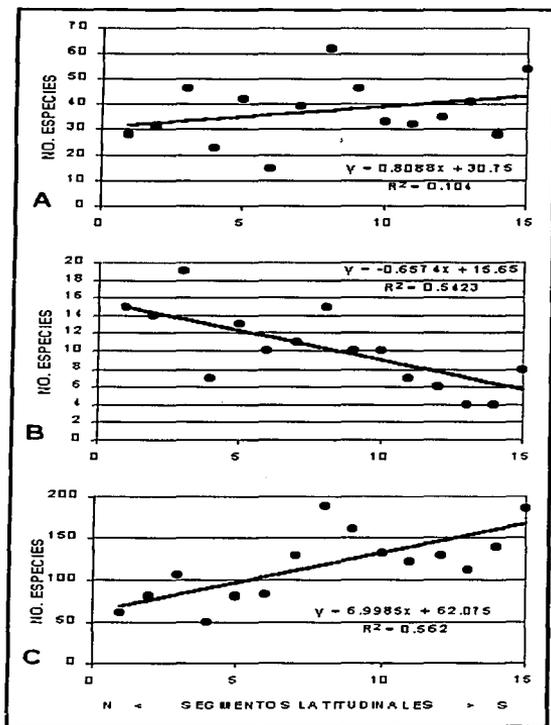


Figura 5. Distribución latitudinal en la porción norte de la vertiente del Pacífico de las categorías estacionales de: A) migratorias de invierno (Mi), B) migratorias de verano (Mv) y C) residentes (R). Se presentan los valores de la ecuación y  $R^2$ . Los segmentos se distribuyen de norte a sur.

### Discusión

Los análisis demostraron que la distribución de las especies considerando las diferentes categorías estacionales no tienen una distribución al azar, de hecho,

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

analizando la estacionalidad a una escala general, se observa que de las tres porciones en conjunto, la porción norte fue la que presentó una mayor cantidad de especies residentes (155) (Fig. 3). La existencia de cadenas montañosas tan extensas como lo son la Sierra de Juárez y Sierra San Pedro Mártir, por un lado permiten la existencia de un gradiente altitudinal climático y vegetacional en la zona, que a su vez permiten el mantenimiento de muchas poblaciones residentes que en otras partes de la Península son migratorias. Además, desde un punto de vista histórico, la cercanía e influencia de las provincias biogeográficas Sonorense y Californiana han permitido a su vez la presencia en el norte de especies residentes propias de estas provincias (e. g. *Callipepla gambelii*, *Oreortyx pictus*, *Picoides nuttallii*, *Gymnorhinus cyanocephalus*, *Nucifraga columbiana*, *Corvus brachyrhynchos*, *Poecile gambeli*, *Baeolophus inornatus*, *Sitta pygmaea*, *Polioptila melanura*, *Sialia mexicana*, *Chamaea fasciata*, *Toxostoma redivivum*, *Toxostoma crissale*, *Toxostoma lecontei*, *Pipilo aberti*, *Agelaius tricolor*, *Carduelis lawrencei*, entre otras). Las especies residentes disminuyen en la porción centro y sur (Fig. 3), y además la prueba de  $X^2$  demostró que las diferencias son significativas entre las especies residentes de las tres porciones, lo que coincide con una menor influencia avifaunística de las provincias continentales y que a su vez podría explicar la reducción del porcentaje. Cabe mencionar que en Baja California existen 17 especies con poblaciones residentes y que son migratorias de invierno para el resto del país.

A una escala general, la diferencia latitudinal entre las tres porciones podría determinar que las porciones centro y sur fuesen zonas de invernación para muchas especies de Canadá y Estados Unidos, excluyendo a la porción norte. Sin embargo, a pesar de que el número de especies migratorias de invierno en la porción norte fue menor (106 especies) a diferencia de las porciones centro y sur, que presentaron 118 especies en ambos casos (Fig. 3), las pruebas de  $X^2$  mostraron que no existen diferencias significativas entre las porciones para esta categoría estacional, lo que sugiere que a una escala general la distribución de las especies invernantes puede deberse a otros factores distintos a la latitud, como

pueden ser los fenómenos ecológicos tales como competencia, disponibilidad de hábitat e incluso eventos de tipo histórico.

Las especies migratorias de verano se presentan en mayor número (27) y proporción (7%) en la porción norte, a diferencia de las porciones centro y sur, cuyo número en ambas porciones apenas llega a tres (1%) (Fig. 3). El comportamiento de esta categoría estacional, aparentemente sí puede tener una explicación latitudinal, ya que durante el verano en la porción norte se lleva a cabo la reproducción de algunas especies que migran al continente durante el invierno, dejando fuera a las porciones centro y sur de la Península. Esta hipótesis parece ser apoyada por los resultados de la  $X^2$  que mostraron que las diferencias entre las especies migratorias de verano sí fueron significativas entre las porciones norte y centro-sur.

A una escala local, los análisis por segmento latitudinal demostraron a través de las regresiones, que la distribución de las especies migratorias de invierno y las especies residentes no presentaron una relación directa con la latitud (Fig. 4, A y C), a diferencia de las especies migratorias de verano, que presentaron una relación negativa directa (Fig. 4, B), tal como lo demostró la prueba de  $X^2$ . Esto sugiere que la distribución de las especies migratorias de verano tiene un componente latitudinal elevado y a su vez sugiere que la parte norte de la Península es un sitio de reproducción importante para muchas especies migratorias. Por otro lado, considerando el comportamiento de estas tres categorías estacionales en la parte norte de la vertiente del Pacífico, es importante mencionar que las especies migratorias de invierno al igual que en Baja California, no mostraron una relación positiva con relación a la latitud (Fig 5, A), lo cual sugiere como ya se ha discutido, que las especies invernantes deben tener otros factores que determinen su presencia.

El comportamiento de las especies migratorias de verano en la vertiente del Pacífico, al igual que en Baja California, también presentó una relación directa

negativa con la latitud (Fig. 5, B), esto demuestra que el norte de México es un sitio de reproducción importante. Con relación a las especies residentes en la vertiente del Pacífico, la regresión mostró (Fig. 5, C), a diferencia de las residentes en Baja California a una escala local, que sí existe una relación positiva directa, es decir, las especies residentes aumentan conforme disminuye la latitud. Este patrón de comportamiento puede deberse a la alta influencia de los elementos de origen neotropical presentes en la vertiente del Pacífico y totalmente ausentes en Baja California, cuyo patrón puede estar determinado por la presencia de otros factores tales como la presencia de elementos topográficos, como se ha discutido en el capítulo anterior.

Las especies transitorias no fueron consideradas para los análisis a nivel local, sin embargo, a una escala general su número, tanto en la porción norte como en la sur es similar en proporción con la riqueza de cada porción (8% y 9% representados por 31 y 25 especies respectivamente). Sin embargo, en la porción centro el número de especies transitorias se incrementa considerablemente (40) (Fig.3). A pesar de ello la prueba de  $X^2$  no da sustento a estas diferencias. Se sabe que Baja California es una ruta de migración importante tanto para especies marinas como terrestres y esto puede ser visto claramente en la porción centro, a pesar de que no tenga sustento estadístico, ya que un gran número de especies (14% de la riqueza de dicha porción) la usan sólo como "paso" durante su migración.

Al igual que las transitorias, las especies accidentales no fueron consideradas para los análisis locales, sin embargo, a nivel general y pesar de que la prueba de  $X^2$  mostró que las diferencias no son significativas latitudinalmente, el número de especies accidentales a lo largo de la Península es sorprendentemente elevado, siendo de 15% (55 especies) para la porción norte, 10% (30 especies) para la porción centro y 13% (39 especies) para la porción sur (Fig. 3). Debido a que la mayoría de las especies accidentales en la Península son migratorias de invierno, se puede sugerir que éstas frecuentemente se desvían de su ruta normal

de migración y utilizan a Baja California como alternativa de migración. Sin embargo, al menos para algunas especies, cabe la posibilidad de que se trate de especies migratorias en bajas densidades y que la carencia de registros nos confunda en cuanto a su condición estacional. Por último, existe un conjunto de especies accidentales cuyo origen sugiere que eventos de gran envergadura como las corrientes marinas, las de los vientos e incluso fenómenos climáticos tales como "El Niño", pueden explicar su presencia, particularmente de aquellas provenientes de Asia y del extremo norte de Norteamérica, como es el caso de *Gavia adamsii*, *Lophodytes cucullatus*, *Limosa lapponica*, *Larus pipixcan*, *Aethia cristatella*, *Cephus columba*, *Synthliboramphus antiquus*, *Phylloscopus fuscatus*, *Phylloscopus borealis*, *Anthus cervinus* y *Motacilla alba*, entre otras. La asignación de las categorías estacionales a las especies peninsulares debe ser una tarea constante, ya que con frecuencia la categoría estacional no corresponde con la reconocida por la literatura, como es el caso, por citar un ejemplo, de *Empidonax wrightii*, que es reconocida como una migratoria de invierno sólo en Baja California Sur (Howell y Webb 1995), sin embargo, de acuerdo con los datos del Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* 2002) existen más de siete registros en el norte a lo largo del invierno, lo que cuestiona su distribución tanto geográfica como estacional.

# **PATRONES ECOLÓGICOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA RIQUEZA DE LA AVIFAUNA DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

## **Introducción**

La distribución actual de las especies es el resultado de eventos históricos, pero también son resultado de un conjunto de factores ecológicos. La distribución geográfica de las especies es usualmente un área dividida por una línea que diferencia la presencia o ausencia de una especie, a diferencia de la distribución ecológica que es entendida como una zona dentro de la cual existen huecos y enclaves de mayor o menor abundancia dentro del intervalo principal (Brooke y Birkhead 1991). En las aves en particular, la distribución ecológica está determinada principalmente por la distribución del hábitat, que generalmente es un reflejo del tipo de vegetación, clima, altitud y otros factores. Aunque muchas especies de zonas áridas son marcadamente plásticas en cuanto a la selección de su hábitat (Hubbard 1973). Por ejemplo, en Baja California no es coincidencia que las regiones botánicas sean sorprendentemente similares a los distritos faunísticos respaldados por grupos diagnósticos como las aves (Wilbur, 1987).

En este capítulo se analizan cuatro variables que son el clima, la altitud, el tipo de vegetación y el tamaño del área, consideradas aquí como variables ecológicas, para ver si existe una relación entre estas variables en conjunto o alguna combinación de ellas con la riqueza latitudinal.

## **Métodos**

Para llevar a cabo los análisis de este capítulo, se dividió a la Península en 20 segmentos latitudinales de medio grado cada uno (Fig. 1) y se obtuvo la riqueza avifaunística de las especies residentes terrestres por segmento (Cuadro 1). Las variables ecológicas fueron el tipo de vegetación, la altitud, el clima y el tamaño del área. Estas variables fueron obtenidas con base en mapas elaborados

por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y provistas por la Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; <http://www.conabio.gob.mx>).

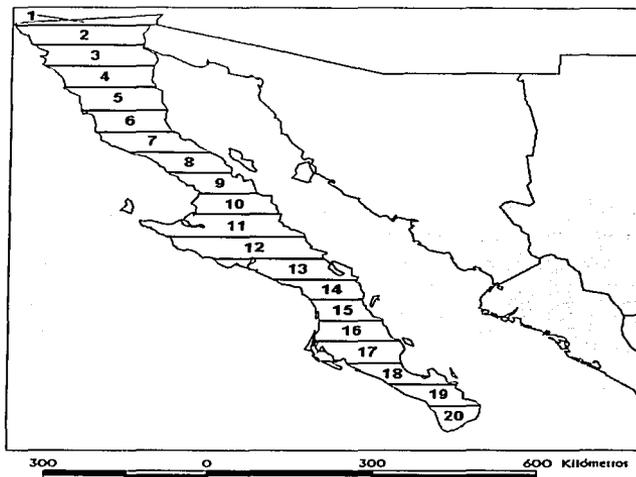


Figura 1. División de la Península en segmentos latitudinales de medio grado.

Para cada variable ecológica (exceptuando el área) se obtuvo el índice de diversidad de Shannon (Magurran 1988) por segmento (Cuadro 1). Este índice requiere de dos valores, la "riqueza" y la "abundancia", mismos que fueron estimados para cada variable de la siguiente manera: para la vegetación se contó el número de tipos de vegetación (riqueza) y la proporción de área por segmento que ocupó cada uno de ellos (abundancia). El clima se determinó de la misma manera que la vegetación. Para la altitud se eligieron los intervalos altitudinales de 0-200 msnm, 200-500 msnm, 500-1000 msnm, 1000-1500 msnm, 1500-2000 msnm y arriba de 2500 msnm (riqueza) y el área promedio que ocupa cada uno de ellos (abundancia). El valor del área, a diferencia de las otras variables, se

determinó directamente con el SIG ArcView 3.2 (ESRI 1999), calculando el porcentaje de área de cada segmento con relación al total del área de la Península (Cuadro 1, Fig. 2).

Cuadro 1. Valores de los índices de diversidad de Shannon para la vegetación, la altitud y el clima. Además se muestra el porcentaje de área y la riqueza por segmento.

Segmento	Vegetación	Altitud	Clima	Área	Riqueza
1	1.336	1.053	0.601	2.065	48
2	1.661	1.309	1.054	7.980	84
3	1.45	1.369	1.048	6.954	87
4	1.408	1.442	0.924	5.904	84
5	1.599	1.518	0.884	5.386	81
6	1.659	1.216	0.577	4.664	63
7	1.519	1.051	0.241	5.187	52
8	1.251	1.067	0	4.613	29
9	1.312	1.231	0	3.941	39
10	1.563	1.146	0	4.604	32
11	1.491	0.89	0	7.328	34
12	1.157	0.937	0	8.404	58
13	0.954	1.139	0	5.967	37
14	0.638	0.953	0	4.207	36
15	0.677	0.938	0	3.179	36
16	1.171	0.749	0	4.780	24
17	1.271	0.649	0	4.892	21
18	1.33	0.711	0.156	3.673	63
19	1.536	1.14	0.802	3.517	63
20	1.051	1.153	0.974	2.543	70

Para evaluar el efecto de las cuatro variables ecológicas sobre la riqueza de aves, se realizó primero un análisis de regresión múltiple con los valores del índice de Shannon de cada variable y para determinar cuál de las combinaciones explican mejor la riqueza. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de regresión lineal para cada variable por separado. Los análisis se realizaron con la ayuda de los paquetes estadísticos JMP 3.1.6.2 (SAS 1989).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Resultados

En la figura 2 se muestra la gráfica resultante del modelo en conjunto del análisis de regresión múltiple. Se observa que el modelo fue marginalmente significativo ( $F=4.715$ ,  $P=0.0479$ ) lo que implica que en su conjunto explica marginalmente la riqueza por segmento en la península.

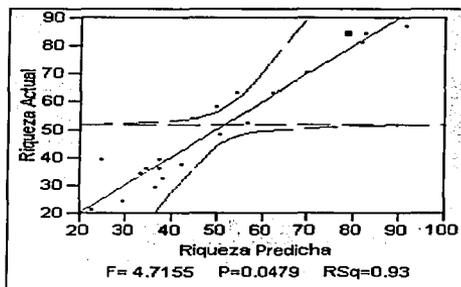


Figura 2. Gráfica resultante del análisis de regresión múltiple.

Cuadro 2. Resultado del análisis de regresión múltiple.

