



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

Facultad de Ciencias

**ANÁLISIS ECOLÓGICO Y
BIOGEOGRÁFICO DE LA AVIFAUNA
LACUSTRE DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACÁDEMICO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

P R E S E N T A

M. EN C. PATRICIA RAMÍREZ BASTIDA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 14 de Abril de 2008, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTORA EN CIENCIAS** de la alumna **PATRICIA RAMÍREZ BASTIDA** con número de cuenta **81529223** con la tesis titulada: "**Análisis ecológico y biogeográfico de la avifauna lacustre de México**", realizada bajo la dirección del **DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**:

Presidente:	DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI
Vocal:	DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER
Vocal:	DR. OCTAVIO RAFAEL ROJAS SOTO
Vocal:	DR. JAVIER ALCO CER DURAND
Secretario:	DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA

De acuerdo con lo anterior, la alumna se apegó a lo establecido en el Artículo 31 del Reglamento General de Estudios de Posgrado (29 septiembre de 2006).

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 10 de Junio de 2008.

Dr. Juan Nuñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente de la interesada.

AGRADECIMIENTOS.

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, por permitirme culminar los estudios, en especial a la Dra. Deni C. Rodríguez Vargas, a la Dra. Judith Márquez y a todo el personal administrativo.

El desarrollo de este proyecto fue apoyado por los proyectos SEMARNAT-CONACYT (C01-0265), PAPIIT (IN208906-2), se recibió beca complementaria de doctorado de DGAPA-UNAM y apoyo del proyecto PAPCA-UNAM en 2003, para la realización de los muestreos de campo.

Al Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza, por permitirme formar parte de tus proyectos y apoyarme hasta aquí, a pesar de todo. Eres para mí una persona admirable.

A la Dra. María del Coro Arizmendi, por todas las sugerencias, apoyo, orientación y calidez brindadas, desde la Maestría.

Al Dr. José Luis Osorno Cepeda (q.e.p.d), de quien recibí importantes lecciones y comentarios al inicio del trabajo, lamento muchísimo su inesperada partida.

Al Dr. Enrique Martínez Meyer, cuya participación en este proyecto fue crucial en el manejo del SIG, gracias por tus sugerencias, amistad y apoyo.

Al Dr. Andrew Townsend Peterson, por su excelente orientación, atinadas sugerencias e inapreciable participación en la estructura del capítulo final de este trabajo.

A los Dres. Juan José Morrone Lupi, Javier Alcocer Durand y Octavio R. Rojas Soto, por sus excelentes sugerencias y comentarios, que enriquecieron de forma sustancial el trabajo.

AGRADECIMIENTOS (II)

A todo el personal del Museo Alfonso L. Herrera, que participó en la captura de datos para el Atlas de las Aves de México y especialmente a los que me han brindado su amistad y de quienes he aprendido mucho: Blanca Hernández, Alejandro Gordillo, Livia León, Luis Antonio Sánchez, Erick García, Gabriela García, Samuel López, Roberto Sosa, Hernán Vázquez, Vicente Rodríguez, César Ríos.

A Jorge Ángel Cruz Sánchez, Omar Aristóteles Espinosa Flores, Deyanira Etaín Varona Ganiel y Magdalena Mazatlán Solís, quienes participaron en una o más ocasiones durante los recorridos en campo.

A la Dra. Patricia Illoldi, del Instituto de Biología, por su apoyo en el uso del programa ResNet y a la Dra. Bárbara McKinnon, por brindarme amablemente información reciente sobre las aves de la península de Yucatán.

A todas las Instituciones y curadores de las colecciones que permitieron el acceso a sus ejemplares para recabar la información de la cual partió este proyecto: American Museum of Natural History; Academy of Natural Sciences of Philadelphia; Bell Museum of Natural History, University of Minnesota; British Museum (Natural History); California Academy of Sciences; Carnegie Museum of Natural History; Canadian Museum of Nature; Cornell University Museum of Vertebrates; Denver Museum of Natural History; Delaware Museum of Natural History; Fort Hays State University; Field Museum of Natural History; Florida Museum of Natural History; Instituto de Ecología y Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas; Iowa State University; University of Kansas Natural History Museum; Los Angeles County Museum of Natural History; Leiden Natuurhistorische Museum; Louisiana State University Museum of Natural Science; Museum of Comparative Zoology, Harvard University; Moore Laboratory of Zoology, Occidental College; Michigan State University; Museum Nationale d'Histoire Naturelle, Paris; Museum of Vertebrate Zoology; Museo Civico di Historia Naturale, Milan; Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México; University of Nebraska; Royal Ontario Museum; San Diego Natural History Museum; Texas Cooperative Wildlife Collections; University of Arizona; University of British Columbia Museum of Zoology; University of California Los Angeles; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; U.S. National Museum of Natural History; Western Foundation of Vertebrate Zoology; y Peabody Museum, Yale University.

DEDICATORIA.

El presente trabajo no hubiera sido posible sin la participación de muchas personas, que en gran medida o con su granito de arena, me apoyaron en estos años, va esta por todos ustedes, especialmente por aquellos que me hicieron más fácil este tránsito.

A mis hijos, Miriam: sé cada vez más libre; Iván: te cumplí hijo, es tu turno. Gracias por ser como son, los quiero muchísimo y son mi principal razón para seguir adelante.

A mis padres: Carmen, Fernando, este logro es una pequeña retribución a todo el amor que me han dado. Mamá, eres un ejemplo de vida y fortaleza; Papá, te quiero mucho.

A mis hermanos: Marco Antonio, Leticia, Alberto, porque cada uno de ustedes es una parte importante de mí.

A la familia Gómez Portillo que siempre me ha brindado cariño, especialmente a Hilda Portillo por su ecuanimidad y entereza.

A mis amigos y compañeros de trabajo: Alba Márquez, Maggi Colunga, Atahualpa de Sucre, Laura Rivera, Marcela Ibarra, Sergio Stanford, Etaín Varona, Jorge Padilla, Angélica Mendoza, Alberto Morales, Jaime Barral; gracias por su amistad, apoyo y confianza.

A quienes estaban aquí cuando esto comenzó, gracias por sus ejemplos de vida que siguen en mis recuerdos (q.e.p.d.): tías Guadalupe y Cruz, tíos Héctor y Antonio, prima Silvia, suegro Arturo, abuelitos Adela, Guadalupe y Antonio.

*Las cosas que más trabajo han costado aprender, son las más
dulces de recordar*

Séneca

ÍNDICE

	Página
RESUMEN / ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	3
I. AMBIENTES LACUSTRES DE MÉXICO	9
1.1. Introducción. Definición del área de estudio.	11
1.2. Información relacionada con cuerpos de agua.	11
1.3. Objetivo	17
1.4. Métodos	17
1.5. Resultados	18
1.6. Discusión	27
1.7. Conclusiones	30
II. SITUACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA AVIFAUNA LACUSTRE EN MÉXICO	31
2.1. Introducción	33
2.2. Objetivos	34
2.3. Métodos	34
2.4. Resultados	37
2.5. Discusión	51
2.6. Conclusiones	54
III. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LA AVIFAUNA LACUSTRE	55
3.1. Introducción	57
3.2. Objetivos	58
3.3. Métodos	59
3.4. Resultados	63
3.5. Discusión	73
3.6. Conclusiones	78
IV. AQUATIC BIRD DISTRIBUTIONS IN MEXICO: DESIGNING CONSERVATION APPROACHES QUANTITATIVELY	79
Abstract	81
Introduction	82
Methods	83
Results	86
Discussion	90
Acknowledgments	94
Appendix	95
References	110
V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	115
VI. LITERATURA CITADA	123
VII. APÉNDICES	133

RESUMEN

“Análisis Ecológico y Biogeográfico de la Avifauna Lacustre de México”

Presenta: Patricia Ramírez Bastida

Tutor principal: Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza

La avifauna acuática continental ha recibido menos atención que otros grupos de aves. Para conocer con mayor detalle sus patrones biogeográficos y relación con características del país, se analizan primero los ambientes lacustres de México (Capítulo I): categorías de los cuerpos de agua, distribución por latitud y longitud, altitud, Estado y regiones hidrológicas, así como algunas de las presiones antrópicas. Se revisa la situación del conocimiento de 151 especies acuáticas en México, analizando el tipo de literatura publicada sobre ellas en México, los patrones de distribución que se obtendrían de las guías de campo y la riqueza puntual a partir de los listados de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs) y el Atlas de las Aves de México (Capítulo II). A partir del Atlas se obtiene la información para el desarrollo de los Capítulos III y IV.