ANOVA (GLM)	Error Est	t Ratio	Prov>(t)
Intercepto	100.78	0.57	0.5925
(Veg-1.2905)*(Alt.-1.0626)*(Clim-0.3457)*(Are-4.7614)	572.22	-0.4	0.7087
(Veg-1.2905)*(Alt.-1.0626)*(Clim-0.3457)	565.98	0.69	0.5214
(Veg-1.2905)*(Alt.-1.0626)	248.81	0.79	0.4671
(Alt.-1.0626)*(Clim-0.3457)*(Are-4.7614)	95.18	-0.44	0.6799
(Alt.-1.0626)*(Clim-0.3457)	164.07	-1.15	0.3021
(Clim-0.3457)*(Are-4.7614)	24.62	-0.08	0.9413
(Veg-1.2905)*(Clim-0.3457)*(Are-4.7614)	116.65	-0.41	0.7001
(Veg-1.2905)*(Are-4.7614)	41.17	0.28	0.7914
(Alt.-1.0626)*(Are-4.7614)	41.85	1.1	0.3214
Vegetación	57.04	-0.58	0.5879
Altitud	56.4	-0.54	0.6115
Clima	49.95	1.45	0.2063
Area	7.55	1.55	0.1813
(Veg-1.2905)*(Clim-0.3457)	168.72	-0.59	0.5794
(Veg-1.2905)*(Alt.-1.0626)*(Are-4.7614)	244.28	0.43	0.6834

En el cuadro 2 se muestran los valores de "P" y su desviación estándar de cada posible combinación entre variables. Se observa que ninguna de ellas fue significativa ( $P < 0.05$ ), a pesar de que el modelo en conjunto si lo fue.

Con base en los resultados anteriores, se llevaron a cabo regresiones lineales por variable de manera independiente, las cuales mostraron que para las variables de clima y altitud, existe una relación positiva directa con la riqueza ( $F=67.54$ ,  $P=0.0001$  y  $F=17.27$ ,  $P=0.0006$  respectivamente), a diferencia de la vegetación y el área, mismas que no fueron significativas ( $F=4.33$ ,  $P=0.0518$  y  $F=1.32$ ,  $P=0.265$  respectivamente) (Fig. 3).

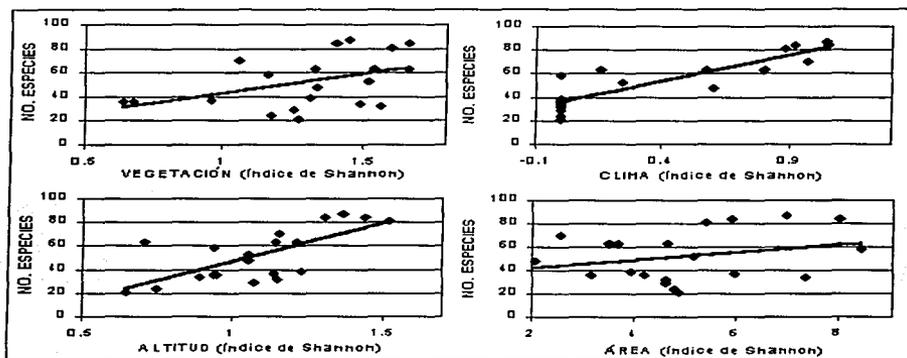


Figura 3. Análisis de regresión lineal por variable ecológica.

En la figura 3 se observa que existe una tendencia al incremento en el número de especies conforme se incrementa la altitud y el clima. Los índices para el clima para algunos segmentos poseen un valor de cero, esto se debe a que el clima es el mismo y cubre la totalidad de los segmentos. Es necesario recordar que la riqueza de cada segmento, como se analizó en el capítulo anterior, puede también estar siendo afectada por el esfuerzo de muestreo.

## Discusión

El análisis de regresión múltiple (Cuadro 2), muestra que ninguna combinación entre las variables resultó significativa, sin embargo, el modelo en conjunto sí es significativo marginalmente, por lo que la riqueza encontrada parece explicarse parcialmente por la combinación de las variables ambientales.

De todas las variables analizadas de manera independiente (Fig. 3), las regresiones mostraron que el clima y la altitud son las variables que mejor se relacionan con la riqueza. Ambas variables pueden ser considerados como elementos primarios que de manera indirecta determinan otras variables como la vegetación, a pesar de que ésta última no fue significativa para explicar la riqueza. A pesar de que pudieron existir variaciones estadísticas al momento de obtener los índices de similitud, especialmente en el caso del clima que presentó algunos valores de "cero", a nivel regional los cambios en la riqueza parecen ajustarse a los cambios climáticos, como lo demostró la regresión. Por otro lado, los análisis de la riqueza latitudinal en el capítulo anterior, demuestran que existe una coincidencia con la presencia de elementos topográficos sobresalientes, como es el caso de las sierras del norte, las Sierra de la Giganta en el centro-sur y la Sierra de la Laguna en el extremo sur. por lo tanto, la altitud parece ser un elemento que es importante para explicar la distribución de las especies en Baja California.

Considerando el tamaño del área, existen una variación en el ancho de la Península, por lo que los segmentos utilizados no poseen áreas equitativas (Fig. 3). Este fenómeno podría estar afectando el número de especies con base en lo descrito por "la regla de Rapoport" -a mayor área, mayor riqueza- (Rapoport 1975, Rosenzweig 1995). Sin embargo, diversos autores han argumentado que el tamaño del área no parece ser un factor responsable de la diversidad de especies en los gradientes latitudinales, teniendo un papel secundario en tales efectos, limitando la aplicación de dicha "regla" a especies de reciente aparición y de

capacidades vágiles limitadas (Connor y McCoy 1979, Rohde 1997, 1998, Myers y Giller 1994). La regresión demuestra que efectivamente en Baja California no existe una relación directa para la riqueza de aves con relación a el tamaño del área. A pesar de que bajo ciertas escalas podría existir una relación estadística entre el tamaño del área y la riqueza de especies, a la escala de este trabajo los resultados no muestran que dicha relación sea cierta; por lo que el parámetro del área para predecir el número de especies como lo sugiere Connor y McCoy (1979), es criticable en términos de simplista, ya que oscurece los mecanismos verdaderos que realmente determinan la diversidad.

La vegetación es una variable ambiental que en el caso de las aves tiende a estar muy asociada, incluso en la mayoría de las guías de campo siempre se establece el o los tipos de vegetación al cual la especie está asociada, sin embargo, la regresión demostró que en Baja California aparentemente esta variable no explica la distribución de las especies. Este resultado puede deberse a la escala de estudio empleada, ya que la manera de cuantificar la variación entre cada tipo de vegetación puede implicar diversas dificultades (Myers and Giller, 1994). Por citar un ejemplo, a nivel local lo que puede ser un bosque ripario, a nivel regional puede tratarse de un matorral xerófilo, sin embargo, la riqueza de ambos tipos de vegetación puede llegar a ser muy diferente.

En general, desde una perspectiva ecológica, existe el riesgo de que se presente un sesgo hacia los valores de las condiciones ecológicas (tipo de vegetación, clima y altitud particulares) de aquellas localidades bien inventariadas, a diferencia de otras poco inventariadas con otras condiciones ecológicas, minimizando la influencia de áreas poco o no a lo largo de la Península. Esto produce una disminución en la representación general de la avifauna de cada segmento y a la vez puede oscurecer los patrones ecológicos reales. Lo mismo puede suceder cuando se analiza la riqueza por el tamaño del área por segmento. Por lo tanto, geográficamente la escala de estudio utilizada en estos análisis puede ser una de las razones por la cual la combinación de las variables

ambientales no expliquen la riqueza de manera satisfactoria, aunque además existan otras variables ambientales no analizadas que puedan estar afectando la distribución ecológica de la riqueza.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemicity and distributional modelling approach

Octavio R. Rojas-Soto<sup>1</sup>\*, Othón Alcántara-Ayala<sup>2</sup> and Adolfo G. Navarro<sup>1</sup> *Museo de Zoología and <sup>2</sup>Herbario, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico*

### Abstract

**Aim** To analyse the distributional patterns of the Baja California Peninsula's resident avifauna, and to generate a regionalization based on a method that uses a parsimony analysis (parsimony analysis of endemicity, PAE) of point data and modelled potential distributions.

**Location** The Baja California Peninsula, Mexico.

**Methods** A data base was constructed containing records of 113 species of resident terrestrial birds present in the Baja California Peninsula. Records and localities were obtained from the literature and from specimens housed in scientific collections worldwide. Raw data points and potential distribution maps obtained using the software Genetic Algorithms for Rule-set Prediction (GARP), were analysed with PAE.

**Results** The data base consisted of 4164 unique records (only one combination of species/locality) belonging to 113 terrestrial resident bird species, in a total of 809 localities. From the point distribution matrix, the analysis generated 500 equally parsimonious trees, from which a strict consensus cladogram with 967 steps was obtained. The cladogram shows a basal polytomy and some geographical correspondence of a few resolved groups obtained in the analysis. These results do not allow the recognition of areas defined by avifaunistic associations. From the potential distribution matrix, the analysis generated 501 equally parsimonious trees, and a strict consensus cladogram of 516 steps was obtained. The cladogram shows a higher resolution because of the number of resolved groups with better geographical correspondence and therefore regions are well-defined.

**Main conclusions** The correspondence of some groupings of species suggest their validity as areas with biogeographical (historical and/or ecological) meaning. This regionalization in the Baja California avifauna seems to be consistent with previous regionalizations for other groups. Hence, PAE is a useful tool for area categorization if reliable point records and prediction tools are available. Our results suggest that the geographical definition is much better using potential data generated by GARP, particularly when they are contrasted with the results from point data. Thus, this is an excellent alternative for developing biogeographical studies, as well as for improving the use of data from scientific collections and other sources of biodiversity information.

### Keywords

Avifauna, Baja California Peninsula, parsimony analysis of endemicity, GARP, potential distribution, regionalization.

\*Correspondence: Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-399, México DF 04510, Mexico. E-mail: orrs@minervaux2.ciencias.unam.mx

## INTRODUCTION

A first step in the study of biodiversity is the recognition of species' spatial distribution patterns (Toledo, 1994). These patterns reflect evolutionary history and biodiversity, as well as the processes that have influenced them. Although theoretical and methodological approaches have been applied to various taxonomic groups (Ramamoorthy *et al.*, 1993; Toledo, 1994), birds have received much attention. However, attempts to synthesize and understand the diversity patterns of the birds of Mexico in terms of faunistic/biogeographical regionalizations have been scarce (Griscom, 1950; Escalante *et al.*, 1993). In spite of the fact that traditional biogeographical schemes proposed for Mexico are based on different taxa and criteria such as morphotectonic, paleontologic, faunistic or floristic (Wiggins, 1980; Casas-Andreu & Reyna-Trujillo, 1990; Ramirez-Pulido & Castro-Campillo, 1990; Rzedowski, 1990; Grismer, 1994; Álvarez-Castaneda *et al.*, 1995; Morrone *et al.*, 2002), the authors implicitly assume that the recognized units under this criteria represent historical entities. The development of new approaches and biogeographical methods has questioned these traditional classifications, by showing that some of these units are not natural (Luna *et al.*, 1999). Even more, there have been recent attempts to build ecogeographic systems based on the assumption that biotic and abiotic factors constrain the distributions of the species within defined areas (Morrone *et al.*, 2002).

The distribution patterns of species allow the recognition of particular areas with common distributional characteristics to which they are associated: provinces and districts. However, at a regional level, papers that describe the distribution patterns of the avifauna in a more detailed scale are scarce. Only a few states have a minute avifaunal inventory with precise distributional data, and well-described patterns in terms of natural regions and/or different types of vegetation, as those of Paynter (1955) for Yucatan Peninsula, Van Rossem (1945) for Sonora, Schaldach (1963) for Colima, Binford (1989) for Oaxaca, Navarro (1998) for Guerrero, and Navarro *et al.* (1993) for Querétaro. There are not yet deep scientific studies that demonstrate, from a modern methodological perspective, the distributional patterns of the avifauna in the Baja California Peninsula, although a few papers have gathered information and described some avifaunal associations (e.g. Nelson, 1921; Grinnell, 1928; Wilbur, 1987; Howell, 2001).

From a biogeographical point of view, Baja California is an interesting area, because it is the second largest and isolated peninsula in the world, having a unique and complex tectonic origin that involved large ecological transformations. This dynamic environmental history has had a profound effect on the evolution, distribution, and genetic structure of the terrestrial vertebrates of Baja California (Grismer, 2000). The Baja California Peninsula is very narrow (c. 1600 km long) and has a series of mountain chains that run through it which intercalate with valleys and plateaus. Vegetation is mainly arid, although there are other variants throughout the Peninsula even of very local distri-

bution such as the coniferous and tropical deciduous forests (Wiggins, 1980). Climate is mainly warm and dry, although in the northern part a Mediterranean type of climate, which varies from wet to semi-dry and from cold to semi-cold, is present. In the rest of the Peninsula the climate shows regional variants, being less arid in the southernmost section (Rzedowski, 1978; Wiggins, 1980).

Some authors have provided hypotheses for the origin and the distributional patterns of the Peninsula avifauna. Nelson (1921) divided the Peninsula in several faunal districts: San Diegan, San Pedro Mártir, Colorado Desert, Vizcaino, and Cape Districts. Grinnell (1928) divided the peninsula in a great number of differentiation centres and concluded that from all of them, the Cape district was the most notably different. Davis (1959) proposed that within the lists of endemic birds supplied by Grinnell (1928) there existed three groups of species: those of continental affinities, those of Pacific coast affinities, and the strongly differentiated forms of the Cape district. However, Stager (1960) suggested that the Cape region constitutes a relatively weak differentiation centre. Grinnell (1928) and Davis (1959) agreed that the origin of these Cape groups could be traced through a land route from the north to the base of the Peninsula. Wilbur (1987) and Howell (2001) suggested that there are species associations that are concordant with the faunistic districts suggested by Nelson (1921). Most of these regionalization schemes fall within a traditional/eclectic biogeographical approach, and new methodologies need to be applied to improve the scientific value of these results.

Recently, methods using parsimony algorithms have been proposed as a biogeographical tool for detecting similarities among areas and to establish relationships among biogeographical units based on taxa inhabiting the areas (Morrone & Escalante, 2002). The Parsimony Analysis of Endemism (PAE) (Rosen, 1988; Morrone, 1994) is an analytical method to define study units in biogeography (Posadas, 1996). It joins areas based on shared species and suggests common causes to explain groupings (Morrone, 1994; Luna *et al.*, 1999). PAE originally was used for finding areas of congruent distributional patterns, and authors began to use it increasingly to understand biotic similarities between areas (Morrone & Escalante, 2002). Many examples exist that show that PAE has been used to establish relationships among biogeographical units of diverse forms and sizes (Craw, 1989; Cracraft, 1991; Myers, 1991; Morrone, 1994; Fernandes *et al.*, 1995; Morrone & Lopretto, 1995; Da Silva & Oren, 1996; Posadas, 1996; Bellan & Bellan-Santini, 1997; Glasby & Álvarez, 1999; Luna *et al.*, 1999; Ron, 2000; Bisconti *et al.*, 2001; Morrone & Márquez, 2001; Trejo-Torres & Ackerman, 2001; Morrone & Escalante, 2002).

Traditionally, analyses of areas' relationships used individual specimens and localities. However, for most species, two few observations and specimens are available, and when they exist, they are generally slanted by the accessibility of the sites (Peterson *et al.*, 1998). An alternative to this problem (Noss, 1983; Pulliam & Dunning, 1997; Lloyd & Palmer, 1998; Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*,

1999; Cowley *et al.*, 2000), highlights the relationship between the environmental conditions and the known specimen localities for species. Thus, one can predict the distribution of a species, even to areas lacking specimens. However, considering the immense effort required to know the habitat requirements of each species, new algorithms and other informatic tools have been developed to generate potential distributions based on a species' set of individual records (with latitude-longitude data) related to the environmental variables in such localities (Carroll *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000), which are thought to be accurate.