Capítulo III. A partir de datos de ejemplares de aves acuáticas colectados en México, pero depositados en museos de México y de todo el mundo, se obtuvieron mapas de distribución potencial mediante el uso del programa GARP. Los mapas se procesaron para obtener uno por especie y se compararon con inventarios reales. Los modelos resultaron en la mayoría de los casos con sobrepredicción respecto a la distribución conocida; no obstante, la literatura reciente indica nuevas localidades de registro para muchas de las especies, que coinciden con los modelos predictivos obtenidos.

Capítulo IV. Los mapas se depuraron para mostrar sólo la distribución nuclear de las especies y reducir la sobrepredicción, los nuevos mapas se compararon con inventarios conocidos y resultaron predictivos. Los patrones de distribución y riqueza obtenidos, se contrastaron con áreas prioritarias de conservación para México: Áreas Naturales Protegidas, Regiones Terrestres Prioritarias, Regiones Hidrológicas Prioritarias, AICAs, sitios Ramsar y Dumac. Se observó que sólo las Regiones Hidrológicas y algunos sitios Ramsar y Dumac coinciden con las áreas de mayor riqueza. Se realizó un análisis de complementariedad con las distribuciones potenciales de las aves acuáticas bajo diferentes escenarios, dando prioridad en algunos casos a las especies endémicas, con categoría de riesgo en México o con evidencia de disminución en el caso de las migratorias. Los resultados indican que se requiere proteger grandes extensiones de ambientes lacustres para asegurar su conservación, sobre todo en el sureste, en el Eje Neovolcánico y el Altiplano, donde se concentran las especies prioritarias y que además corresponden con los sitios de mayor densidad de población humana y cambio en la dinámica de los ambientes lacustres por actividades humanas.

ABSTRACT.

“Ecological and biogeographical analysis of aquatic continental birds of Mexico”.

Author: M. Sc. Patricia Ramírez Bastida.

Tutor: Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza.

The continental aquatic avifauna has received less attention than other groups of birds. In order to explore with more detail their biogeographical patterns and relationships with characteristics of the country, first, lacustrine environments of Mexico were analyzed (Chapter I): categories of wetlands, distribution by latitude, longitude, altitude, geographic division and hydrological regions, as well as influence of some human activities. Then, the situation of the knowledge of 151 aquatic species in México was revised (Chapter II), through the literature published on aquatic birds of Mexico, the distributional patterns that would be obtained from the field guides and the punctual species richness obtained both from Important Bird Areas (AICAs in Spanish), and the Atlas of Mexican Birds. Chapters III and IV were developed starting from data of the previously mentioned Atlas.

Chapter III. Georeferenced data of aquatic bird specimens collected in Mexico but preserved in collections of Mexico and all over the world, were used to obtain maps of potential distribution using GARP. The maps were processed to make one map for each species, then summarized and compared with real inventories. The models resulted in most of the cases with overprediction regarding the known distribution; however, the recent literature indicates new localities for many of the species that coincide with the predictive models obtained.

Chapter IV. Maps were depurated to show only the nuclear distribution of the species and to reduce the overprediction. The new maps were compared with real inventories and they were predictive. The distribution patterns and species richness obtained, were contrasted with priority areas of conservation for Mexico: Natural protected areas, Terrestrial priority regions, Hydrological priority regions, Important bird areas, and both Ramsar and Dumac sites. Only Hydrological priority regions and some Ramsar and Dumac sites coincide with species richness areas. Complementarity analysis were carried out with the potential distributions of aquatic birds under different scenarios, giving priority in some cases to endemic species and those threatened in Mexico or with decrease evidence in the case of migratory species. The results indicate that is required to protect large extensions of wetlands to achieve their conservation; mainly in southeast, Transvolcanic Belt and highlands of north of Mexico, where priority species are concentrate, but they also correspond with areas of highest human population density and/or greater changes in dynamics of wetlands due to human activities.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La compleja topografía de la República Mexicana, crea un mosaico de condiciones ambientales que ha hecho posible el surgimiento y colonización de una gran diversidad de especies, reconocida entre las mayores del planeta (Mittermeier 1992, Ramamoorthy *et al.* 1993). Existe una preocupación creciente por el mantenimiento de esta biodiversidad; muestra de ello son los programas y estrategias instrumentadas a nivel nacional para desarrollar un marco de referencia que contribuya al conocimiento, conservación y manejo sostenido del ambiente (Arriaga *et al.* 1998).

Con base en la división ecológica y biogeográfica del país (Arriaga *et al.* 1997), se han reconocido 151 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP, Arriaga *et al.* 2000) que enmarcan áreas con vegetación en buen estado de conservación o bien con elementos endémicos importantes. Se han ubicado 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP, Arriaga-Cabrera *et al.* 1998) donde se incluyen la mayor parte de las cuencas hidrológicas del país, algunas por la importancia del área para uso de agua y otras por su biodiversidad.

Otro avance en el conocimiento de la biodiversidad fue la designación de 210 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs, Arizmendi y Márquez-Valdelamar 2000). Al sobreponer los mapas de RTP, RHP y AICAs, se observa -sobre todo en las cuencas interiores- una falta de correspondencia entre las áreas. Aun cuando las aves son un elemento importante en los hábitats acuáticos, sólo 49 RHP mencionan especies de aves en su biodiversidad, tres RHP son humedales prioritarios y siete son reconocidas como puente de aves migratorias.

Ahora que se requieren enfoques integrales con aplicaciones a futuro, las aves pueden emplearse en modelos que permitan explicar diversos procesos biológicos (Mayr 1988). La necesidad de integrar información de aves con relación a su hábitat ya ha sido expresada, incluso para los grandes programas de monitoreo de aves de Norteamérica (Weber y Thenerge 1977). A nivel global, se han detectado gradientes latitudinales en la distribución de la diversidad de aves y otros grupos de fauna, donde la productividad, el agua y la evapotranspiración resultan los factores que mejor explican el incremento en la riqueza hacia los trópicos, pero para México se analizan

solo a las aves terrestres reproductoras y se concluye que otros factores pueden afectar los gradientes observados a distintas escalas (Hawkins *et al.* 2003a, 2003b), también se han incluido factores como la temperatura, lluvia, transpiración y elevación para reconocer los sitios prioritarios para conservar aves de distribución restringida a nivel mundial (Long *et al.* 1996).

Otros estudios a gran escala para relacionar la diversidad de aves con factores ecológicos, geográficos e históricos, como base para priorizar áreas críticas para su conservación en México (Escalante *et al.* 1993, Navarro y Benítez 1993), también se han enfocado sobre todo a aves con hábitos terrestres y endémicas. Los sistemas de información geográfica han constituido una valiosa herramienta para relacionar e integrar esta información (Bojórquez-Tapia *et al.* 1995, Arriaga *et al.* 1997). Su empleo ha permitido analizar componentes particulares de las comunidades de aves, como la distribución de endemismos (García-Trejo y Navarro 2004), relaciones a nivel estatal (Navarro 1998) y biogeografía en bosques húmedos (Hernández-Baños *et al.* 1995). La avifauna lacustre (presente en ambientes lénticos como lagos, presas y embalses), ha recibido poca atención, se conoce mejor la costa y los ecosistemas tropicales.

Los hábitats acuáticos epicontinentales incluyen lagos, ríos, estanques, corrientes, manantiales, planicies de inundación y charcos, entre otros (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998), además de los cuerpos de agua naturales, en las últimas décadas -en particular a partir de 1940- se han realizado obras hidráulicas para modificar los cauces de ríos, con lo que se han afectado los niveles de los lagos. En México existen 4,500 presas, de ellas 840 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los estándares internacionales (CONAGUA, 2001) y en total se calcula que existen 14,000 cuerpos de agua lénticos, la mayoría (>60%), con superficie entre una y diez hectáreas (Hernández-Avilés *et al.* 1995). En el presente estudio se incluyen 787 cuerpos de agua costeros y epicontinentales, naturales y artificiales, con superficie mayor a 25 hectáreas, en conjunto se denominarán ambientes lacustres. Todos estos sitios son hábitat potencial para las aves acuáticas, definidas así por requerir de un hábitat acuático o semiacuático para completar alguna parte de su ciclo biológico (Eng 1985).

Tanto los cuerpos de agua naturales, como los creados por el hombre, han sufrido numerosos desajustes ambientales (De la Lanza y García 1995) y algunas

especies han resultado afectadas, principalmente las especies endémicas a los lagos de montaña, tales como *Geothlypis chapalensis*, del Lago de Chapala; *Geothlypis speciosa*, de algunas zonas inundables del centro del Eje Neovolcánico, así como *Coturnicops goldmani*, actualmente amenazada y *Quiscalus palustris*, extinta hacia 1900, ambas de los pantanos del Río Lerma, en el Estado de México (Peterson 1998, Peterson y Navarro-Sigüenza 2006). No obstante lo anterior, muchos ambientes lacustres presentan aves residentes y migratorias, especialmente Anseriformes, Ciconiiformes, Gruiformes, Charadriiformes y Passeriformes, algunas catalogadas bajo riesgo, o bien que por su abundancia pueden ser áreas de importancia bajo criterios internacionales (e. g. RAMSAR, Rose y Scott 1997, Skagen *et al.* 2002, U.S. Fish and Wildlife Service 2007), sin embargo, muchos humedales de México carecen de inventarios completos y/o actualizados.