The 'Genetic Algorithm for Rule-set Prediction' (GARP) is an algorithm based on artificial intelligence that combines groups of rules to build the most appropriate prediction for a given region (Stockwell & Noble, 1992; Stockwell, 1999). GARP uses known points of species' occurrence and electronic maps of relevant ecological dimensions, to produce a model of the species' geographic distribution (Peterson *et al.*, 2002). It has been used to predict the distribution of species from scientific collections where abundance and/or absence is not specified (Peterson & Cohoon, 1999). Details and information related to the algorithm are available in the World Wide Web (<http://biodi.sdsc.edu/>). The GARP model has been used in previous analyses having proved its usefulness in a wide range of topics, such as habitat selection for migrant species (Joseph & Stockwell, 2000; Nakazawa *et al.*, in prep.), the study of speciation and ecological niches (Peterson *et al.*, 1999, 2002), the conservation of threatened species (Colchero, 2001; Liebig *et al.*, 2001), among others.

Constructing accurate maps of species' distributions, filling gaps of incomplete surveying and knowledge, may improve analysis and explanation in historical biogeography, because the complete distributions are the appropriate data for generating area relationship hypotheses. The main goal of this study is to generate a biogeographical regionalization of Baja California Peninsula's resident avifauna using PAE, using potential distributions generated by GARP and comparing it with the results of the same analysis applied to point data species records.

## METHODS

### Data gathering

A data base was constructed containing records of 113 species of resident terrestrial birds present in the Baja California Peninsula (Table 1). Because of the probability of differences in patterns of distribution influenced by other factors as seasonality and chance dispersal, migrants, water-birds, accidentals, and transients were excluded from the analyses. The species' level taxonomy used was proposed by Navarro & Peterson (in prep.) and it is based on the phylogenetic species concept. The records and the localities were obtained from the literature (Wilbur, 1987; Rodríguez-Yáñez *et al.*, 1994) and specimens housed in the thirty-seven scientific collections world-wide cited in the Atlas of the

Birds of Mexico data base (Navarro *et al.*, 2002, in prep.). All localities were georeferenced from maps 1 : 250,000 (INEGI, 1988; Fig. 1). The potential distribution maps (Fig. 2) were obtained through the use of GARP (<http://biodi.sdsc.edu/>), using the point data (latitude-longitude) and digitalized data on mean annual precipitation, vegetation coverage, elevation, vegetation, and mean annual temperature; in a spatial pixels resolution of  $7 \times 7$  km, based on maps elaborated by the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) provided by Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; <http://www.conabio.gob.mx>). The obtained models were stored in ASCII 'raster' format and imported to Geographical Information System ArcView Ver. 3.2 (ESRI, 1999).

### Analysis

To perform PAE, the Baja California Peninsula was divided into a grid of ninety-one quadrants of half degree each (Fig. 1). Data matrices were built coding each cell with '1' if species was present and '0' if it was absent, a line coded with '0' was included to root the cladograms according to Morrone (1994). For the case of the point locality distribution, the matrix was built considering the presence of each species only in those quadrants where at least one record existed, covering a total of seventy-four quadrants. For the case of the potential distribution, the matrix was built considering the prediction of each species coincident in each quadrant, covering a total of ninety-one quadrants.

Because prediction of the geographical distribution produced in GARP resulted from estimation of the ecological niche of each species, the distribution is slightly overpredicted, as the model does not consider the factors that may have limited, historically and geographically, the occupation of such niches. These factors include natural barriers, colonization and local extinction of populations, local differentiation (endemism and speciation), among others (Peterson & Cohoon, 1999; Peterson *et al.*, 2002), thus obscuring true biogeographical patterns. To improve the predicted distribution of each species, this prediction was selected and edited based on the geographical limits of the terrestrial ecoregions (Fig. 2) proposed by CONABIO (Arriaga *et al.*, 1997; <http://www.conabio.gob.mx>). This criterion was used because ecoregions might determine the distributional limits of species (Bailey, 1998). Therefore, only prediction areas contained in ecoregions in which there was at least one record of the species were used. It has also been suggested that the Vizcaino desert has been a major barrier (Zink *et al.*, 1997, 2001; Riddle *et al.*, 2000). Thus, this information was used to generate final predictions.

PAE was performed with the heuristic search option in NONA (Goloboff, 1994), through Winclada (Nixon, 1999). A strict consensus cladogram was obtained from the resulting most parsimonious trees. This analysis was applied to both data sets (cells with point data and cells with predicted distributions).

Table 1 List of the 113 terrestrial resident species used in the analyses

*Cathartes aura*  
*Pandion haliaetus*  
*Elanus leucurus*  
*Haliaeetus leucocephalus*  
*Circus cyaneus*  
*Accipiter cooperii*  
*Parabuteo unicinctus*  
*Buteo elegans*  
*Buteo swainsoni*  
*Buteo jamaicensis*  
*Aquila chrysaetos*  
*Caracara cheriway*  
*Falco sparverius*  
*Falco mexicanus*  
*Falco peregrinus*  
*Callipepla gambelii*  
*Callipepla californica*  
*Oreortyx pictus*  
*Columba vitiensis*  
*Zenaidura macroura*  
*Zenaidura macroura*  
*Columbina passerina*  
*Geococcyx californianus*  
*Crotophaga sulcirostris*  
*Tyto alba*  
*Otus kennicottii*  
*Bubo virginianus*  
*Glaucidium hoskinsii*  
*Microthene whitneyi*  
*Athene cunicularia*  
*Asio otus*  
*Chordeiles acutipennis*  
*Phalaenoptilus nuttallii*  
*Aeronautes saxatalis*  
*Hylocharis xantusii*  
*Calypte anna*  
*Calypte costae*  
*Melanerpes bairdi*  
*Melanerpes angustifrons*  
*Melanerpes uropygialis*  
*Picoides scalaris*  
*Picoides nuttalli*  
*Picoides villosus*  
*Colaptes cafer*  
*Colaptes chrysoides*  
*Empidonax difficilis*  
*Sayornis nigricans*  
*Sayornis saya*  
*Pyrocephalus rubinus*  
*Myiarchus cinerascens*  
*Tyrannus vociferans*  
*Lanius ludovicianus*  
*Vireo buttoni*  
*Amphispiza californica*  
*Gymnorhinus cyanocephalus*  
*Nucifraga columbiana*  
*Corvus brachyrhynchos*  
*Corvus corax*  
*Eremophila alpestris*  
*Tachycineta thalassina*

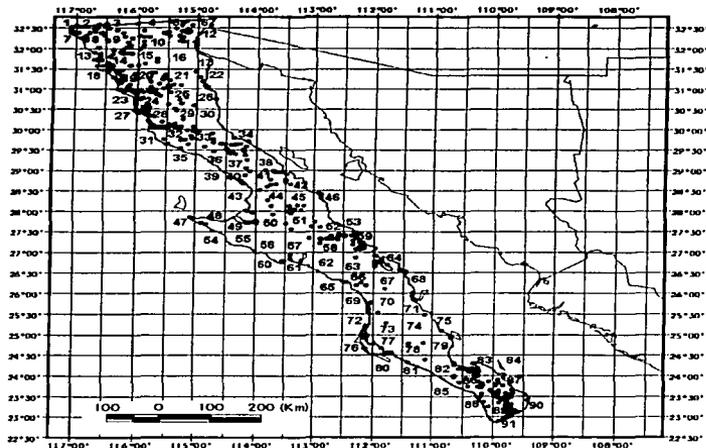
Table 1 continued

*Poecile gambeli*  
*Baeolophus inornatus*  
*Auriparus flaviceps*  
*Psaltriparus minimus*  
*Sitta carolinensis*  
*Sitta pygmaea*  
*Campylorhynchus affinis*  
*Campylorhynchus brunneicapillus*  
*Salpinctes obsoletus*  
*Catherpes mexicanus*  
*Thryomanes bewickii*  
*Troglodytes aedon*  
*Cistothorus palustris*  
*Poliopitila caerulea*  
*Poliopitila californica*  
*Poliopitila melanura*  
*Sialia mexicana*  
*Myadestes tozensis*  
*Turdus confinis*  
*Chamaea fasciata*  
*Mimus polyglottos*  
*Toxostoma cinereum*  
*Toxostoma redivivum*  
*Toxostoma crissale*  
*Toxostoma lecontei*  
*Toxostoma arenicola*  
*Phainopepla nitens*  
*Dendroica erithacborides*  
*Geothlypis trichas*  
*Geothlypis beldingi*  
*Pipilo maculatus*  
*Pipilo crissalis*  
*Pipilo albicollis*  
*Pipilo aberti*  
*Aimophila ruficeps*  
*Amphispiza bilineata*  
*Amphispiza belli*  
*Passerculus rostratus*  
*Passerculus beldingi*  
*Melospiza rivularis*  
*Junco bairdi*  
*Cardinalis cardinalis*  
*Cardinalis sinuatus*  
*Passerina versicolor*  
*Agelaius phoeniceus*  
*Agelaius tricolor*  
*Molothrus ater*  
*Icterus nelsoni*  
*Carpodacus frontalis*  
*Loxia stricklandi*  
*Carduelis pinus*  
*Carduelis hesperophilus*  
*Carduelis lawrencei*

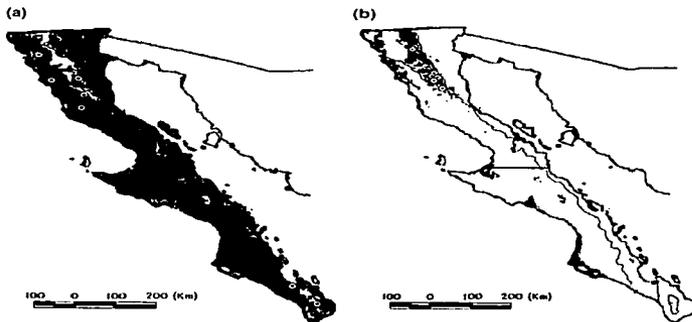
## RESULTS

The data base consisted of slightly more than 20,000 individual records, that were transformed into 4164 unique records (only one combination of species/locality) belonging

**Figure 1** Division of the Baja California Peninsula in a grid of ninety-one quadrants of half degree each, used to build the presence/absence matrices for species in the area. Black dots indicate a unique georeferenced locality from the data base.



**Figure 2** Potential distribution of (a) White-throated Swift (*Aeronautes saxatalis*) and (b) Pinyon Jay (*Gymnorhinus cyanocephalus*) as examples of the distribution modelling with GARIP depicting individual point data (dotted circles) and prediction (grey area). Thin lines depict terrestrial ecoregions of CONABIO (Arriaga *et al.*, 1997).



to 113 terrestrial resident species, a total of 809 localities (Fig. 1). Most of the species had between ten and 118 unique records and only fourteen species had less than ten records. The point data matrix had seventy-five rows and 114 columns and the corresponding potential range matrix had ninety-two rows and 114 columns.

From the point distribution matrix, the analysis generated 500 equally parsimonious trees, from which a strict con-

sensus cladogram was obtained with 967 steps, CI = 0.11, and RI = 0.45 (Fig. 3). The cladogram shows a basal polytomy, with some groups lacking definition because of the absence of synapomorphies. Figure 3 also shows the geographical correspondence of the seven groups obtained in the analysis.

From the potential range matrix, the analysis generated 501 equally parsimonious trees, and a strict consensus

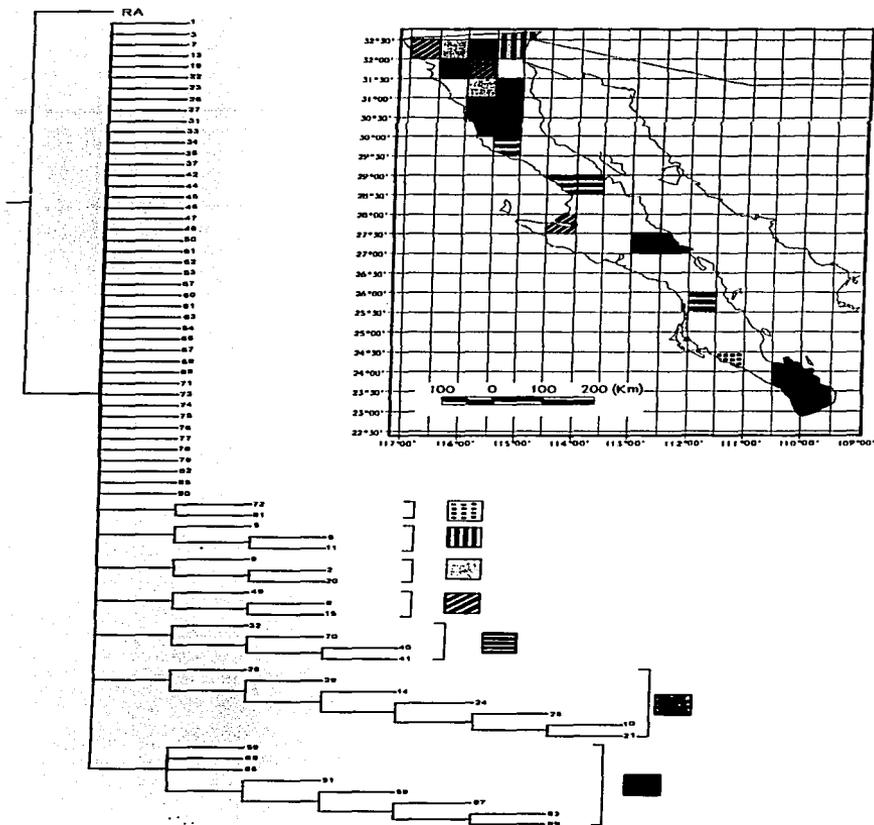


Figure 3 Cladogram and geographical correspondence of the groupings obtained from the point data analysis.

cladogram was obtained with 516 steps,  $CI = 0.21$  and  $RI = 0.76$  (Fig. 4). The cladogram shows a higher group. Figure 5 shows the geographical correspondence of the groups obtained in the two analyses. However, well-defined clades (Table 2) give strong support to a hypothesis of regionalization.

The pattern of relationships among the areas is better understood in a nested subgroups framework. The first group is formed by the Cape region, which appears as a well-defined clade (Fig. 4), mainly characterized by the presence of the isolated Sierra de la Laguna mountains, showing a complex mosaic of highland habitats and steep physiography.

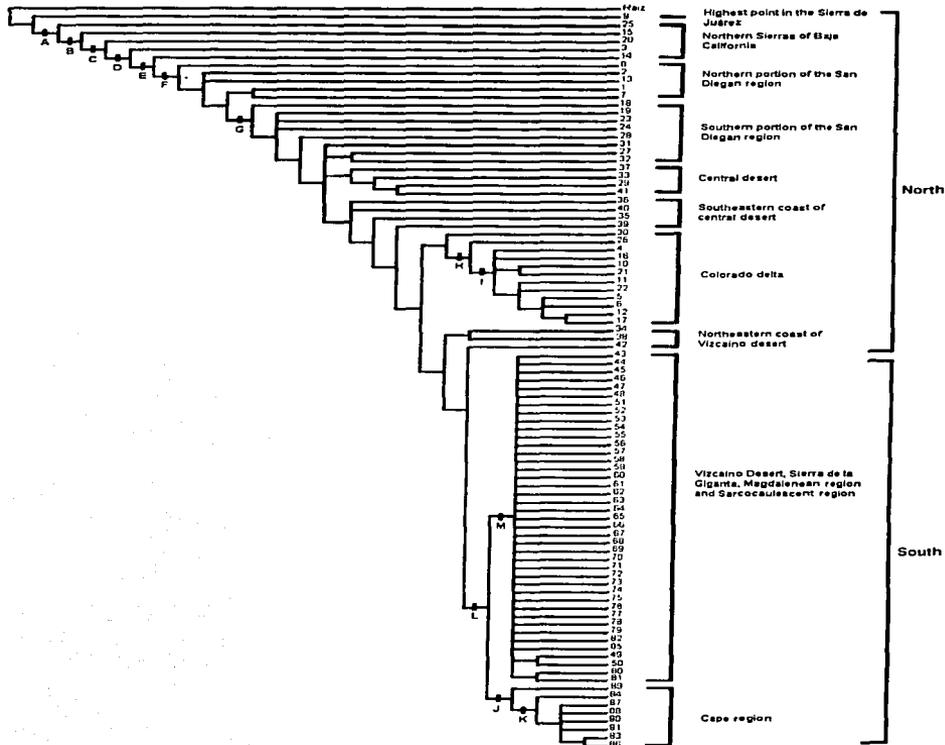
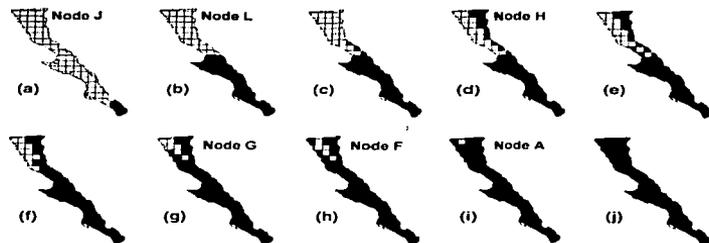


Figure 4 Cladogram and regionalization obtained from the potential distributional data. Terminal numbers correspond to quadrants and letters to modes.

These particular features in Cape Region have favoured the differentiation of many bird taxa such as *Columba [fasciata] vroscae*, and *Glaucidium [ignoma] hoskinsii* (Table 2, nodes J and K).

The second group is formed by the quadrants that correspond geographically to the rest of the southern half of the Peninsula (below 28°30' N). This group (Fig. 4, node M) is formed by a polytomy, which can be interpreted as an ecological gradient belonging probably to a single biota

(Rosen, 1988) and that corresponds physiographically to some of the botanical regions recognized by Nelson (1921) and Wiggins (1980): Vizcaino Desert, Sierra de la Giganta, the Magdalenaean, and Sarcocaulalescent, running north to south from the Vizcaino to the north of the Cape Region. The analysis determined that *Toxostoma arenicola*, a form restricted to the Vizcaino Desert (Zink *et al.*, 1997) defines this group (Table 2, node M). However, the unique combination of species such as *Micrathene whitneyi*, and



**Figure 5** Geographical correspondence of the groupings obtained in the cladogram of potential data (Fig. 4). The sequence follows the grouping order from terminal groups to the basal ones and letters indicate the supporting node depicted in Fig. 4. Geographical areas that are sequentially adhering correspond to the groups named in the cladogram.

**Table 2** Cladogram nodes from the potencial matrix data (Fig. 4), including their species (synapormorphies)

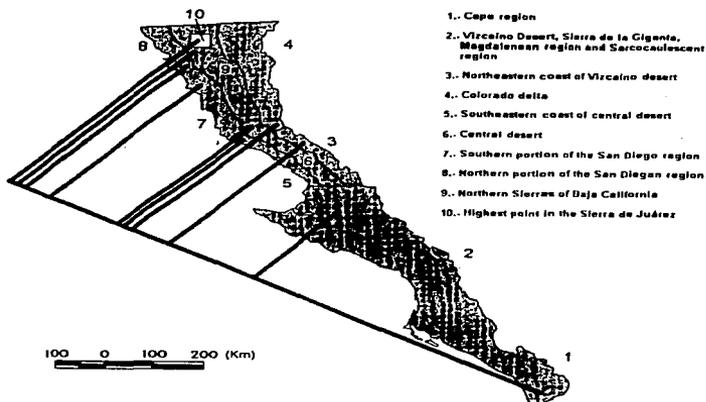
Node	Species
A	<i>Buteo jamaicensis</i> , <i>Asio otus</i> , <i>Empidonax difficilis</i> , <i>Lanius ludovicianus</i> , <i>Thachycineta thalassina</i> , <i>Mimus polyglottos</i> , <i>Amphispiza belli</i> , <i>Molothrus ater</i> , <i>Carpodacus frontalis</i>
B	<i>Otus kennicottii</i> , <i>Colaptes chrysoides</i> , <i>Pyrocephalus rubinus</i> , <i>Corvus brachyrhynchos</i> , <i>Campylorhynchus affinis</i> , <i>Salpinctes obsoletus</i> , <i>Cardinalis cardinalis</i>
C	<i>Picoides scalaris</i> , <i>Sayornis saya</i> , <i>Amphispiza bilineata</i>
D	<i>Geococcyx californianus</i> , <i>Athene cinicularia</i>
E	<i>Chordeiles acutipennis</i> , <i>Hylocharis xantusii</i> , <i>Geothlypis trichas</i> , <i>Agelaius phoeniceus</i> , <i>Agelaius tricolor</i>
F	<i>Caracara cheriway</i>
G	<i>Parabuteo unicinctus</i>
H	<i>Polioptila melanura</i>
I	<i>Pipilo aberti</i>
J	<i>Columba vivescae</i> , <i>Glaucidium hoskinsii</i> , <i>Turdus confinis</i> , <i>Junco bairdi</i>
K	<i>Crotophaga sulcirostris</i>
L	<i>Geothlypis beldingi</i> , <i>Pipilo albigula</i> , <i>Cardinalis sinuatus</i>
M	<i>Toxostoma arenicola</i>

*Hylocharis xantusii*, help to define this group, because they have a restricted distribution within the region. The two previous groups are nested within a major group in a third well-defined clade (Fig. 4, node L, Table 2), that embraces the entirety of the southern half of the Peninsula (Fig. 5).

An unresolved group formed by three quadrants, joins to the previous group (Fig. 4). These quadrants correspond to the Sierra de la Libertad and Sierra de la Asamblea, both located in the Northeast coast of the Vizcaino Desert (Fig. 5). These constitute a coastal mountain chain that clearly separates the Vizcaino Desert from the north-eastern lowlands coming from the Colorado Delta. There are no birds restricted to these mountains; however, the area correspond to the northern or southern distributional limits for some species (e.g. for the north: the breeding population of *Aquila chrysaetos*, *Falco mexicanus* and *Toxostoma lecontei*; for the south: *Pyrocephalus rubinus*, *Toxostoma cinereum* and resident populations of *Icterus parisorum*, among others).

The Colorado Delta is represented by a monophyletic group of quadrants, that is well-supported (Figs 4 & 5). This area has been also identified as a biogeographical unit in previous analyses with other vertebrates and plants and it is frequently compared with the Sonoran province (Nelson, 1921; Wiggins, 1980; Casas-Andrew & Reyna-Trujillo, 1990; Ramirez-Pulido & Castro-Campillo, 1990; Rzedowski, 1990; Grismer, 1994). Two species defined this group (Table 2, nodes H and I), although other species are restricted to this region including *Callipepla gambelii*, *Colaptes cafer* and *Toxostoma lecontei*.

A series of four quadrants corresponding geographically to the Southwest coasts of the Central Deserts, join to the group formed by the Colorado Delta plus the southern half of Baja California (Fig. 5). Although this small group has a clear geographical correspondence, it appears paraphyletic, compared with the rest of the cladogram and it is not defined by any species (Fig. 4). This area has not been identified for



**Figure 6** Regions proposed for the Baja California Peninsula's avifauna based on the potential distributions of species and their cladistic relationships.

other groups; however, it corresponds with one of the less studied areas in the Peninsula, mainly because of the absence of communication routes. Future studies in other groups could help to determine if this area has some biogeographical meaning.

A small group of quadrants that correspond geographically to the Central Desert of Baja California, that includes the Valle de los Cirios, appears as part of an intermediate polytomy inside the cladogram (Figs 4 & 5). The area is well-defined geographically and possesses a very homogeneous vegetation type with excellent ecosystem integrity (Arriaga *et al.*, 2000), suggesting that the area is also well-defined biogeographically, because it also has some endemic species for other groups, mainly in plants.

Following the nested pattern, two groups are formed consecutively, the first of them defined by node G (Fig. 4) constituted by all the preceding groups plus a group of quadrants that correspond to the southern part of the San Diegan District (*sensu* Nelson, 1921), from latitude 29°30' N to 30°30' N (Fig. 5). The second group is defined by the node F (Fig. 4), and is formed by the previous group plus the northern half of the San Diegan district (*sensu* Nelson, 1921), from the border line to the latitude 30°30' N (Fig. 5).

The San Diegan district has been recognized in previous regionalizations using birds (Nelson, 1921; Wilbur, 1987), as well as in other vertebrates and plants (Wiggins, 1980; Casas-Andreu & Reyna-Trujillo, 1990; Ramirez-Pulido & Castro-Campillo, 1990; Rzedowski, 1990; Grismer, 1994). This supports the idea that this region is a real historical entity belonging to the Californian province. However, the results of this analysis divide the San Diegan district into two

portions (north and south); future detailed analyses in other groups could be decisive to verify this division.

Finally, there exists a series of five well-supported groups including nodes E to A (Fig. 4), from which the last one is the best-defined (Table 2). Each group was formed through the serial inclusion of the quadrants that correspond geographically to Sierra de Juárez and Sierra de San Pedro Mártir, that synthesize all Baja California Peninsula as a unique avifaunistic entity very well-supported (Fig. 5, Table 2). Quadrant 7, which corresponds to the highest point in the Sierra de Juárez, is apparently an exception, because it is the less related area to the rest of the Peninsula based on recorded and predicted species (44).

## DISCUSSION

The use of point distribution data has been basic for delimiting species' ranges in biogeography. In some instances this produces limited results, as is shown in the unsolved cladogram obtained from point data (Fig. 3). For example, geographically, only one group corresponds to some extent with the Cape Region, but it also joins with distant quadrants located in Sierra de la Giganta and the Vizcaino Desert (Fig. 3). This group makes little biogeographical sense. Recently, Howell (2001) described avifaunal associations based on the five terrestrial regions proposed by Nelson (1921) using sight records (some by himself and others from literature). Although this synthesis is interesting, it does not propose a new regionalization based on the bird distribution, only adjusts the associations to previously established regions, which might cause the loss of inherent information to the avifaunistic distribution.

Because of the relative scarcity of point data, use of modelled distributions resulting from a predictive algorithm, have the advantage of covering the gaps in distributional information (Peterson *et al.*, 1998, 2002; Peterson & Cohoon, 1999). The results obtained from the potential data show a cladogram with better resolution of the relationships among groups (Fig. 4).

The nested biogeographical pattern at different scales, where areas of high endemism (as the Cape Region, South Baja California or the Colorado Delta) are contained in larger endemism areas (the Peninsula as a whole), might be interpreted as 'successively nested endemism', suggesting that geographical classification systems should be hierarchical (Espinosa *et al.*, 2001). The absence of clear biogeographical definition of some areas may well be due to several factors, such as the existence of low differentiation (low endemism), or the presence of geographical homoplasies caused by local population extinction or dispersion. However, the existence of related areas either by presence of synapomorphies (shared endemic taxa) or by the distributional coincidences among species (areas of endemism), suggest the existence of avifaunistic assemblages that in a broad scale correspond with biotic districts (Cabrera & Willink, 1973). Distributional coincidence might be explained by the environmental preferences of taxa, in such a way that sister areas can represent similar ecological conditions separated by environmental changes in the past. The north-south nesting pattern of groups obtained for Baja California from the potential data, particularly in the basal groups, show that the whole Peninsula corresponds to a single avifaunistic entity, containing the Cape.

Some authors have suggested that the Cape region has a poor biogeographical relationship with the rest of the Peninsula, being commonly accepted that it is an independent biogeographic province (Casas-Andreu & Reyna-Trujillo 1990; Ferrusquia-Villafranca, 1990; Ramirez-Pulido & Castro-Campillo, 1990; Rzedowski, 1990), more closely related with the continental provinces (Rzedowski, 1978; Ferrusquia-Villafranca, 1990; Ramirez-Pulido & Castro-Campillo, 1990). However, our results suggest that the Cape Region has a closer avifaunistic relationship with the Peninsula, more precisely with Baja California and California Provinces, as shown recently by Morrone *et al.* (1999) using three different taxa (plants, insects and birds), and by Cicero & Johnson (1992) and Cicero (1996), using the genetic structure of *Vireo huttoni* and *Paris inornatus* complexes. This support the ideas of Grinnell (1928) and Davis (1959), about the origins of the Cape avifauna through a terrestrial route from the north to the base of the Peninsula. According to Padilla *et al.* (1988), the Cape region detachment from the mainland occurred during the middle Miocene (14 Myr). Therefore, separation was well before the main radiation of the passerine species in North America (5 Myr; Klicka & Zink, 1997). This might explain the poor avifaunistic relationship between the Cape region and the continent. The results in our study also suggest that the Cape region might not be considered indeed an independent biogeographical province from the Baja California province, as

suggested by Morrone *et al.* (2002). Further analyses that are being performed (Rojas *et al.*, in prep.) may enlighten the biogeographical situation of the Cape's avifauna.

Regionalization implies the division of a territory in smaller areas with common features (Arriaga *et al.*, 2000). Thus, the correspondence between defined geographical areas and some groupings obtained in our analyses, suggest their validity as areas with biogeographical meaning. This regionalization in avifaunistic districts of the Baja California Peninsula seems to be consistent with previous regionalizations for other groups, so it is suggested that the use of PAE is a useful tool for area categorization if reliable point records and prediction tools are available. Also, the use of an alternative taxonomy based on the phylogenetic-evolutionary concept (see McKittrick & Zink, 1988; Peterson & Navarro, 1999) favoured the recognition of some of the regions.

Finally, although the potential distributional areas generated by GARP might be influenced by some factors, such as the detail of the cartography, and the number of point data available (Peterson & Cohoon, 1999), the results suggest that the geographical definition is much better using potential data generated by GARP. The bias of detecting avifaunal regions totally coincident with existing ecoregions by editing raw predictions remains as a possibility. However, this effect is not significant as shown by the lack of correspondence between most of the avifaunal regions found with the ecoregions. Thus, this is an excellent alternative for developing biogeographical studies, as well as for improving the use of data from scientific collections and other sources of biodiversity information.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank Yoshinori Nakazawa, Andrés Lira, and Giuseppe Pasquetti for help in the realization of the predictions with GARP. Juan José Morrone, Robert M. Zink, A. Townsend Peterson, Tania Escalante, and two anonymous reviewers provided important comments on the manuscript. Alfonso López helped in the realization of the figures. We also thank the curators of the scientific collections of the following institutions for access to their data: American Museum Natural of History, Academy Natural of Sciences of Philadelphia, Bell Museum (University of Minnesota), Natural History Museum (British Museum), Carnegie Museum Natural of History, California Academy of Sciences, Canadian Museum of Nature, Denver Museum Natural of History, Delaware Museum Natural of History, Florida Museum Natural of History, Fort Hays State College, Field Museum, Iowa State University, University of Kansas, Los Angeles County Museum, Leiden Natuurhistorische Museum, Louisiana State University Museum of Zoology, Museum of Comparative Zoology (Harvard University), Moore Laboratory of Zoology, University of Michigan, Museum of Natural History of Paris, Museum of Natural Sciences of Madrid, Museum of Vertebrate Zoology (Berkeley University), University of Nebraska, Royal Ontario Museum, San Diego Natural History

Museum, Southwestern College, Texas A&M University, University of Arizona, University of British Columbia, University of California Los Angeles, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, University of Oklahoma, Western Foundation of Vertebrate Zoology, United States National Museum, and Peabody Museum (Yale University). Financial support for the construction of the data base of the Atlas was obtained from CONABIO (A002, E018), CONACYT (R27961), DGAPA-UNAM (IN 218598 and 214200), British Council Mexico, National Science Foundation, and the Commission for Environmental Cooperation for North America. The Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, DGAPA-UNAM and DGEF-UNAM provided a Doctoral scholarship to ORRS for the development of this project.