Desde hace varios años, el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, lleva a cabo el proyecto Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* en prep), en el cual se ha recopilado la información de especímenes de aves mexicanas contenidos en más de 40 instituciones de México, Norteamérica y Europa, se ha concentrado en una base de datos, georreferenciados en su mayoría, con más de 300,000 registros. Además, se han capturado y georreferenciado registros de aves mexicanas obtenidos de la literatura (Rodríguez-Yañez *et al.* 1994). Ambas bases están en constante formación y se han empleado en el estudio de patrones biogeográficos y reconocimiento de áreas críticas para la conservación de las aves de Guerrero (Navarro 1992, Morales-Pérez y Navarro 1992), Durango (Medina-Macías 2002), hábitats montanos (Hernández-Baños *et al.* 1995) y grupos de aves como tucanes (Navarro *et al.* 2001) y codornices (Gordillo-Martínez 2002).

Se ha probado la utilidad del modelaje de nichos ecológicos, a partir de ejemplares georreferenciados y coberturas de características ambientales, geográficas y climáticas, analizadas mediante GARP (Genetic Algorithms for Rule-Set Prediction); para obtener mapas de distribución potencial de vertebrados (Peterson *et al.* 2002, Anderson *et al.* 2003, Raxworthy *et al.* 2003, Fuller *et al.* 2006, García 2006, Fuller *et al.* 2007); en particular para las aves, los estudios se han centrado en especies endémicas, de distribución restringida y algunas acuáticas (Peterson 2001, Feria y Peterson 2002, Stockwell y Peterson 2002, Rojas-Soto *et al.* 2003, Lira-Noriega *et al.* 2007). En el presente estudio se emplea GARP para obtener distribución potencial de

aves acuáticas, que presentan la complejidad de incluir especies de amplia distribución y/o migratorias.

El propósito del presente trabajo, es analizar los patrones geográficos de la riqueza, la composición y la distribución de las comunidades de aves en ambientes acuáticos interiores de México; los dos primeros capítulos son básicamente descriptivos. El primero resume la distribución de los ambientes lacustres respecto a la división política, regionalización y características como superficie y altitud, esta información se sistematizó para posteriormente emplearla en el análisis de la distribución de aves acuáticas. El segundo capítulo presenta la información sobre riqueza de aves acuáticas que se genera a partir de las guías de campo, Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves y el Atlas de las Aves de México. En el tercer capítulo se describe con detalle el método empleado para obtener la distribución potencial de las aves acuáticas por modelaje de nichos y analizar su validez; y el capítulo cuatro presenta el análisis de patrones con base en los modelos finales obtenidos, su comparación con áreas de protección e importancia reconocidas y se señalan áreas importantes para conservación de las aves acuáticas con base en análisis de complementariedad (Fig. I.1).

Hipótesis Generales.

- (1) Es posible obtener modelos de distribución potencial confiables mediante el modelaje de nichos ecológicos, empleando GARP, a partir de datos georreferenciados de las especies y coberturas de características ambientales, geográficas y climáticas.
- (2) La suma de los modelos de nichos ecológicos de las especies, permitirán reconocer si existen patrones de distribución de la avifauna lacustre, su relación con factores como la latitud, longitud, altitud y su representatividad en áreas designadas como importantes para la conservación.

Objetivo General

- Analizar los patrones de distribución de aves acuáticas en ambientes lacustres de la República Mexicana, obtenidos a partir de mapas de distribución potencial por modelaje de nichos, como base para reconocer sitios importantes para conservación.

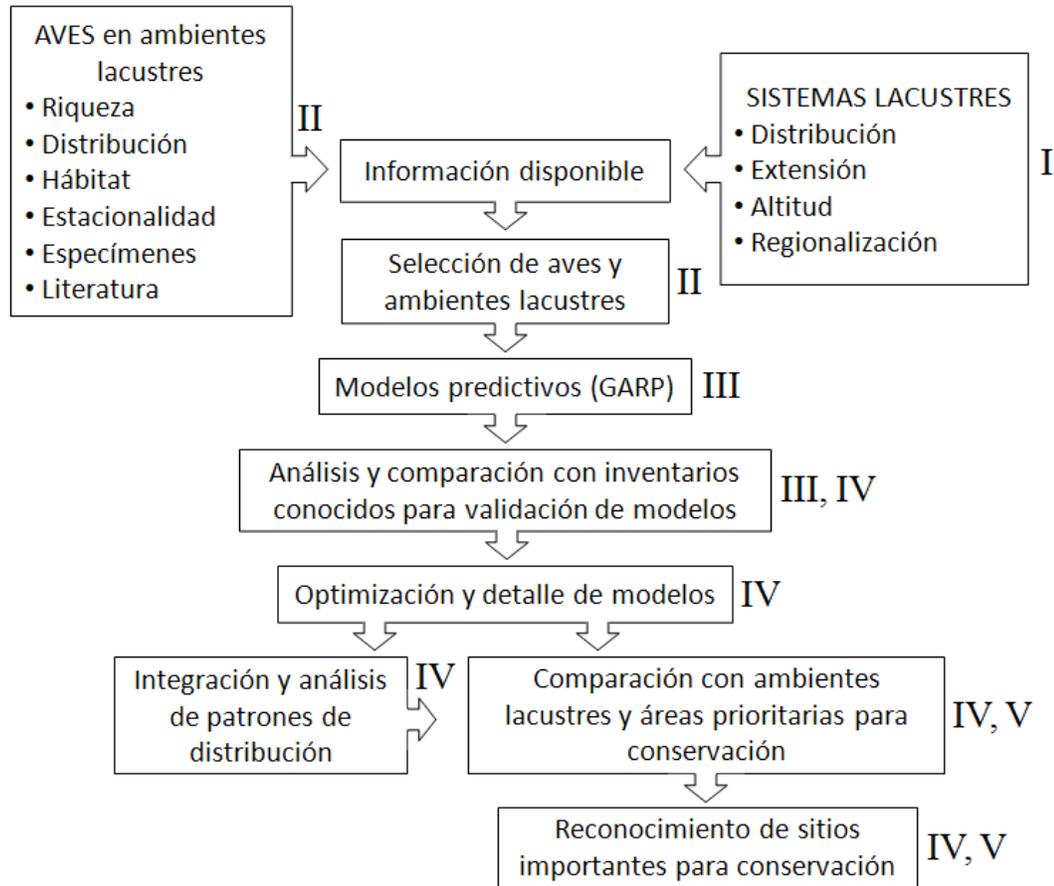


Figura I.1. Esquema general de las etapas del análisis de la avifauna lacustre de México, a la derecha de cada cuadro se indica en qué capítulo se desarrolla.

I

AMBIENTES LACUSTRES DE MÉXICO



Página anterior (en orden descendente):

Laguna de Coyuca; Lago de Yuriria; Lagunas de Altamira;
Pantanos de Centla; Lago de Cuitzeo; Presa Infiernillo
Laguna de Quetzala, Lago de Chapala.

Fotos: P. Ramírez Bastida

AMBIENTES LACUSTRES DE MÉXICO.

1.1. Introducción. Definición del área de estudio.

En este trabajo se abordan diferentes tipos de ambientes acuáticos continentales, se eligió el término *lacustre* porque significa lo relativo a los lagos, y a lo que habita, está o se realiza dentro de los lagos o en sus orillas. Por su origen, el vocablo proviene del latín *lacus* "lago", con la terminación palustre, del latín *paluster* "relativo a una laguna o a un pantano"; el término pantano a su vez alude tando a los sitios donde el agua se recoge y detiene, con fondos cenagosos, como a grandes depósitos artificiales de agua (Real Academia Española 2001). Otra opción es reunirlos bajo la nominación de *humedales*, que por definición son "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros"; estos se clasifican en cinco tipos principales (Ramsar 1971):

- **marinos** (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral);
- **estuarinos** (incluidos deltas, marismas de marea y manglares);
- **lacustres** (humedales asociados con lagos);
- **ribereños** (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y
- **palustres** (es decir, "pantanosos" - marismas, pantanos y ciénagas).

El término lacustre, a diferencia del de humedal, no tiene la limitante de la profundidad; en el caso de los humedales, para este estudio no se consideran las costas, las marismas de marea ni los arrecifes de coral. Se incluyen en cambio ambientes artificiales como presas y embalses. Pese a lo anterior, en ocasiones se mencionarán como humedales, cuerpos de agua o ambientes lacustres, siempre haciendo referencia a los presentes en el territorio continental.