## REFERENCES

- Álvarez-Castañeda, S.T., Salinas-Zavala, C.A. & De Lachica, F. (1995) Análisis biogeográfico de noreste de México con énfasis en la variación climática y mastozoológica. *Acta Zoológica Mexicana*, 66, 59–86.
- Arriaga, L., Aguilar, C., Espinosa, D. & Jiménez, R. (coords.) (1997) *Regionalización ecológica y biogeográfica de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Arriaga, L., Espinosa, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, E. (coords.) (2000) *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Bailey, R.C. (1998) *Ecoregions: the ecosystem geography of the oceans and continents*. Springer-Verlag, New York.
- Bellán, G. & Bellán-Santini, D. (1997) Utilizzazione delle analisi di parsimonia (eladistica) in sinecologia bentonica: esempi in una zona inquinata. *Società Italiana di Ecologia Atti*, 18, 247–250.
- Binford, L.C. (1989) A distributional survey of the birds of the Mexican State of Oaxaca. *Ornithological Monographs*, 43, 405.
- Biscconti, M., Landini, W., Bianucci, G., Cantalamessa, G., Carnevale, G., Ragaini, L. & Valleri, G. (2001) Biogeographic relationships of the Galapagos terrestrial biota: parsimony analyses of endemicity based on reptiles, land birds and Scalesia land plants. *Journal of Biogeography*, 28, 495–510.
- Cabrera, A.L. & Willink, A. (1973) *Biogeografía de América Latina*. Monografía de la OEA, Serie Biológica, núm. 13, Washington, DC.
- Carroll, C., Zielinski, W.J. & Noss, R.F. (1999) Using presence-absence data to build and test spatial habitat models for the fisher in the Klamath Region, U.S.A. *Conservation Biology*, 13, 1344–1359.
- Casas-Andreu, G. & Reyna-Trujillo, T. (1990) *Provincias Herpetofaunísticas*. Escala 1:4 000 000. Mapa IV. 8. 6. A. Atlas Nacional de México. Vol. 2. Instituto de Geografía, UNAM.
- Cicero, C.A. (1996) Sibling species of Titmice in the *Parus inornatus* complex (Aves:Paridae). *University of California Publications in Zoology*, 128, 1–217.
- Cicero, C.A. & Johnson, N.K. (1992) Genetic differentiation between populations of Hutton's Vireo (Aves: Vireonidae) in disjunct allopatry. *Southwestern Naturalist*, 37, 344–348.
- Colchero, F.C. (2001) Análisis de la distribución del Berrendo (*Antilocapra americana*) en México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Cowley, M.J.R., Wilson, R.J., León-Cortés, J.L., Gutiérrez, D.C., Bulman, R. & Thomas, C.D. (2000) Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology*, 37, 60–72.
- Cracraft, R. (1991) Patterns of diversification within continental biotas: hierarchical congruence among the areas of endemism of Australian vertebrates. *Australian Systematic Botany*, 4, 211–227.
- Craw, R. (1989) New Zealand biogeography: a panbiogeographic approach. *New Zealand Journal of Zoology*, 16, 527–547.
- Davis, J. (1959) The Sierra Madrean element of the avifauna of the Cape District, Baja California. *Condor*, 61, 75–84.
- Da Silva, J.M.C. & Oren, D.C. (1996) Application of parsimony analysis of endemicity in Amazonian biogeography: an example with primates. *Biology Journal of the Linnean Society*, 39, 427–437.
- Escalante, P., Navarro, A.G. & Peterson, A.T. (1993) A geographic, ecological and historical analysis of the land bird diversity in Mexico. *The biological diversity of Mexico: origin and distribution* (eds T.P. Ramamoorthy, R. Bye, J. Fa and A. Lot), pp. 281–307. Oxford University Press, New York.
- Espinosa, D., Aguilar, C. & Escalante, T. (2001) Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones* (eds J. Llorente and J.J. Morrone), pp. 31–37. Fac. Ciencias, UNAM, México.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) (1999) *ArcView GIS*, V. 3.2. ESRI Inc., Redlands, California, USA.
- Ferrusquia-Villafranca, I. (1990) *Provincias biogeográficas con base en rasgos morfoestructurales*. Escala 1:4 000 000. Mapa IV.8.10. Atlas Nacional de México, Vol. 3. Instituto de Geografía, UNAM.
- Fernandes, M.E.B., Da Silva, J.M. & Silva, J. Jr (1995) The monkeys of the islands of the Amazon estuary, Brazil: a biogeographic analysis. *Mammalia*, 59, 213–221.
- Glasby, C.J. & Álvarez, B. (1999) Distribution patterns and biogeographic analysis of Austral Ploychaeta (Annelida). *Journal of Biogeography*, 26, 507–533.
- Grinnell, J. (1928) A distributional summation of the ornithology of Lower California. *University of California Publications in Zoology*, 32, 1–300.
- Griscom, L. (1950) Distribution and origin of the birds of Mexico. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 103, 341–382.
- Grismer, L.L. (1994) Ecogeography of the Peninsular Herpetofauna of Baja California, Mexico and Its Utility in Historical biogeography. *Herpetology of the North American Deserts* (eds P.R. Brown and J.W. Wright), p. 311. Proceedings of Symposium. Southwestern Herpetologist Society, Special Publication 5. Exelsior, MN, USA.

- Grismer, L.L. (2000) Evolutionary biogeography on Mexico's Baja California Peninsula: a synthesis of molecules and historical geology. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **97**, 14017–14018.
- Goloboff, P. (1994) *NONA: a tree searching program. Program and documentation*. Available at ftp.unt.edu.ar/pub/parsimony.
- Howell, S.N.G. (2001) Regional distribution of the breeding avifauna of the Baja California Peninsula. *Monographs in Field Ornithology* no. 3 (eds R.A. Erickson and S.N.G. Howell), pp. 10–22. American Birding Association, Colorado Springs, CO.
- INEGI (1988) *Carta de México, Topográfica 1:250 000*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Joseph, L. & Stockwell, D. (2000) Temperature-based models of the migration of Swainson's Flycatcher (*Myiarchus swainsoni*) across South America: a new use for museum specimens of migratory birds. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, **150**, 293–300.
- Klicka, J. & Zink, R.M. (1997) The importance of recent ice Ages in speciation: a failed paradigm. *Science*, **277**, 1666–1669.
- Liebig, I.F., Nakazawa, Y.J., Navarro-Sigüenza, A.G. & Sánchez-Cordero, V. (2001) *Fragmentación del hábitat de las especies de aves amenazadas de México: Un Método Cuantitativo-Predictivo*. Memorias del V Congreso sobre el estudio y conservación de las aves en México, Morelia Mich.
- Luna, I., Alcántara, O., Espinosa, D. & Morrone, J.J. (1999) Historical relationships of the Mexican cloud forests: a preliminary vicariance model applying Parsimony Analysis of Endemicity to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography*, **26**, 1299–1305.
- Lloyd, P. & Palmer, A.R. (1998) Abiotic factors as predictors of distribution in southern African Bulbuls. *AUK*, **115**, 404–411.
- Manel, S., Dias, J.M.S., Bbuckton, T. & Omerod, S.J. (1999) Alternative methods for predicting species distribution: an illustration with Himalayan river birds. *Journal of Applied Ecology*, **36**, 734–747.
- McKittrick, M.C. & Zink, R.M. (1988) Species concepts in ornithology. *Condor*, **90**, 1–14.
- Morrone, J.J. (1994) On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology*, **43**, 438–441.
- Morrone, J.J. & Lopretto, E.C. (1995) Parsimony analysis of endemism of Freshwater Decapoda (Crustacea: Malacostraca) from southern South America. *Neotropica*, **41**, 3–8.
- Morrone, J.J. & Márquez, J. (2001) Halffter's Mexican transition Zone, beetle generalized tracks, and geographical homology. *Journal of Biogeography*, **28**, 635–650.
- Morrone, J.J. & Escalante, T. (2002) Parsimony analysis of endemism (PAE) of Mexican terrestrial mammals at different area units: when size matters. *Journal of Biogeography*, **29**, 1095–1104.
- Morrone, J.J., Espinosa, D., Aguilar, C. & Llorente, J.E. (1999) Preliminary classification of the Mexican biogeographic provinces: a Parsimony Analysis of Endemicity based on plant, insect, and bird taxa. *The Southwestern Naturalist*, **44**, 507–514.
- Morrone, J.J., Espinosa, D. & Llorente, J. (2002) Mexican biogeographic provinces: preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), **85**, 83–108.
- Myers, A.A. (1991) How did Hawaii accumulate its biota? A test from the Amphipoda. *Global Ecology and Biogeography letters*, **1**, 24–29.
- Navarro, A.G. (1998) *Distribución geográfica y ecológica de la avifauna del Estado de Guerrero, México*. Unpublished PhD Dissertation, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarro, A.G., Hernández-Baños, B.E. & Benítez, H. (1993) Las Aves del Estado de Querétaro, México. *Listados Faunísticos de México, IBUNAM*, **4**, 1–75.
- Navarro, A.G., Peterson, A.T. & Gordillo-Martínez, A. (2002) A Mexican case study on a centralized database from world natural history museums. *CODATA Data Science Journal*, **1**, 45–53.
- Nelson, E.W. (1921) Lower California and its natural resources. *Memories of the National Academy of Sciences USA*, **16**, 1–194.
- Nixon, K.C. (1999) Winclada (BETA ver. 0.9.99.unam21). Published by the author, Ithaca, NY, USA.
- Noss, R.F. (1983) A regional landscape approach to maintain diversity. *BioScience*, **33**, 700–706.
- Padilla, G.A., Pedrin, S. & Diaz, E. (1988) Historia geológica y paleoecología. *La Sierra de la Laguna de Baja California Sur* (eds L. Arriaga and A. Ortega), pp. 27–36. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C., México.
- Paynter, R.A. Jr., (1955) The ornithogeography of the Yucatan Peninsula. *Peabody Museum of Natural History Bulletin*, **9**, 1–347.
- Peterson, A.T. & Cohoon, K.P. (1999) Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling*, **17**, 159–164.
- Peterson, A.T. & Navarro, A.G. (1999) Alternative species concepts as bases for determining priority conservation areas. *Conservation Biology*, **13**, 427–431.
- Peterson, A.T., Navarro-Sigüenza, A.G. & Benítez-Díaz, H. (1998) The need for continued scientific collecting; a geographic analysis of Mexican bird specimens. *IBIS*, **140**, 288–294.
- Peterson, A.T., Soberón, J. & Sánchez-Cordero, V. (1999) Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, **285**, 1265–1267.
- Peterson, A.T., Ball, L.G. & Cohoon, K.P. (2002) Predicting distribution of Mexican Birds using ecological niche modelling methods. *IBIS*, **144**, 27–32.
- Posadas, P. (1996) Distributional patterns of vascular plants in Tierra del Fuego: a study applying Parsimony Analysis of Endemicity (PAE). *Biogeographica*, **72**, 161–177.
- Pulliam, H.R. & Dunning, J.B. (1997) Demographic processes: population dynamics on heterogeneous landscapes. *Principles of conservation biology* (eds G.K. Nefle and C.R. Carroll), pp. 203–232. Chapter 7. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA.
- Ramamoorthy, T.P., Bye, R. & Lot, J.A. (1993) *Biological diversity of Mexico, origins and distribution*. Oxford University Press, Oxford.
- Ramírez-Pulido, J. & Castro-Campillo, A. (1990) *Provincias Mastofaunísticas*. Escala 1:4 000 000. Mapa IV. 8. A. Atlas Nacional de México. Vol. 2. Instituto de Geografía. UNAM.

- Riddle, B., Hafner, J.L.D., Alexander, F. & Jaeger, J.R. (2000) Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California Peninsular Desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 14438–14443.
- Rodríguez-Yáñez, C., Villalón, R.M. & Navarro, A.G. (1994) *Bibliografía de las aves de México (1825–1992)*. Publicaciones Especiales del Museo de Zoología, Núm. 8. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- Ron, S.R. (2000) Biogeographic area relationships of lowland neotropical rainforest based on raw distributions of vertebrate groups. *Biology Journal of the Linnean Society*, 71, 379–402.
- Rosen, B.R. (1988) From fossils to earth history: applied historical biogeography. *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distribution* (eds A. Myers and P. Guiller), pp. 437–481. Chapman & Hall, London.
- Rzedowski, J. (1978) *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA, México D.F.
- Rzedowski, J. (1990) *Provincias Florísticas*. Escala 1:4 000 000. Mapa IV. 8. 3. A. Atlas Nacional de México. Vol. 2. Instituto de Geografía. UNAM.
- Schaldach, W.J. (1963) Birds of Colima and Adjacent Jalisco, México. *Proceedings of the Western Foundation of Vertebrate Zoology*, 1, 1–100.
- Stager, K.E. (1960) The composition and origin of the avifauna (Baja California Symposium). *Systematic Zoology*, 9, 179–183.
- Stockwell, D.R. (1999) Genetic Algorithms II. *Machine Learning Methods for Ecological Applications* (ed. A.H. Fielding), pp. 123–144. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- Stockwell, D.R. & Noble, I.R. (1992) Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Simulation*, 32, 249–254.
- Toledo, V.M. (1994) La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventa. *Ciencias*, 34, 43–58.
- Trejo-Torres & Ackerman, J.D. (2001) Biogeography of the Antilles based on a parsimony analysis of orchid distributions. *Journal of Biogeography*, 28, 775–794.
- Van Rossem, A.J. (1945) A distributional survey of the birds of Sonora, Mexico. Occasional Papers of the Museum of Zoology. *Louisiana State University*, 21, 1–379.
- Wilbur, S.R. (1987) *Birds of Baja California*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA.
- Wiggins, I.L. (1980) *Flora of Baja California*, 1025 p. Stanford University Press, Stanford, CA.
- Zink, R., Blackwell, R. & Rojas-Soto, O. (1997) Species Limits in the Lecon's Thrasher (*Toxostoma lecontei*). *Condor*, 99, 132–138.
- Zink, R., Kessen, A.E., Line, T.V. & Blackwell-Rago, R.C. (2001) Comparative Phylogeography of some aridland bird species. *Condor*, 103, 1–10.

## BIOSKETCHES

Octavio R. Rojas-Soto is a PhD candidate at the Museo de Zoología, Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. His research focuses on Mexican avian biogeography and systematics. His most recent research has been developed in the Baja California Peninsula, working with the distribution patterns of the avifauna.

Othón Alcántara-Ayala is a graduate student and professor at the Herbarium of the Facultad de Ciencias, UNAM. His research interest is the floristics and biogeography of montane forest of Central America.

Adolfo G. Navarro is curator of birds and full-time researcher at the Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM. His research focuses on systematics and biogeography of Mexican birds, as well as biodiversity studies and bio-informatics. He is coordinating the construction of the Atlas of the Mexican Birds.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES GENERALES

Escalante *et al.* (1993) analizaron la diversidad de aves en México con base en las provincias bióticas y ubicaron a Baja California como una de las regiones con menor diversidad y bajo endemismo. Sin embargo, las conclusiones de estos autores deben ser cuestionadas en la actualidad, ya que los resultados obtenidos en este trabajo parecen no coincidir con dichas afirmaciones. Por otro lado, el inventario de la Península parece estar aún incompleto, como lo demuestran los nuevos registros de especies tanto para la región, como para el país en años recientes (Castellanos y Llinas 1991, Salinas-Zavala *et al.* 1991, Palacios y Mellink 1992, 1993, Rodríguez-Estrella 1997, Wurster y Radamaker 1992, Radamaker y Ludden 1993, Patten 1993, Pyle y Howell 1993, Howell y Pyle 1993, Erickson *et al.* 1994, Unitt *et al.* 1995, Massey y Palacios 1994, Fernández *et al.* 1998, Carmona *et al.* 1999, Palacios y Mellink 2000, Palacios *et al.* 2000, Hamilton 2000, Puebla-Olivares *et al.* en prensa, entre otros). Aunado a lo anterior, la aplicación de conceptos alternativos de especie (Cracraft 1983, Zink 1997, Navarro y Peterson en prep.), permite hacer una revalorización de la riqueza y el endemismo peninsular, como ha ocurrido con otras regiones del país (Navarro y Peterson 1999), colocándola como una región con una alta riqueza, particularmente si se compara con otras entidades como Michoacán, Sinaloa o Tamaulipas, o bien con otras regiones como la Península de Yucatán. Además, debido a su aislamiento, ha favorecido la evolución de al menos 18 especies endémicas, incluyendo a las formas insulares, cuatro de ellas actualmente extintas; esto se traduce a que el 4.2% del la riqueza registrada ha evolucionado en la Península.

Los patrones latitudinales de la distribución de la riqueza observada, son sorprendentemente coincidentes con los altitudinales, destacando que las sierras son los principales centros de concentración de la riqueza en la península. En el caso del desierto del Vizcaíno, la presencia de un gran número de especies, puede deberse por un lado a la compleja historia de esta zona, considerada como punto de transición biogeográfica entre faunas (Zink *et al.* 1998, Riddle 2000), pero

por otro lado a la gran extensión geográfica, ya que es esta la porción más amplia de la península. Los transectos con menor riqueza, corresponden geográficamente a los desiertos centrales de Baja California y a la Sierra de la Giganta. Estas dos áreas corresponden a extensiones geográficas muy largas, pero estrechas, lo que puede limitar su riqueza, sin embargo, la poca riqueza puede ser también reflejo nuevamente de la carencia de listados completos en éstas zonas, ya que son de las menos conocidas avifaunísticamente.

Para el caso de los patrones de distribución del endemismo, se nota que las especies endémicas a México presentes en la península se concentran en la región del Cabo, particularmente en la Sierra de la Laguna, además del desierto del Vizcaíno y la Sierra de San Pedro Mártir. Los patrones de distribución del endemismo propio de la península, las especies se concentran nuevamente en la región del Cabo la Sierra de la Giganta y en el desierto del Vizcaíno, resaltando en general a Baja California Sur como la región más importante en la concentración de endemismos propios de la península. Esto pueden deberse al relativo aislamiento de esta región con relación al continente.

Para explicar los patrones de la distribución latitudinal de la riqueza de las aves de Baja California, se sugiere que el cambio a lo largo de la Península puede ser mejor explicado por una combinación de factores tanto ecológicos como históricos como lo propusieron Sieb (1980) y Lawlor (1983) para otros grupos, más que por procesos de equilibrio extinción-recolonización. Para el endemismo, el patrón de distribución corresponde con el modelo de equilibrio extinción-recolonización; sin embargo, la existencia de estos mismos patrones en regiones continentales tales como la vertiente del Pacífico, ponen en duda la explicación de la distribución del endemismo mediante un efecto peninsular. En conclusión, un efecto peninsular no es una propiedad de los patrones de distribución latitudinal de la riqueza de aves ni de otros grupos de vertebrados en Baja California; aunque como lo sugiere Lawlor (1983), las barreras ecológicas y topográficas para la dispersión de las especies pueden estar confundiendo nuestra habilidad para

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

identificar procesos de equilibrio. Este mismo autor concluyó que "en un sentido biogeográfico, Baja California representa una Península sólo para muy pocos grupos de vertebrados con hábitos peculiares", sin embargo, desde un punto de vista avifaunístico, se puede concluir que Baja California representa una Península sólo para las especies que han evolucionado en ella.

Los patrones del comportamiento estacional tanto para especies migratorias de invierno como para las de verano, permiten sugerir que el norte de la Península es preferentemente un sitio de reproducción y el centro y sur son sitios preferentemente de invernación, destacando además que es un corredor importante para diversas especies.

La composición estacional de la avifauna en su conjunto permite describir a la Península como "mixta", ya que la avifauna exclusivamente residente representa en promedio menos del 40% del total de la riqueza de la Península, a diferencia de las categorías estacionales migratorias (tanto de invierno como de verano) así como transitorias y accidentales, cuyos valores suman en conjunto más del 50% de la avifauna. Este hecho provoca que en ciertas temporadas anuales (particularmente durante el verano), el número de especies se reduzca a más de la mitad, por lo que la avifauna peninsular puede describirse como fluctuante temporalmente, a diferencia de otras regiones del país, en especial las tropicales, cuyo componente de residencia es mucho mayor. En general se puede concluir que la Península es una región compleja estacionalmente. Estudios futuros sobre la distribución ecológica y de preferencias de hábitat en la Península, como el llevado a cabo por Rodríguez-Estrella (1997) para Baja California Sur, permitirán entender y explicar con exactitud las causas de los patrones antes descritos, además de que contribuirán en la correcta determinación de la distribución geográfica y estacional de las especies.

La distribución potencial de las especies a partir de diversos elementos ecológicos que integran los nichos ecológicos de cada especie (Peterson *et al.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2002), es una excelente alternativa para una amplia gama de estudios dentro de la biología, particularmente dentro de la biogeografía, como lo demuestra la obtención de un cladograma mejor definido con relación a los grupos y por tanto de áreas o regiones dentro de la Península. Esto permitió a su vez proponer una regionalización avifaunística considerando las relaciones "ecológico-históricas" de las especies con relación a su distribución. Por otro lado, las relaciones entre las áreas con base en su avifauna compartida, describen claramente un patrón de anidamiento, convirtiendo a la Península en una sola unidad biogeográfica, que puede ser reconocida como un provincia independiente desde un punto de vista ornitológico, como lo sugerido por otros autores a partir de otros grupos (Morrone *et al.* 2002).

Por último, es necesario recordar que dada la escala utilizada para la realización de los diversos análisis en este estudio, el comportamiento observado de los patrones estudiados a un nivel local pueden no encontrar una respuesta satisfactoria, por lo que la descripción de la distribución de las especies, además debe ser estudiada a otras escalas (Rodríguez-Estrella 1997), incluso con otros grupos y mediante otros métodos, tales como los macroecológicos, los filogenéticos y los panbiogeográficos, entre otros, todo ello para llegar a conclusiones biogeográficas que permitan entender esta región del país. Sin embargo, a la escala general aplicada, se puede afirmar que se cubrió una parte importante en el entendimiento de la distribución de la avifauna bajacaliforniana.

## LITERATURA CITADA

- Axelrod, D. I. 1979. Age and origin of the Sonoran Desert vegetation. Occ. Pap. California Acad. Sci. 132:1-74.
- Bernabéu-Albert, S. 1991. Los científicos del desierto. Ciencia y técnica en Baja California durante la centuria ilustrada. Revista de Indias, LI 192:419-429.
- Bernabéu-Albert, S. 1994. Diario de las expediciones a las Californias de José Longinos. Ed. Doce Calles, España.
- Binford, L. C. 1989. A distributional survey of the birds of the Mexican state of Oaxaca. Ornithol. Monogr. 43(6):405.
- Brooke, M. y T. Birkhead. 1991. The cambridge encyclopedia of ornithology. Cambridge University Press.
- Brown, J. H. y A. C. Gibson. 1983. Biogeography. The C. V. Mosby Company, St. Louis Missouri.
- Burrus, E. J. 1967. Wenceslaus Linck's reports and letters 1762-1778. Dawson's Book Shop, Los Angeles. Pp. 25-29.
- Carmona, R. E. M. Zamora-Orozco y J. A. Castillo-Guerrero. 1999. Registros nuevos del zambullidor menor (*Tachybaptus dominucus*) y de diez especies de anátidos en las adyacencias de la bahía de la Paz, Baja California Sur, México. Anales. Ins. Biól. Ser. Zool.
- Castellanos, A y J. Llinas. 1991. Aves migratorias: patos y gansos. En Ortega, A. y L. Arriaga. La reserva de la biósfera El Vizcaino en la Península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A. C. La Paz, BCS. Pp. 231-246.
- Clavijero, F. X. 1970. Historia de la Antigua o Baja California. 1789. M. León-Portilla (ed.). Ed. Porrúa, México.
- Cody, M. L. 1983. The land birds. In T. J. Case y M. L. Cody. eds. Island Biogeography in the Sea of Cortés. University of California Press, Berkeley, California. 508 pp.
- Colwell, R. K. y D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. Trends in Ecology and Evolution 15:70-76.

- Connor, E. y E. MacCoy. 1979. The statistics and biology of the species-area relation. *Am. Nat.* 113:791-833.
- Coria, R. 1997. Climatología. En Arriaga, L. y R. Rodríguez-Estrella (eds.). *Los oasis de la Península de Baja California*. Centro de Investigaciones del Noroeste, S. C. P. La Paz, BCS. pp. 27-34.
- Cracraft, J. 1983. Species concepts and speciation analysis. En R. F. Johnston (ed.) *Current Ornithology*, Vol. 1 Plenum Press, New York. Pp 159-187.
- Craveri, F. 1990. *Giornale di Baggio. Avventura ed esplorazione naturalistica in America Centroseptentrionale: 1855-1859*. Museo Civico Craveri di Storia Naturale. Vol 1. Citta di Bra.
- Davis, J. 1959. The Sierra Madrean element of the avifauna of the Cape District, Baja California. *Condor*, 61:75-84.
- Del Barco, M. 1988. *Historia Natural y Crónica de la Antigua California*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Ercikson, R. A., A. D. Barron y T. E. Wurster. 1994. Northern Saw-Whet Owl in the Sierra San Pedro Mártir: first Baja California record. *Western Birds* 25:66-68.
- Escalante P., A. G. Navarro y A. T. Peterson. 1993. A geographic, ecological and historical analysis of land bird diversity in Mexico. En Ramamoorthy, T. P., R. Bye y J. A. Lot (eds.) *Biological diversity of Mexico, origins and distribution*. Oxford University, pp 281-307.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1999. *ArcView GIS*, V. 3.2. ESRI Inc. California, USA.
- Fernández, G. R. Carmona y H. De la Cueva. 1998. Abundance and seasonal variation of Western Sandpipers (*Calidris mauri*) in Baja California Sur, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 43:53-61.
- Friedmann, H., L. Griscom y R. T. Moore. 1950. Distributional check-list of the birds of Mexico. Part 1. *Pacific Coast Avif.* (29):1-202.
- García-Trejo, E. A. 2002. Análisis de los patrones del endemismo de aves en el oeste de México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Grinnell, J. 1928. A distributional summation of the ornithology of Lower California. *Univ. California Publ. Zool.*, 32:1-300.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

- Griscom, L. 1950. Distribution and origin of the birds of Mexico. Bull. Mus. Comp. Zool. 103:341-382.
- Grismer, L. L. 1994. Ecogeography of the peninsular herpetofauna of Baja California, Mexico and its utility in historical biogeography. En Brown, P. R. y J. W. Wright (eds.) Herpetology of the North American Deserts. Proceedings of Symposium. Southwestern Herpetology Society. Special Publication 5.
- Grismer, L. L. 2000. Evolutionary biogeography on Mexico's Baja California Peninsula: a synthesis of molecules and historical geology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Pp. 14017-14018.
- Hamilton, R. A., J. E. Pike, T. E. Wurster y K. Rademaker. 2000. First record of Olive-backed Pipit (*Anthus hodgsoni*) in Mexico. Western Birds 31:117-119.
- Hollander M. y D. A. Wolfe. 1973. Nonparametric statistical inference. New York: John Wiley & Sons. Pages 185–194 (Kendall and Spearman tests).
- Howell S. y P. Pyle. 1993. New and noteworthy bird records from Baja California, Mexico, October 1991. Western Birds 24:57-62.
- Howell, S. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Central America. Oxford University Press, N. Y.
- Howell, S. N. G. 2001. Regional distribution of the breeding avifauna of the Baja California Peninsula. Monographs in Field Ornithology No. 3 (ed. R.A. Erickson & N.S.G. Howell), pp. 10-22. Amer. Birding Assoc., Colorado Springs, Colorado.
- Hubbard, J. P. 1973. Avian evolution in the aridlands of North America. Living Bird 12:155-196. Laboratory of Ornithology at Cornell, Univ. NM.
- Hutto, R. L. 1995. Can patterns of vegetation change in western Mexico explain population trends in western neotropical migrants?. En M. H. Wilson y S. A. Sader. Conservation of neotropical migratory birds in Mexico. Maine Agricultural and Forest Experiment Station, Miscellaneous Publication 727. Pp 48-58.
- INEGI. 1988. Carta Topográfica de México, 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México D. F.
- INEGI. 2001. Baja California. Aspectos geográficos. <http://bc.inegi.gob.mx/>.
- Lawlor, T. E. 1983. The peninsular effect on mammalian species diversity in Baja California. Am. Nat. 121:432-439.
- León de la Cruz, J. L. y R. Coria. 1992. Flora iconográfica de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. La Paz, Baja California Sur. Pp. 1-156.

- León-Portilla, M. 1989. Cartografía y crónicas de la antigua California. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- MacArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press. Princeton, N. Y.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Massey, B. y E. Palacios. 1994. Avifauna of wetlands of Baja California, México: current status. *Studies in Avian Biology*. 15:45-57.
- McAleece, N. 1997. Biodiversity professional beta1. Versión 2. The Natural History Museum and The Scottish Association for Marine Science.
- McKittrick, M. C., y R. M. Zink. 1988. Species concepts in ornithology. *Condor* 90:1-14.
- Mearns, B. y R. Mearns. 1992. Audubon to Xantus. The lives of those commemorated in North American birds names. Academic Press. San Diego. California.
- Mearns, B. y R. Mearns. 1998. The bird collectors. Academic Press. San Diego. California.
- Miller, A. H., H. Friedmann, L. Griscom y R. T. Moore. 1957. Distributional checklist of the birds of Mexico. Part 2. *Pacific Coast Avif.* 33:1-436.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T- Manuales y Tesis SEA, vol. 1 Zaragoza, Pp. 84
- Morrone, J. J. 2001. Sistemática, biogeografía y evolución: los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Morrone, J. J. y A. Ruggiero. 2000. Cómo planificar un análisis biogeográfico. *Dugesiana* 7:1-8.
- Myers, A.A. & P.S. Giller. (eds.) 1994. Analytical biogeography; an integrated approach to the study of animal and plant distributions. Reprint. Capman & Hall. London. 578p.
- Navarro, A. G. 1992. Altitudinal distribution of the birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *The Condor* 94:29-39.