1.2. Información relacionada con cuerpos de agua.

No se cuenta con información homogénea para estos ambientes en México, debido a la diversidad de condiciones que presentan y a que pueden abordarse desde diferentes puntos de vista, a continuación se resumen las fuentes principales de

información de las que parte el presente trabajo. De la Lanza y García (1995, 2002) realizaron compilaciones sobre los lagos y presas de México, la relación de cuerpos de agua se presenta en el Cuadro 1.1. Para cada uno incluyen algunos de los siguientes aspectos: clima, hidrología, características de la cuenca, morfometría, fisicoquímicos, fitoplancton, vegetación acuática, manejo y gestión del sitio, impactos humanos, flora y fauna, pesquerías y productividad, pero no de forma homogénea. La información de aves, cuando se presenta, hace sobre todo referencia a las especies que se consideran perjudiciales para la pesca, como cormoranes y pelícanos.

Cuadro 1.1. Relación de lagos y presas considerados en lo obra Presas y Lagos de México (De la Lanza y García 1995, 2002). En negritas los que mencionan especies de aves.

Cuenca de México	Lago de Metztlán	Presa Zimapán
El Sol, lago alpino	Cuatro Ciénegas, Coahuila	Presa Requena
Los Axalapascos de Puebla	Cuenca Lerma-Chapala	Presa El Caracol
Lago de Atezca	Jagüeyes del NE de México	Presas del NE de México (4)
Lago de Pátzcuaro	Playas de Catazaja Chiapas	Presa Vicente Guerrero
Lago de Zirahuén	Cenotes de la península de Yucatán	Presa Cerro de Oro
Lago de Cuitzeo	Lagos Muertos (Zacapu, Charo, Sn	Presa Nezahualcóyotl
Lago de Chapala	Fco de los Reyes, Amatitlán y Minas)	Presa La Angostura
Lagos Cráter de Guanajuato	Presa Aguamilpa, Nayarit	Bordos o microembalses
Lago de Catemaco	Presa Infiernillo	

CONABIO estableció 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP, Arriaga-Cabrera *et al.* 1998), 82 de ellas por el uso que tienen, 75 por riqueza biológica (aunque sólo 49 mencionan a las aves acuáticas) y entre las dos categorías 75 tienen algún tipo de amenaza. De las que tienen importancia biológica, 29 carecen de información suficiente sobre su biodiversidad y 20 requieren inventarios de flora y fauna (Fig. 1.1). El territorio que ocupan es extenso, porque incluye en muchos casos la extensión total de la cuenca.

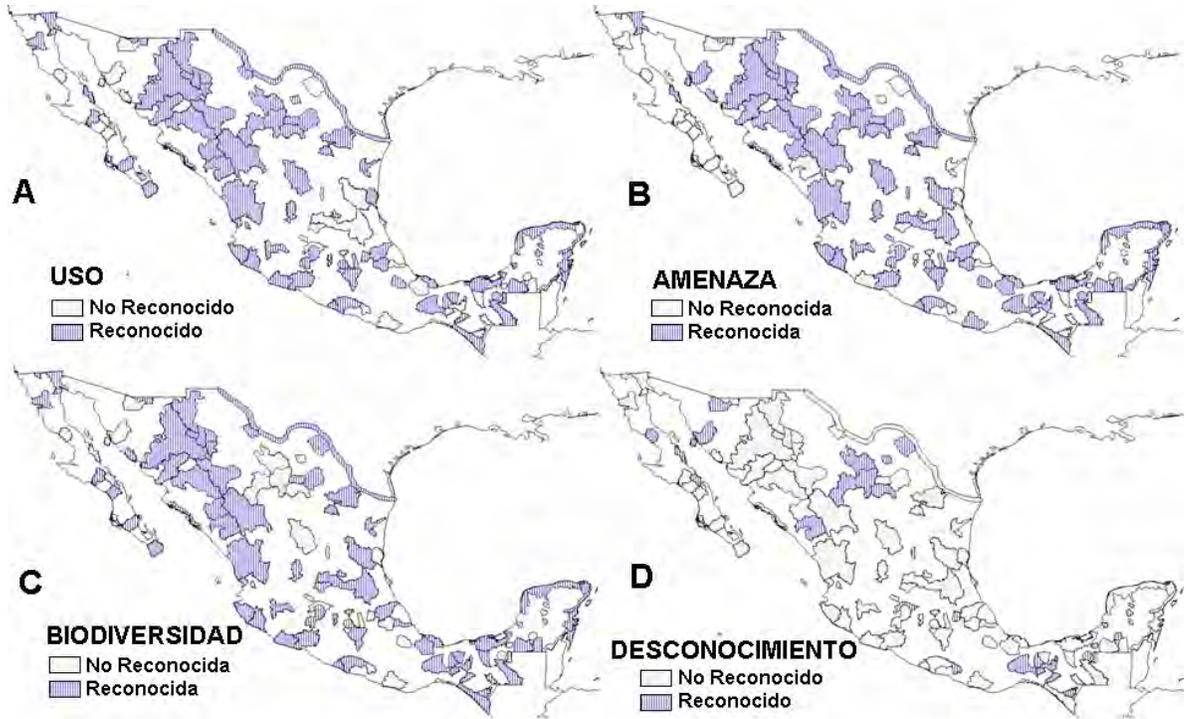


Figura 1.1. Regiones Hidrológicas Prioritarias de México (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998, mapas modificados de CONABIO). Se indica si reconocen (relleno azul) o no reconocen (sin relleno): **A.** uso; **B.** amenaza; **C.** biodiversidad o **D.** desconocimiento.

La Convención Ramsar para la protección de Humedales a nivel internacional impulsa el reconocimiento y designación de humedales que sean importantes como hábitat de flora y fauna, México designó seis sitios Ramsar entre los años 1986 y 1999, que sumaban poco más de un millón de hectáreas (Delta del Río Colorado, Cuatro Ciénegas, Marismas Nacionales, Ría Lagartos, Pantanos de Centla y Reserva de la Biósfera La Encrucijada). Actualmente existen 112 sitios Ramsar, que suman alrededor de ocho millones de hectáreas, pero hasta abril de 2008, sólo 78 contaban con fichas descriptivas y especies prioritarias (Fig. 1.2, Ramsar 2006, 2007, 2008).