- Navarro, A. G., A. T. Peterson y A. Gordillo-Martínez. 2002. A Mexican case study on a centralized data base from world natural history museums. CODATA, Data Science Journal 1:45-53.
- Navarro, A. G., B. E. Hernández y H. Benítez. 1991. Avifauna del Estado de Querétaro. Anales del Instituto de Biología. Listados Faunísticos de México, Inst. Biól. Univ. Nac. Aut. Mex. 4:1-75.
- Navarro, A. G., H. A. Garza-Torres, S. López De Aquino, O. Rojas-Soto y L. A. Sánchez-González. En prensa. Patrones biogeográficos de la Avifauna de la Sierra Madre Oriental, México. CONABIO-UNAM.
- Navarro, A.G. y H. Benítez. 1994. El Dominio del aire. Colección la Ciencia desde México, No. 148. Fondo de Cultura Económica. Pp. 1-216.
- Nelson, E. W. 1921. Lower California and its natural resources. Memories of the National Academy of Sciences U.S.A., 16:1-194.
- Ortega, A. y L. Arriaga (eds). 1991. La reserva de la Biósfera del Vizcaíno en la Península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, México.
- Palacios, E. y E. Mellink. 1992. Breeding records from Montague Island, northern Gulf of California. Western Birds 23:41-44.
- Palacios, E. y E. Mellink. 1993. Additional records of breeding birds from Montague Island, northern Gulf of California. Western Birds 24:259-262.
- Palacios, E. y E. Mellink. 2000. Nesting waterbirds on Islands San Martín and Todos Santos, Baja California. Western Birds 31:184-189.
- Palacios, E., D. W. Anderson y E. Mellink. 2000. Distribution and abundance of Borrowing Owls (*Athene cunicularia*) on the peninsula and islands of Baja California. Western Birds 31:89-99.
- Patten M. 1993. The White-throated Sparrow in Baja California. Euphonia 2:42-44.
- Paynter, R. A. Jr. 1955. The ornithogeography of the Yucatán Peninsula. Peabody Museum of Natural History Bulletin, 9:1-347.
- Puebla-Olivares, F., O. Rojas-Soto y A. G. Navarro. En prensa. First record of Leach's Storm-petrel (*Oceanodroma leucorhoa*) in the Gulf of California, Mexico. Western Birds.
- Pyle, P. y S. Howell. 1993. An arctic warbler in Baja California, Mexico. Western Birds 24:53-56.

- Rademaker, K. y C. Ludden. 1993. A record of Bar-tailed Godwit for Mexico. *Euphonia* 2:58-65.
- Rapoport, E. H. 1975. *Aerografía, estrategias geográficas de las especies*. Fondo de Cultura Económica. Pp. 214.
- Rappole, J. H., E. S. Morton, T. E. Lovejoy y J. L. Ruos. 1983. Nearctic avian migrants in the neotropics. U. S. D. I. Fish and Wildlife Service, Washington, D. C.
- Riddle, B., D. J. Hafner, L. F. Alexander y J. R. Jaeger. 2000. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California peninsular desert biota. *Proc. Nat. Acad. Sciences* 97:14438-14443.
- Rodríguez-Estrella, R. 1991. El Águila Real (*Aquila chrysaetos*). En Ortega, A. y L. Arriaga (eds.). *La Reserva de la biósfera El Vizcaíno en la Península de Baja California*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. La Paz, BCS.
- Rodríguez-Estrella, R. 1997. Factores que condicionan la distribución y abundancia de las aves terrestres en el desierto xerófilo de Baja California Sur, México: el efecto de los cambios en el hábitat por actividad humana. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Rodríguez-Yáñez, C., R. M. Villalón y A. G. Navarro. 1994. Bibliografía de las aves de México (1825-1992). *Publ. Esp. Mus. Zool. Núm. 8*. UNAM, México.
- Rohde, K. 1997. The larger area of the tropics does not explain latitudinal gradients in species diversity. *OIKOS* 79:169-172.
- Rohde, K. 1998. Latitudinal gradients in species diversity. Area matters, but how much?. *OIKOS* 82:184-190.
- Rojas-Soto, O. O. Alcántara-Ayala y A. G. Navarro S. En prensa. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: A parsimony analysis of endemicity and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography*.
- Rosen, B. R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography. *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distribution* (ed. A. Myers & P. Guiller). Chapman and Hall, London. pp. 437-481.
- Rosenzweig, M. L. 1995. *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA. México D. F.

- Salinas-Zavala C. A., J. Llinas y R. Rodríguez-Estrella. 1991. Aspectos biológicos del águila pescadora (*Pandion haliaetus carolinensis*). En Ortega, A. y L. Arriaga (eds). La Reserva de la biósfera El Vizcaíno en la Península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. La Paz, BCS. Pp. 265-293.
- SAS Institute Incorporation. 1989-1996. JUMP Ver. 3.1.6.2. North Carolina, USA.
- Schaldach, W. J. 1963. Birds of Colima and adjacent Jalisco, México. Proc. Western Found, Vertebrate Zool, 1(1):1-100.
- Short, L. L. y R C. Banks. 1965. Notes on the avifauna of northwestern Baja California. San Diego Soc. Nat. Hist. 14:41-52.
- Short, L. L. y R. S. Crossin. 1967. Notes on the avifauna of northwestern Baja California. San Diego Soc. Nat. Hist. 20:281-300.
- Sieb, R. L. 1980. Baja California: a peninsula for rodents but not for reptiles. Am. Nat. 115:613-620.
- Simpson, G. G. 1964. Species density of North American recent mammals. Syst. Zool. 13:57-73.
- Stager, K. E. 1960. The composition and origin of the avifauna (Baja California Symposium). Systematic Zoology 9:179-183.
- StatSoft, Inc. 1997. Statistica for Windows (computer program manual). Tulsa, OK, USA.
- Stock, J. M. y K. V. Hodges. 1989. Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific Plate. Tectonics 8:99-115.
- Taylor, R. J. y P. J. Regal. 1978. The peninsular effect on species diversity and the biogeography of Baja California. Am. Nat. 112:583-593.
- Terborgh, J. 1971. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. Ecology 52:23-40.
- Terborgh, J. 1977. Bird species diversity on an andean elevational gradient. Ecology 58:1007-1019.
- Terborgh, J. W. 1980. The conservation status of neotropical migrants. En Migrant birds in the Neotropics: ecology, behavior, distribution and conservation, A. Keast y E. S. Morton (eds). Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. Pp. 21-30

- Terborgh, J., y G. C. Weske. 1975. The role of competition in the distribution of andean birds. *Ecology* 97:647-576
- Townsend, C. H. 1923. Birds collected in Lower California. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* 48:1-26.
- Unitt, P., A. M. Rea, E. Palacios, E. Melink, L. Alfaro y S. González. 1995. Noteworthy records of birds in northwestern Baja California, Mexico. *Western Birds* 26:144-154.
- Van Rossem, A. J. 1945. A distributional survey of the birds of Sonora, Mexico. *Occ. Pap. Mus. Zool. Louisiana St. Univ.* 21:1-379.
- Venegas, M. y M. Burriel. 1757. *Noticia de la California y su conquista temporal y espiritual hasta el presente*, 3 v. (reproducción de la edición de Madrid, 1757), México, Luis Álvarez y Álvarez de la Cadena. 1943.
- Welsh, H. H. 1988. An ecogeographic analysis of the herpetofauna of the Sierra San Pedro Mártir region, Baja California, with a contribution to the biogeography of the Baja California herpetofauna. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 46:1-72.
- Wiggins, I. L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford Univ. Press. Stanford, California.
- Wilbur, S. R. 1987. *Birds of Baja California*. University of California Press, Berkeley y Los Angeles, California.
- Wurster, T. E. y K. Radamaker. 1992. Semipalmated Sandpiper records for Baja California. *Euphonia* 1:37-38.
- Zink, R. M. 1997. Species concepts. *Bulletin British Ornithologists' Club* 117:97-109.
- Zink, R. M. y S. Hackett. 1986. Historical biogeographic patterns in the avifauna of North America. *XIX Cong. Intern. Ornit. Ottawa, Canada* 2:2573- 2580.
- Zink, R., R. Blackwell and O. Rojas-Soto. 1997. Species limits in the Leconte's Thrasher (*Toxostoma lecontei*). *Condor* 99:132-138.

## APENDICE 1

La primera columna representa la lista total de especies registradas en la Península de Baja California. La segunda columna representa la estacionalidad de cada especie basada en 5 divisiones (R= residente, M= migratoria de invierno, Mv= migratoria de verano, T= transitoria y A= accidental), así como sus respectivas combinaciones, ya que la mayoría de las especies tienen más de una condición estacional a lo largo de la Península (RM= residente en su mayoría y migratoria de invierno, MR= migratoria de invierno en su mayoría y residente, RT= residente y transitoria, MT= migratoria de invierno en su mayoría y transitoria, TM= transitoria en su mayoría y migratoria de invierno, RMT= residente, transitoria y migratoria de invierno y de verano, MvM= migratoria de verano y de invierno, MvT= migratoria de verano y transitoria, MvTM, migratoria de verano, invierno y transitoria). En la misma columna para algunas especies se presenta la condición particular respecto al origen y situación actual (Introducida, Extirpada, Extinta y D= dudosa). En la tercer columna se muestra la categoría de endemismo (EB= endémico a Baja California, EM= endémico a México, Q= cuasiendémico a México).

<i>Gavia stellata</i>	M		<i>Sula dactylatra</i>	MR
<i>Gavia pacifica</i>	M		<i>Sula neboxii</i>	RM
<i>Gavia immer</i>	M		<i>Sula leucogaster</i>	RM
<i>Gavia adamsii</i>	A		<i>Sula sula</i>	A
<i>Tachybaptus dominicus</i>	R		<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	M
<i>Podilymbus podiceps</i>	RM		<i>Pelecanus occidentalis</i>	RM
<i>Podiceps auritus</i>	M		<i>Phalacrocorax auritus</i>	RM
<i>Podiceps nigricollis</i>	MR		<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	A
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	MR		<i>Phalacrocorax penicillatus</i>	MR
<i>Phoebastria nigripes</i>	A		<i>Phalacrocorax pelagicus</i>	MR
<i>Phoebastria immutabilis</i>	A		<i>Fregata magnificens</i>	MR
<i>Phoebastria albatrus</i>	A		<i>Botaurus lentiginosus</i>	M
<i>Fulmarus glacialis</i>	M		<i>Ixobrychus exilis</i>	MR
<i>Pterodroma cookii</i>	M		<i>Ardea herodias</i>	R
<i>Puffinus creatopus</i>	M		<i>Ardea alba</i>	M
<i>Puffinus pacificus</i>	A		<i>Egretta thula</i>	MR
<i>Puffinus griseus</i>	M		<i>Egretta caerulea</i>	MR
<i>Puffinus tenuirostris</i>	M		<i>Egretta tricolor</i>	MR
<i>Puffinus puffinus</i>	A		<i>Egretta rufescens</i>	MR
<i>Puffinus opisthomelas</i>	R		<i>Bubulcus ibis</i>	M
<i>Puffinus auricularis</i>	M	EM	<i>Butorides virescens</i>	R
<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	MR		<i>Nycticorax nycticorax</i>	MR
<i>Oceanodroma socorroensis</i>	M	EM	<i>Nyctanassa violacea</i>	MR
<i>Oceanodroma macrodactyla</i>	Extinto	EB	<i>Eudocimus albus</i>	MR
<i>Oceanodroma homochroa</i>	MR		<i>Plegadis chihi</i>	M
<i>Oceanodroma tethys</i>	M		<i>Mycteria americana</i>	A
<i>Oceanodroma melania</i>	RM		<i>Cathartes aura</i>	R
<i>Oceanodroma microsoma</i>	RM		<i>Gymnogyps californianus</i>	Extirpado
<i>Phaethon aethereus</i>	RM		<i>Dendrocygna bicolor</i>	A
<i>Phaethon rubricauda</i>	A		<i>Anser albifrons</i>	M

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<i>Chen caerulescens</i>	A		<i>Rallus longirostris</i>	R
<i>Branta minima</i>	M		<i>Rallus limicola</i>	MR
<i>Branta nigricans</i>	M		<i>Porzana carolina</i>	MR
<i>Cygnus columbianus</i>	M		<i>Gallinula chloropus</i>	RM
<i>Anas strepera</i>	M		<i>Fulica americana</i>	RM
<i>Anas penelope</i>	M		<i>Grus canadensis</i>	A
<i>Anas americana</i>	M		<i>Pluvialis squatarola</i>	M
<i>Anas platyrhynchos</i>	R		<i>Pluvialis fulva</i>	A
<i>Anas discors</i>	M		<i>Charadrius alexandrinus</i>	RM
<i>Anas cyanoptera</i>	MR		<i>Charadrius wilsonia</i>	R
<i>Anas clypeata</i>	M		<i>Charadrius semipalmatus</i>	M
<i>Anas acuta</i>	M		<i>Charadrius vociferus</i>	R
<i>Anas crecca</i>	M		<i>Charadrius montanus</i>	M
<i>Aythya valisineria</i>	M		<i>Haematopus palliatus</i>	R
<i>Aythya americana</i>	M		<i>Haematopus bachmani</i>	R
<i>Aythya collaris</i>	M		<i>Himantopus mexicanus</i>	MR
<i>Aythya marila</i>	M		<i>Recurvirostra americana</i>	MR
<i>Aythya affinis</i>	M		<i>Tringa melanoleuca</i>	M
<i>Melanitta perspicillata</i>	M		<i>Tringa flavipes</i>	M
<i>Melanitta fusca</i>	M		<i>Tringa solitaria</i>	T
<i>Melanitta nigra</i>	M		<i>Caloptrophorus semipalmatus</i>	M
<i>Bucephala albeola</i>	M		<i>Heteroscelus incanus</i>	M
<i>Bucephala clangula</i>	M		<i>Actitis macularia</i>	M
<i>Lophodytes cucullatus</i>	M		<i>Numenius phaeopus</i>	M
<i>Mergus serrator</i>	M		<i>Numenius americanus</i>	M
<i>Mergus merganser</i>	A		<i>Limosa haemastica</i>	A
<i>Oxyura jamaicensis</i>	R		<i>Limosa lapponica</i>	A
<i>Pandion haliaetus</i>	R		<i>Limosa fedoa</i>	M
<i>Elanus leucurus</i>	R		<i>Arenaria interpres</i>	M
<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	A-R?		<i>Arenaria melanocephala</i>	M
<i>Circus cyaneus</i>	MR		<i>Aphriza virgata</i>	M
<i>Accipiter striatus</i>	M		<i>Calidris canutus</i>	M
<i>Accipiter cooperii</i>	MR		<i>Calidris alba</i>	M
<i>Parabuteo unicinctus</i>	R		<i>Calidris pusilla</i>	M
<i>Buteo elegans</i>	R		<i>Calidris mauri</i>	M
<i>Buteo swainsoni</i>	A		<i>Calidris minutilla</i>	M
<i>Buteo albonotatus</i>	Mvei		<i>Calidris bairdii</i>	T
<i>Buteo jamaicensis</i>	R		<i>Calidris melanotos</i>	T
<i>Buteo regalis</i>	M		<i>Calidris alpina</i>	M
<i>Aquila chrysaetos</i>	RM		<i>Limnodromus griseus</i>	M
<i>Caracara cheriway</i>	R		<i>Limnodromus scolopaceus</i>	M
<i>Caracara lutosus</i>	Extinto	EB	<i>Gallinago gallinago</i>	M
<i>Falco sparverius</i>	R		<i>Phalaropus tricolor</i>	T
<i>Falco columbarius</i>	R		<i>Phalaropus lobatus</i>	T
<i>Falco mexicanus</i>	RM		<i>Phalaropus fulicaria</i>	TM
<i>Falco peregrinus</i>	R		<i>Stercorarius pomarinus</i>	T
<i>Phasianus colchicus</i>	Introducido		<i>Stercorarius parasiticus</i>	M
<i>Callipepla gambelii</i>	R		<i>Stercorarius longicaudus</i>	T
<i>Callipepla californica</i>	R		<i>Larus atricilla</i>	MR
<i>Oreortyx pictus</i>	R		<i>Larus pipixcan</i>	A
<i>Laterallus jamaicensis</i>	R		<i>Larus philadelphia</i>	M

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<i>Larus heermanni</i>	MR	Q	<i>Chordeiles acutipennis</i>	RM	
<i>Larus canus</i>	M		<i>Chordeiles minor</i>	D	
<i>Larus delawarensis</i>	M		<i>Phalaenoptilus nuttallii</i>	R	
<i>Larus californicus</i>	M		<i>Cypseloides niger</i>	T	
<i>Larus argentatus</i>	M		<i>Chaetura vauxi</i>	T	
<i>Larus thayeri</i>	M		<i>Aeronautes saxatalis</i>	R	
<i>Larus livens</i>	R	Q	<i>Cynanthus latirostris</i>	A	
<i>Larus occidentalis</i>	RM		<i>Hylocharis xantusii</i>	R	EB
<i>Larus glaucescens</i>	M		<i>Archilochus colubris</i>	A	
<i>Larus hyperboreus</i>	A		<i>Archilochus alexandri</i>	MT	
<i>Rissa tridactyla</i>	M		<i>Calypte anna</i>	MR	
<i>Xema sabini</i>	TM		<i>Calypte costae</i>	R	
<i>Sterna nilotica</i>	R		<i>Stellula calliope</i>	TR	
<i>Sterna caspia</i>	RM		<i>Selasphorus rufus</i>	T	
<i>Sterna maxima</i>	MR		<i>Selasphorus sasin</i>	T	
<i>Sterna elegans</i>	RM	Q	<i>Ceryle alcyon</i>	M	
<i>Sterna hirundo</i>	T		<i>Chloroceryle americana</i>	D	
<i>Sterna forsteri</i>	MR		<i>Melanerpes lewis</i>	M	
<i>Sterna albifrons</i>	A		<i>Melanerpes bairdi</i>	R	
<i>Sterna antillarum</i>	Mv		<i>Melanerpes angustifrons</i>	R	EB
<i>Sterna fuscata</i>	M		<i>Melanerpes chrysogenys</i>	D	EM
<i>Chlidonias niger</i>	T		<i>Melanerpes uropygialis</i>	R	
<i>Rynchops niger</i>	M		<i>Sphyrapicus varius</i>	A	
<i>Cephus columba</i>	M		<i>Sphyrapicus nuchalis</i>	M	
<i>Synthliboramphus hypoleucus</i>	MR	Q	<i>Sphyrapicus ruber</i>	M	
<i>Synthliboramphus scrippsi</i>	MR	EM	<i>Sphyrapicus thyroideus</i>	MR	
<i>Synthliboramphus craveri</i>	MR	EM	<i>Picoides scalaris</i>	R	
<i>Synthliboramphus antiquus</i>	A		<i>Picoides nuttallii</i>	R	
<i>Ptychoramphus aleuticus</i>	MR		<i>Picoides villosus</i>	R	
<i>Aethia cristatella</i>	A		<i>Colaptes cafer</i>	R	
<i>Cerorhinca monocerata</i>	M		<i>Colaptes rufipileus</i>	Extinto	EB
<i>Fratercula cirrhata</i>	A		<i>Colaptes chrysoides</i>	R	
<i>Columba livia</i>	Introducido		<i>Contopus cooperi</i>	R	
<i>Columba fasciata</i>	MR		<i>Contopus sordidulus</i>	TMR	
<i>Columba vioscae</i>	R	EB	<i>Contopus cinereus</i>	D	
<i>Zenaida asiatica</i>	R		<i>Empidonax traillii</i>	T	
<i>Zenaida macroura</i>	R		<i>Empidonax albigularis</i>	D	
<i>Columbina inca</i>	A		<i>Empidonax minimus</i>	A	
<i>Columbina passerina</i>	R		<i>Empidonax hammondi</i>	T	
<i>Coccyzus americanus</i>	Mv		<i>Empidonax oberholseri</i>	TR	
<i>Geococcyx californianus</i>	R		<i>Empidonax wrightii</i>	M	
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Extirpado		<i>Empidonax difficilis</i>	TMR	
<i>Tyto alba</i>	R		<i>Sayornis nigricans</i>	RM	
<i>Otus kennicottii</i>	R		<i>Sayornis phoebe</i>	A	
<i>Bubo virginianus</i>	R		<i>Sayornis saya</i>	RM	
<i>Glaucidium hoskinsii</i>	R	EB	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	R	
<i>Micrathene whitneyi</i>	R		<i>Myiarchus tuberculifer</i>	A	
<i>Athene cucularia</i>	R		<i>Myiarchus cinerascens</i>	RM	
<i>Asio otus</i>	R		<i>Myiarchus tyrannulus</i>	A	
<i>Asio flammeus</i>	M		<i>Tyrannus melancholicus</i>	A	
<i>Aegolius acadicus</i>	A		<i>Tyrannus vociferans</i>	MR	

<i>Tyrannus verticalis</i>	Mv		<i>Poliopitila melanura</i>	R	
<i>Tyrannus tyrannus</i>	A		<i>Poliopitila plumbea</i>	D	
<i>Tyrannus forficatus</i>	A		<i>Sialia mexicana</i>	RM	
<i>Lanius ludovicianus</i>	R		<i>Sialia currucoides</i>	M	
<i>Vireo bellii</i>	MT		<i>Myadestes townsendi</i>	M	
<i>Vireo vicinior</i>	M		<i>Catharus ustulatus</i>	T	
<i>Vireo cassinii</i>	TMR		<i>Catharus guttatus</i>	MR	
<i>Vireo plumbeus</i>	M		<i>Turdus migratorius</i>	RM	
<i>Vireo huttoni</i>	RM		<i>Turdus confinis</i>	R	EB
<i>Vireo gilvus</i>	TMR		<i>Ixoreus naevius</i>	M	
<i>Vireo philadelphicus</i>	A		<i>Chamaea fasciata</i>	R	
<i>Vireo olivaceus</i>	A		<i>Stumus vulgaris</i>	Introducido	
<i>Cyanocitta diademata</i>	A		<i>Dumetella carolinensis</i>	A	
<i>Cyanocitta frontalis</i>	A		<i>Mimus polyglottos</i>	R	
<i>Aphelocoma californica</i>	R		<i>Oreoscoptes montanus</i>	M	
<i>Gymnorhinus cyanocephalus</i>	R		<i>Toxostoma longirostre</i>	D	EM
<i>Nucifraga columbiana</i>	R		<i>Toxostoma cinereum</i>	R	EB
<i>Corvus brachyrhynchos</i>	R		<i>Toxostoma bendirei</i>	A	
<i>Corvus corax</i>	R		<i>Toxostoma redivivum</i>	R	
<i>Eremophila alpestris</i>	R		<i>Toxostoma crissale</i>	R	
<i>Progne subis</i>	Mv		<i>Toxostoma lecontei</i>	R	
<i>Progne sinaloae</i>	D	EM	<i>Toxostoma arenicola</i>	R	EB
<i>Tachycineta bicolor</i>	M		<i>Motacilla alba</i>	A	
<i>Tachycineta thalassina</i>	R		<i>Anthus cervinus</i>	A	
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	MT		<i>Anthus rubescens</i>	MR	
<i>Riparia riparia</i>	T		<i>Bombycilla cedrorum</i>	M	
<i>Hirundo rustica</i>	T		<i>Phainopepla nitens</i>	R	
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	MVT		<i>Vermivora chrysoptera</i>	A	
<i>Poecile gambeli</i>	R		<i>Vermivora peregrina</i>	A	
<i>Poecile sclateri</i>	D	Q	<i>Vermivora celata</i>	MR	
<i>Baeolophus inornatus</i>	R		<i>Vermivora ruficapilla</i>	T	
<i>Auriparus flaviceps</i>	R		<i>Vermivora luciae</i>	A	
<i>Psaltriparus minimus</i>	R		<i>Parula graysoni</i>	A	EM
<i>Sitta canadensis</i>	A		<i>Dendroica erithachorides</i>	R	
<i>Sitta carolinensis</i>	R		<i>Dendroica aestiva</i>	RM	
<i>Sitta pygmaea</i>	R		<i>Dendroica pensylvanica</i>	A	
<i>Certhia americana</i>	A		<i>Dendroica magnolia</i>	A	
<i>Campylorhynchus affinis</i>	R	EB	<i>Dendroica caerulescens</i>	A	
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	R		<i>Dendroica coronata</i>	MR	
<i>Salpinctes obsoletus</i>	R		<i>Dendroica auduboni</i>	MR	
<i>Catherpes mexicanus</i>	R		<i>Dendroica nigrescens</i>	MT	
<i>Thryomanes bewickii</i>	R		<i>Dendroica townsendi</i>	MT	
<i>Troglodytes aedon</i>	MR		<i>Dendroica occidentalis</i>	T	
<i>Cistothorus palustris</i>	M		<i>Dendroica virens</i>	A	
<i>Regulus satrapa</i>	A		<i>Dendroica fusca</i>	A	
<i>Regulus calendula</i>	M		<i>Dendroica graciae</i>	A	
<i>Regulus obscurus</i>	R	EB	<i>Dendroica palmarum</i>	A	
<i>Phylloscopus fuscatus</i>	A		<i>Dendroica castanea</i>	A	
<i>Phylloscopus borealis</i>	A		<i>Dendroica striata</i>	A	
<i>Poliopitila caerulea</i>	RM		<i>Dendroica cerulea</i>	A	
<i>Poliopitila californica</i>	R	Q	<i>Mniotilta varia</i>	MT	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<i>Setophaga ruticilla</i>	MT			<i>Cardinalis cardinalis</i>	R		
<i>Protonotaria citrea</i>	A			<i>Cardinalis sinuatus</i>	R		
<i>Seiurus aurocapillus</i>	A			<i>Pheucticus ludovicianus</i>	A		
<i>Seiurus noveboracensis</i>	TM			<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Mv		
<i>Seiurus motacilla</i>	A			<i>Guiraca caerulea</i>	Mv		
<i>Oporornis philadelphia</i>	A			<i>Passerina amoena</i>	MvT		
<i>Oporornis tolmiei</i>	TM			<i>Passerina cyanea</i>	A		
<i>Geothlypis trichas</i>	RM			<i>Passerina versicolor</i>	R		
<i>Geothlypis beldingi</i>	R	EB		<i>Passerina ciris</i>	A		
<i>Wilsonia pusilla</i>	TM			<i>Spiza americana</i>	A		
<i>Myioborus pictus</i>	A			<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	A		
<i>Myioborus miniatus</i>	D			<i>Agelaius phoeniceus</i>	RM		
<i>Euthlypis lacrymosa</i>	A			<i>Agelaius tricolor</i>	R		
<i>Icteria virens</i>	MT			<i>Sturnella neglecta</i>	RM		
<i>Piranga hepatica</i>	A			<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	Mv		
<i>Piranga rubra</i>	A			<i>Euphagus carolinus</i>	A		
<i>Piranga olivacea</i>	A			<i>Euphagus cyanocephalus</i>	MR		
<i>Piranga ludoviciana</i>	TM			<i>Quiscalus mexicanus</i>	A		
<i>Pipilo chlorurus</i>	RMT			<i>Molothrus aeneus</i>	A		
<i>Pipilo maculatus</i>	R			<i>Molothrus ater</i>	R		
<i>Pipilo crissalis</i>	R			<i>Icterus spurius</i>	A		
<i>Pipilo albifrons</i>	R	EB		<i>Icterus nelsoni</i>	R		
<i>Pipilo aberti</i>	R			<i>Icterus bullockii</i>	MvT		
<i>Aimophila ruficeps</i>	R			<i>Icterus parisorum</i>	RM		
<i>Spizella passerina</i>	MR			<i>Carpodacus purpureus</i>	M		
<i>Spizella pallida</i>	M			<i>Carpodacus cassinii</i>	MR		
<i>Spizella breweri</i>	M			<i>Carpodacus helminthophila</i>	R		
<i>Spizella atrogularis</i>	Mv			<i>Carpodacus mcgregori</i>	Extinto	EB	
<i>Pooecetes gramineus</i>	M			<i>Carpodacus amplus</i>	R	EB	
<i>Chondestes grammacus</i>	Mv			<i>Loxia stricklandi</i>	R	EM?	
<i>Amphispiza bilineata</i>	R			<i>Carduelis pinus</i>	RM		
<i>Amphispiza belli</i>	RM			<i>Carduelis hesperophilus</i>	R		
<i>Calamospiza melanocorys</i>	MT			<i>Carduelis lawrencei</i>	RM		
<i>Passerculus sandwichensis</i>	MR			<i>Carduelis tristis</i>	M		
<i>Passerculus rostratus</i>	R	Q		<i>Passer domesticus</i>	Introducido		
<i>Passerculus beldingi</i>	R	Q					
<i>Ammodramus savannarum</i>	R						
<i>Ammodramus caudacutus</i>	A						
<i>Passerella unalaschensis</i>	M						
<i>Passerella schistacea</i>	M						
<i>Passerella iliaca</i>	M						
<i>Melospiza rivularis</i>	M	EM					
<i>Melospiza lincolni</i>	M						
<i>Zonotrichia albicollis</i>	A						
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	M						
<i>Zonotrichia atricapilla</i>	M						
<i>Junco hyemalis</i>	RM						
<i>Junco insularis</i>	R	EB					
<i>Junco bairdi</i>	R	EB					
<i>Calcarius lapponicus</i>	A						
<i>Calcarius ornatus</i>	A						

## APÉNDICE 2

Colecciones ornitológicas que facilitaron sus datos para la construcción del Atlas de las aves de México (Navarro *et al.* 2002): AMNH-American Museum Natural of History, ANSP-Academy Natural of Sciences of Philadelphia, BELL -Bell Museum (Univ. Minnesota), BMUK- British Museum 'of Natural History, CMNH-Carnegie Museum of Natural History, CAS-California Academy of Sciences, CAMN-Canadian Museum of Nature, DENV-Denver Museum of Natural History, DMNH-Delaware Museum of Natural History,FSM-Florida State Museum, FHSC-Fort Hays State College, FMNH-Field Museum of Natural History, ISU-Iowa State University, KU-University of Kansas Museum of Natural History, LACM-Los Angeles County Museum of Natural History, LNM-Leiden Natuurhistorische Museum, LSUMZ-Louisiana State University Museum of Zoology, MCZ-Museum of Comparative Zoology (Harvard Univ.), MLZ-Moore Laboratory of Zoology, UMMZ-University of Michigan Museum of Zoology, MNHNP-Muséum National d'Histoire Naturelle, MHNM-Museo de Historia Natural de Madrid, MVZ-Museum of Vertebrate Zoology (Berkeley Univ.), UNNH-University of Nebraska, Royal Ontario Museum, SDNHM-San Diego Natural History Museum, SWC-Southwestern College, TAMU-Texas A&M University, UA-University of Arizona, UBCMZ-University of British Columbia Museum of Zoology, UCLA-University of California Los Angeles, UMSNH-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Oklahoma-University of Oklahoma, WFVZ-Western Foundation of Vertebrate Zoology, USNM-United States National Museum of Natural History y PMNH-Peabody Museum of National History (Yale University).