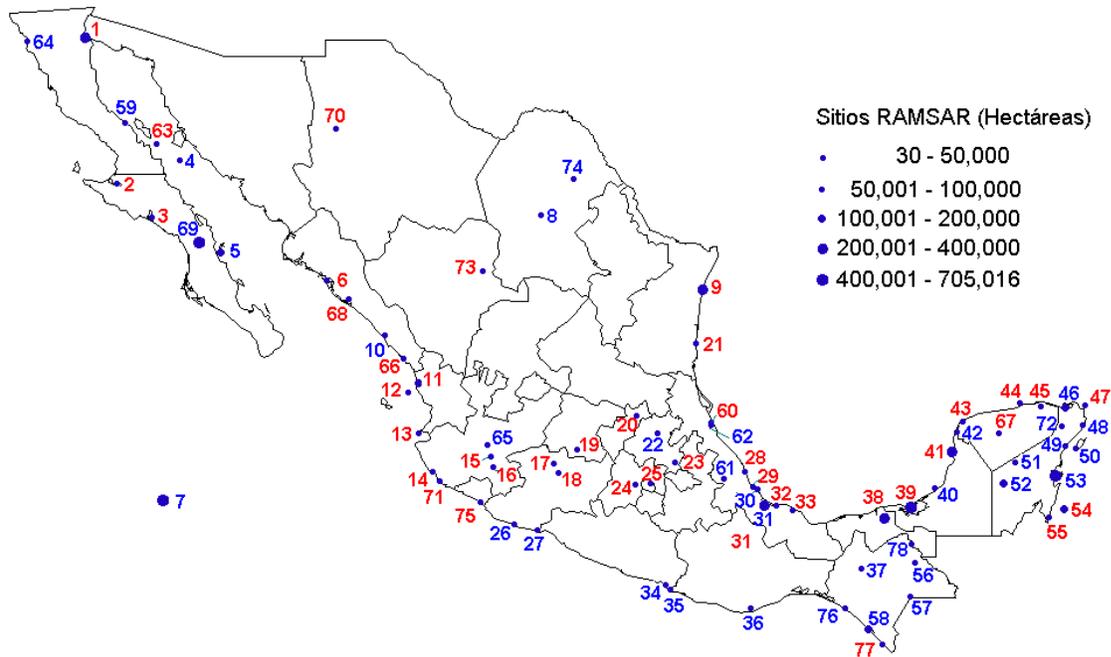


Figura 1.2. 78 Sitios Ramsar en México, de los 112 designados (Wetlands International 2005, Ramsar 2007, 2008). Se resaltan en negritas los que incluyen aves acuáticas en sus fichas descriptivas (en el mapa con números en rojo). 1. Humedales del Delta del Río Colorado, 2. Laguna Ojo de Liebre, 3. Laguna de San Ignacio, 4. Isla San Pedro Mártir, 5. Parque Nacional Bahía de Loreto, 6. Laguna Playa Colorada Santa María la Reforma, 7. Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo, 8. Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, 9. Laguna Madre, 10. Playa Tortuguera El Verde Camacho, 11. Marismas Nacionales, 12. Parque Nacional Isla Isabel, 13. Parque Nacional Islas Marietas, 14. Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, 15. Laguna de Sayula, 16. Laguna de Zapotlán, 17. Laguna de Zacapu, 18. Humedales del Lago de Pátzcuaro, 19. Laguna de Yuriria, 20. Presa Jalpan, 21. Playa Tortuguera Rancho Nuevo, 22. Laguna de Metztlitlán, 23. Laguna de Tecocomulco, 24. Ciénegas de Lerma, 25. Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, 26. Playa Tortuguera Mexiquillo, 27. Laguna Costera El Caimán, 28. La Mancha y El Llano, 29. Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz, 30. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, 31. Sistema Lagunar Alvarado, 32. Humedales de la Laguna Popotera, 33. Manglares y humedales de la Laguna de Sontecomapan, 34. Playa Tortuguera Tierra Colorada, 35. Cuenclas y Corales de la zona Costera de Huatulco, 37. Parque Nacional Cañón del Sumidero, 38. Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, 39. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, 40. Playa Tortuguera Chenkán, 41. Reserva de la Biósfera de Los Petenes, 42. Reserva de la Biósfera Ría Celestún, 43. Reserva Estatal El Palmar, 44. Dzilam (Reserva Estatal), 45. Humedal de Importancia Especialmente para la Conservación de Aves Acuáticas Reserva Ría Lagartos, 46. Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, 47. Parque Nacional Isla Contoy, 48. Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, 49. Playa Tortuguera X'cacel – X'cacelito, 50. Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, 51. Laguna de Chichankanab, 52. Bala'an K'aax, 53. Sian Ka'an, 54. Reserva de la Biósfera Banco Chinchorro, 55. Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, 56. Área de Protección de Flora y Fauna de Nahá y Metzabok, 57. Parque Nacional Lagunas de Montebello, 58. Reserva de la Biósfera La Encrucijada, 59. Corredor Costero La Asamblea- San Francisquito, 60. Laguna de Tamiahua, 61. Cascadas de Texelo y su entorno, 62. Manglares y Humedales de Tuxpan, 63. Isla Rasa, 64. Estero Punta Banda, 65. Laguna de Atotonilco, 66. Laguna Huizache-Caimanero, 67. Parque Estatal Lagunas de Yalahau, 68. Ensenada de Pabellones, 69. Humedal Los Comondú, 70. Laguna de Babicora, 71. Laguna Xola-Paramán, 72. Otoch Ma'ax Yetel Kooh, 73. Parque Estatal "Cañón de Fernández", 74. Río Sabinas, 75. Santuario Playa Boca de Apiza- El Cupadero- El Tecuanillo, 76. Sistema Estuarino Boca del Cielo, 77. Zona Sujeta a Conservación Ecológica Cabildo-Amatal, 78. Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sistema Lagunar Catazajá.

Un importante esfuerzo para clasificar los humedales de México está aún en proceso y hasta el momento se han publicado los resultados del análisis satelital de Laguna Madre, Costa de Sinaloa, Marismas Nacionales, Bahías de California, Delta del Río Colorado, Costa de Sonora y Humedales de Chihuahua y Durango (Carrera y

de la Fuente 2003). Sin embargo, para los fines de este estudio, resulta insuficiente porque presta mayor atención a patos y gansos, si bien menciona algunas otras especies cuando se presentan en abundancia en los humedales considerados en su análisis.

La CONABIO (1999), en su cobertura vectorial de uso de suelo y vegetación presenta 787 cuerpos de agua costeros y continentales (Fig 1.3), este fue el punto de partida para el resto de los análisis de los sistemas lacustres, y posteriormente su relación con las riqueza de aves.



Figura 1.3. 787 cuerpos de agua de más de 25 hectáreas (CONABIO 1999).

En otras clasificaciones, se divide al país desde un punto de vista cercano a la dinámica natural de las escorrentías, es decir las Regiones Hidrológicas, definidas como “el territorio que comprende una o varias cuencas hidrológicas con niveles de escurrimiento superficial y características físicas y geográficas similares”, la Cuenca Hidrológica a su vez, es un área de captación de agua generada por la conformación del relieve (INEGI 2006), e incluye las vertientes de captación de agua de lluvia, las redes de escurrimiento, los cuerpos de agua superficiales y, en su caso, la desembocadura al mar. La Comisión Nacional del Agua reconoce 159 Cuencas Hidrológicas, agrupadas en 38 regiones hidrológicas (CONAGUA 1998a, 1998b), una

de ellas corresponde a todas las islas, tanto marinas como continentales, por lo que el análisis sólo incluye 37 Regiones Hidrológicas (Fig. 1.4).



Figura 1.4. Regiones Hidrológicas de México (CONAGUA 1998b).

Es importante que la información generada integre puntos variados, que sean de utilidad para la conservación de las aves acuáticas en los ambientes continentales. Para evaluar las oportunidades reales de conservación, es necesario tomar en cuenta la influencia humana sobre el ambiente (Abbitt *et al.* 2000). En el caso de los sistemas lacustres como hábitat para las aves acuáticas, las amenazas principales provienen directa o indirectamente del crecimiento de la población humana, la urbanización, y actividades como la agricultura de riego y la ganadería, que en México han ocasionado grandes cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo, así como la modificación y manejo de embalses (Iñigo-Elías y Enkerlin 2003, CONAGUA 2006, Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental *et al.* 2006), por lo que se tomarán en cuenta tres de estos factores (población humana, agricultura de riego y ganadería), en el análisis de los cuerpos de agua.

1.3. Objetivo.

Reunir información base sobre ambientes lacustres epicontinentales en formato vectorial para ArcInfo, que posteriormente pueda ser relacionada con los resultados obtenidos del análisis de las aves acuáticas.

1.4. Métodos.

1.4.1. Obtención de datos. Se obtuvo la cartografía digital y metadatos de los cuerpos de agua, regiones hidrológicas, hipsometría-batimetría, regiones hidrológicas prioritarias y división estatal del país de la página de CONABIO (www.conabio.gob.mx), así como gradículas de 1° y 0.5° para el país, en formato vectorial para Arc/Info. Para representar las actividades humanas, se obtuvo la cobertura de municipios (CONABIO 2004), los datos del conteo nacional de población humana del 2005 (INEGI 2005), la superficie de agricultura de riego a nivel municipal (SAGARPA 2005a) y el número de cabezas de ganado a nivel estatal (SAGARPA 2005b).

1.4.2. Procesamiento de cartografía base. Se realizó en ArcView GIS 3.2 (ESRI 1999). De la cobertura de cuerpos de agua se eliminaron los polígonos que correspondían a tierra y con ello se conformó una cobertura vectorial para el resto de los análisis. Se obtuvo la superficie en hectáreas y el centroide de cada polígono de los 787 cuerpos de agua. Para las actividades humanas se tomó como base la cobertura de municipio y se adicionó a su base de datos la información del conteo de población y la superficie de riego a nivel municipal, así como el número de cabezas de ganado a nivel estatal.

1.4.3. Intersección de coberturas. Se interseccionaron los polígonos de los cuerpos de agua con la cobertura de hipsometría y batimetría (INEGI *et al.* 1990) para obtener el intervalo de altitud de cada uno. Se realizaron por separado intersecciones de los cuerpos de agua con las coberturas de gradículas de 1°, 0.5°, división estatal y regiones hidrológicas, actualizando en cada una la superficie en hectáreas, por los polígonos que se cortaron en la intersección y realizando correcciones en caso necesario. Para las regiones hidrológicas, se decidió dividir en dos la región "Bravo-Conchos" porque las características geográficas que presentan en el Altiplano son diferentes a la región de la desembocadura al Golfo de México.

1.4.4. Análisis de información. Los datos resultantes de las intersecciones se procesaron por separado en Excel (Microsoft 2003b) y Access (Microsoft 2003a) para agruparlos por gradícula, latitud, longitud, intervalo de altitud, Estado, región hidrológica y región hidrológica prioritaria. Los nuevos datos se adicionaron al archivo Dbase de cada cobertura y con ellos se configuraron mapas y gráficos que representan la distribución de los cuerpos de agua. En el caso de los sitios RAMSAR se diseñó una cobertura vectorial de puntos y en el archivo dbase se resumieron las características por las que cada sitio es importante y sus amenazas. Para las actividades humanas, las coberturas integradas se representaron a nivel nacional en intervalos de población, superficie de riego y cabezas de ganado.

1.5. Resultados.

Los 787 cuerpos de agua analizados cubren una superficie de 20,409.085 km², la cual corresponde al 1.055% del territorio del país; 546 son costeros, principalmente lagunas costeras, y del resto, la mayoría (102) son epicontinentales muy cercanos a las costas. La representación en gradículas de 0.5° y 1°, permite observar de forma más clara las diferencias de los ambientes lacustres y costeros (Figs 1.5 y 1.6). A mayor detalle, es más evidente la escasez de cuerpos de agua grandes en varias regiones del país.

La sumatoria por latitud y longitud en la gradícula de 1° señala que toda la región norte, a pesar de las lagunas costeras presentes, sólo tienen humedales notables en presas del Altiplano, en Estados como Chihuahua, Coahuila, Durango y Tamaulipas. En la región central destacan la Laguna de Chapala y conjuntos de ambientes lacustres pequeños que en suma no superan las 10,000 hectáreas en Estados como Jalisco, Guanajuato, Estado de México, Hidalgo y Morelos, el resto de los humedales de gran extensión se concentra en el sureste del país: Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Fig 1.5).

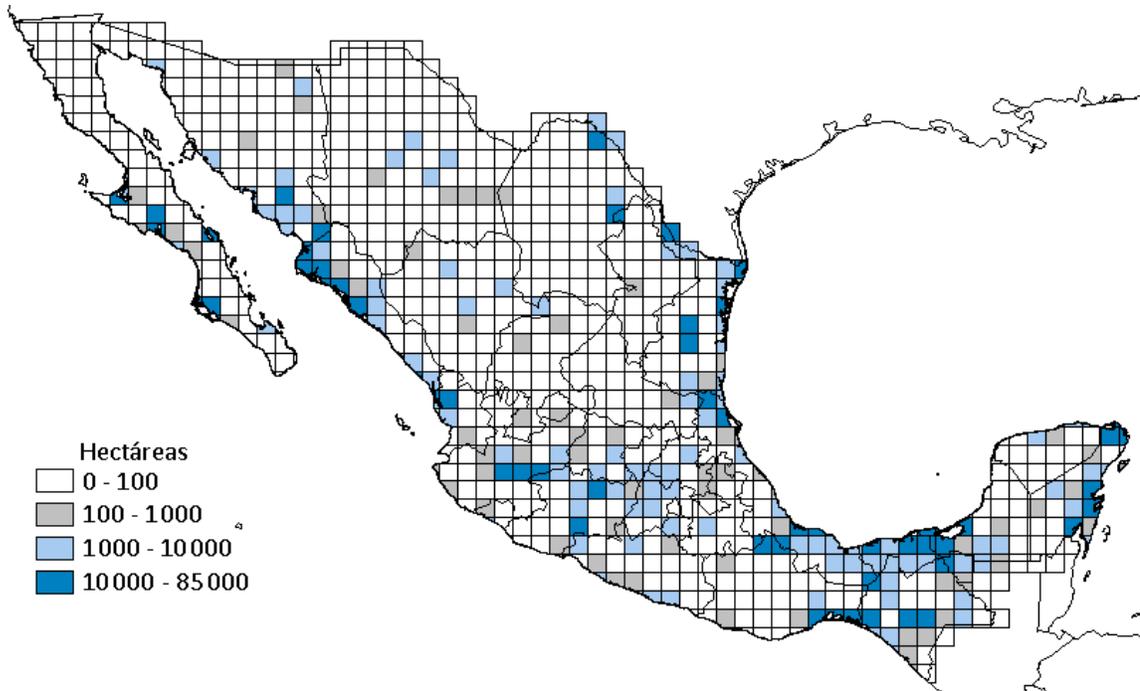


Figura 1.5. Superficie de cuerpos de agua en gradícula de 0.5°. Notar que las categorías de superficie están en escala logarítmica.

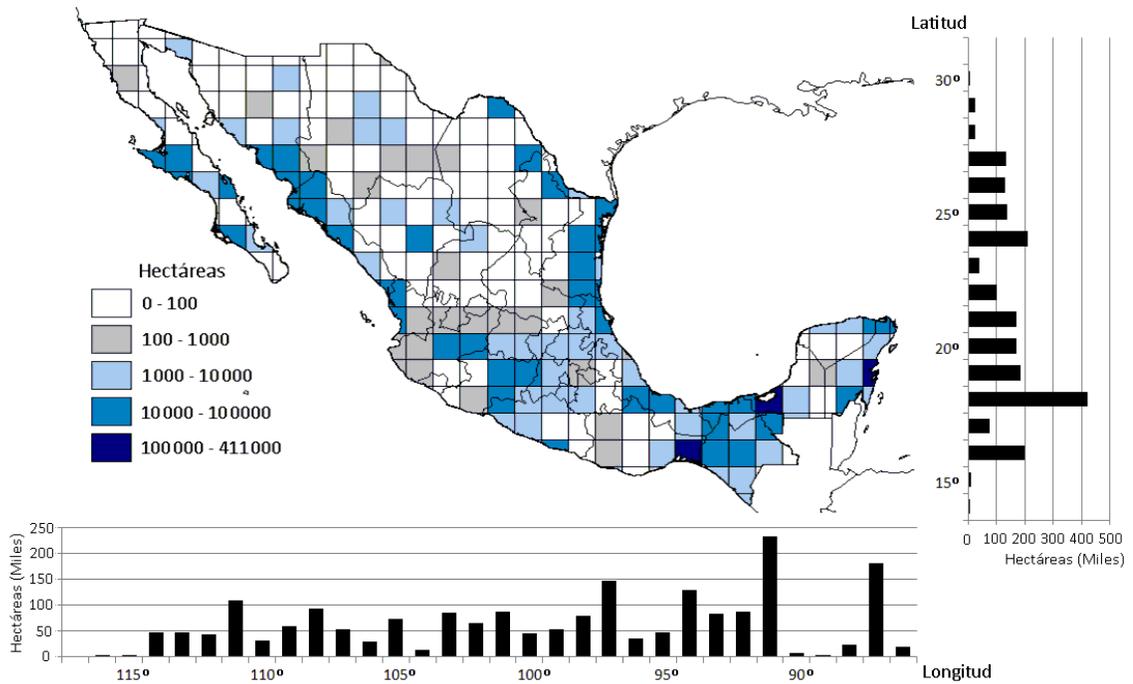


Figura 1.6. Sumatoria de superficie de cuerpos de agua en gradículas de 1° x 1 °.

Al relacionar los ambientes lacustres con la altitud, se observa que la mayor abundancia se concentra por debajo de los 200 msnm: costas y llanura costera del Golfo, con 648 humedales (16,5712.9 km², 81.2% del total); y entre los 1,000 y 2,500 msnm: Eje Neovolcánico y Región sur del Altiplano, con 97 humedales 2,542.8 km² (12.5% del total, Fig 1.7).

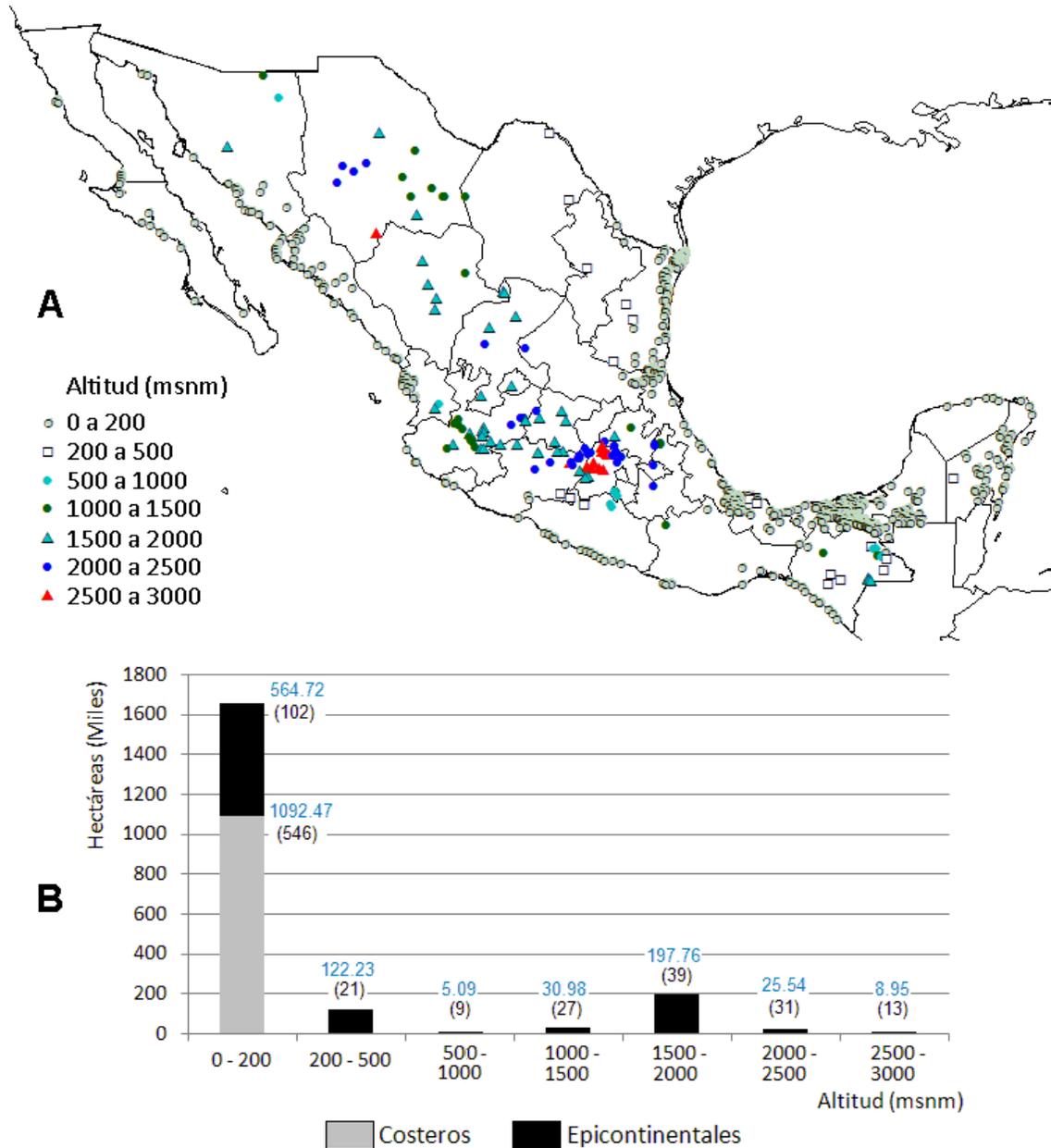


Figura 1.7. Clasificación de ambientes lacustres por altitud. **A.** Centroides de los cuerpos de agua por intervalo de altitud (msnm). **B.** Superficie (en azul) y número de cuerpos de agua costeros y epicontinentales (entre paréntesis).

Debido a que el símbolo empleado para los centroides puede estar sobreestimando la cercanía entre los humedales, se trazó un buffer de 5 km alrededor de cada uno, de este modo sólo quedarían unidos o cercanos si la distancia entre ellos era igual o menor a 10 km (Fig 1.8). Se observa que tanto en las costas como en el Eje Neovolcánico y parte sur del Altiplano, se forman sistemas de ambientes lacustres, aún cuando en el interior de país su extensión sea más reducida.

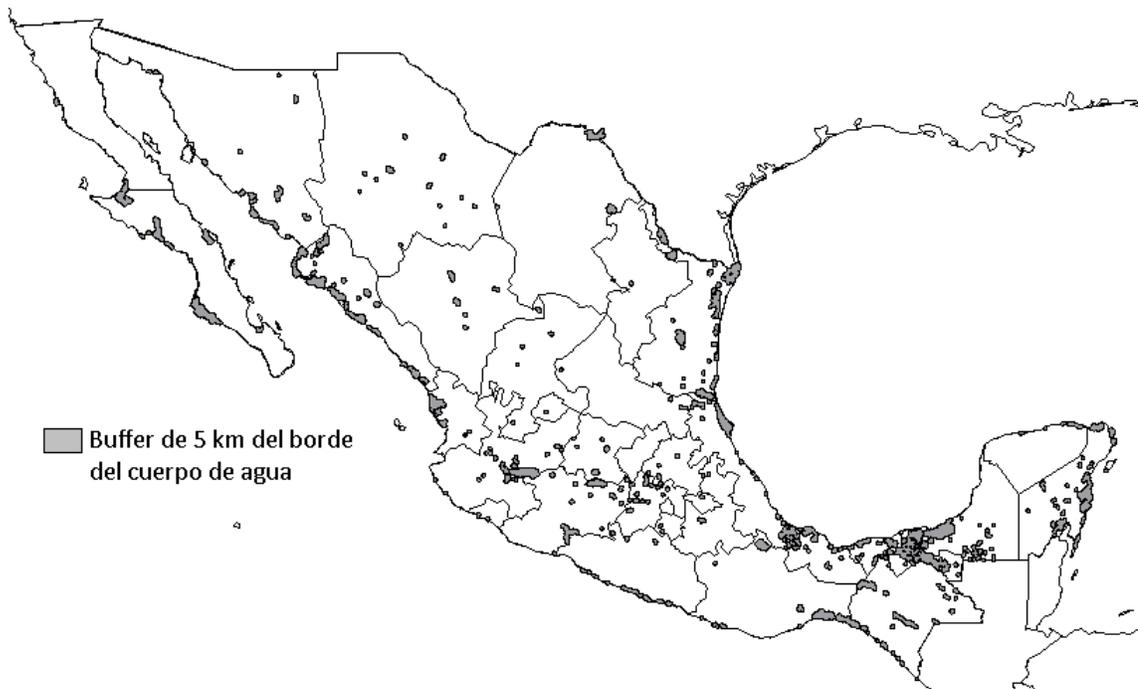


Figura 1.8. Buffer de 5 km alrededor de los cuerpos de agua, para mostrar el continuo que existe en las costas, parte del Eje Neovolcánico y sur del altiplano.

En cuanto a la superficie de cada cuerpo de agua analizado, la mayor parte (541, 69.7%) cubre una superficie menor de 500 hectáreas; sin embargo, aunque dominan en número los humedales pequeños, ocupan proporcionalmente una superficie pequeña: el 92.4% de los ambientes lacustres analizados (727), tienen menos de 5000 hectáreas y cubren en conjunto el 25.77% de la superficie total, en cambio, los 60 humedales restantes incluyen el 82.3% de la superficie considerada para el análisis (Fig. 1.9).

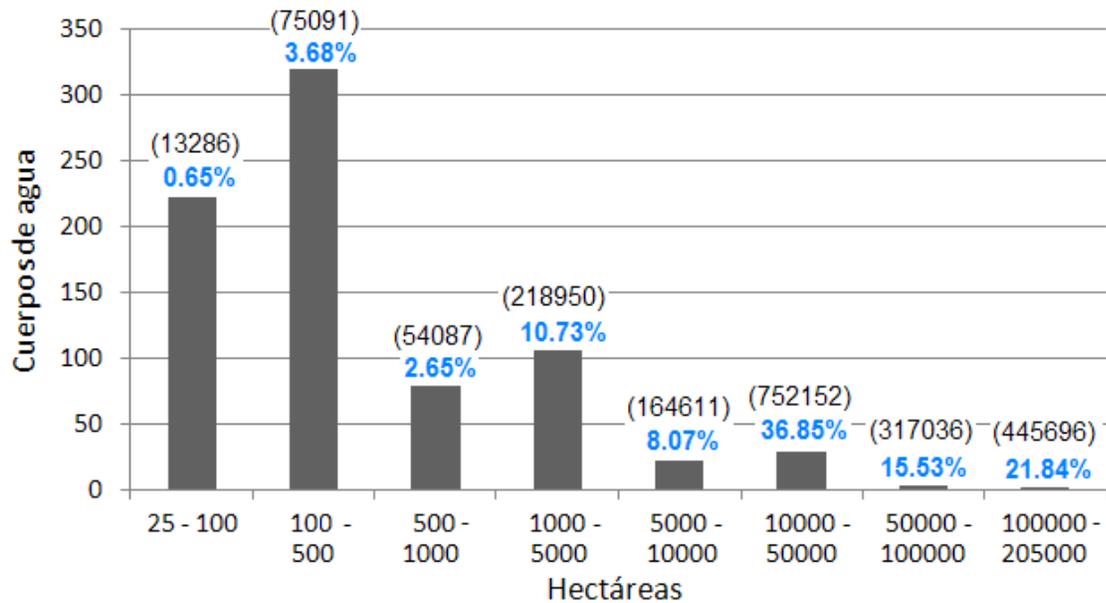


Figura 1.9. Número de cuerpos de agua por intervalo de superficie. Arriba de cada barra se anota entre paréntesis la sumatoria en hectáreas y en azul el porcentaje que representan de la extensión total de ambientes lacustres analizados.

La suma de la superficie de cuerpos de agua por Estado indica que las entidades más “secas” se concentran en la Altiplanicie, entidades al oriente del Eje Neovolcánico, Colima y Guerrero, todos ellos con menos de 50,000 hectáreas de superficie de cuerpos de agua. La gran diferencia en el norte y sur de la península de Baja California es porque se consideran las grandes lagunas costeras del sur. Los Estados con mayor superficie de cuerpos lacustres son Sinaloa, Veracruz, Campeche, Quintana Roo y Chiapas (Fig 1.10). No obstante, la superficie de ambientes lacustres es inferior al 4% de la superficie de estos Estados. Las cuatro entidades con más de 200 mil hectáreas conjuntan el 44.09% de la superficie de ambientes lacustres analizados (Fig. 1.11).

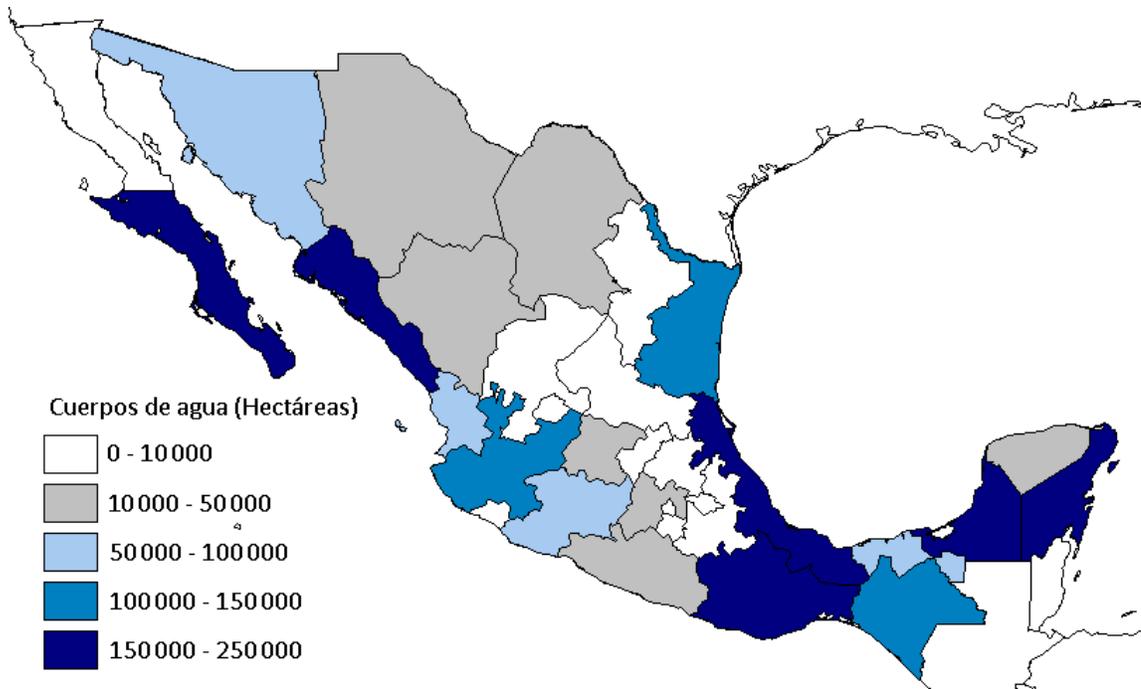


Figura 1.10. Superficie de ambientes lacustres por Estado.

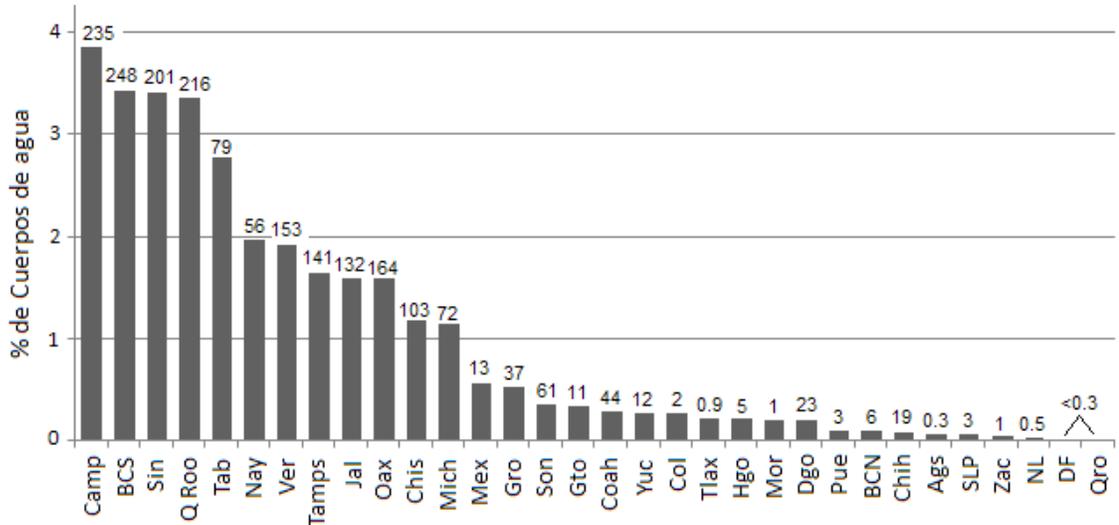


Figura 1.11. Porcentaje que representan los cuerpos de agua respecto al territorio de cada Estado. El número sobre cada barra representa la superficie aproximada de ambientes lacustres (miles de hectáreas).

La concentración de los ambientes lacustres cambia con las regiones hidrológicas; la división natural de las escurrantías nos indica que sólo una tiene más de 200 mil hectáreas (Grijalva-Usumacinta), cuatro entre 100 y 200 mil hectáreas (Baja California Suroeste, Sinaloa, Lerma-Santiago y Yucatán Este), el resto no superan las 100 mil hectáreas (Fig 1.12). Si comparamos con la figura 1.7, resulta de interés que la región hidrológica que cuenta con más superficie de cuerpos de agua epicontinentales fuera de la costa, es la región Lerma Santiago (1919.8 km²), seguida, en orden descendente de las regiones Balsas (438 km²) y Pánuco (413.4 km²) y Cuencas Cerradas del Norte (116 km²).

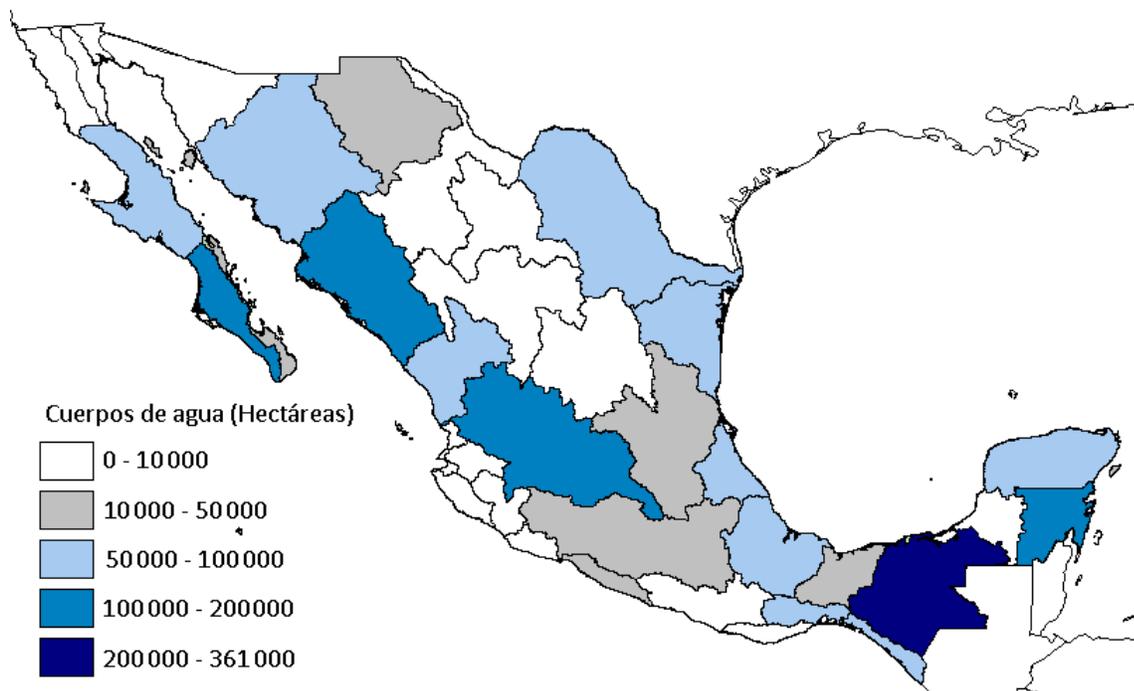


Figura 1.12. Superficie de cuerpos de agua por Región Hidrológica.

Acerca de las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP), al sobreponer a los polígonos de las RHP los cuerpos de agua, se observa que algunas como las de la Sierra Madre Occidental y la costa sur del Pacífico corresponden a muy pocos cuerpos de agua, de igual forma en la región del Golfo correspondiente a los Estados de Tamaulipas y Veracruz, así como en el Eje Neovolcánico, hay cuerpos de agua de extensión considerable que no pertenecen a ninguna RHP (Fig 1.13).

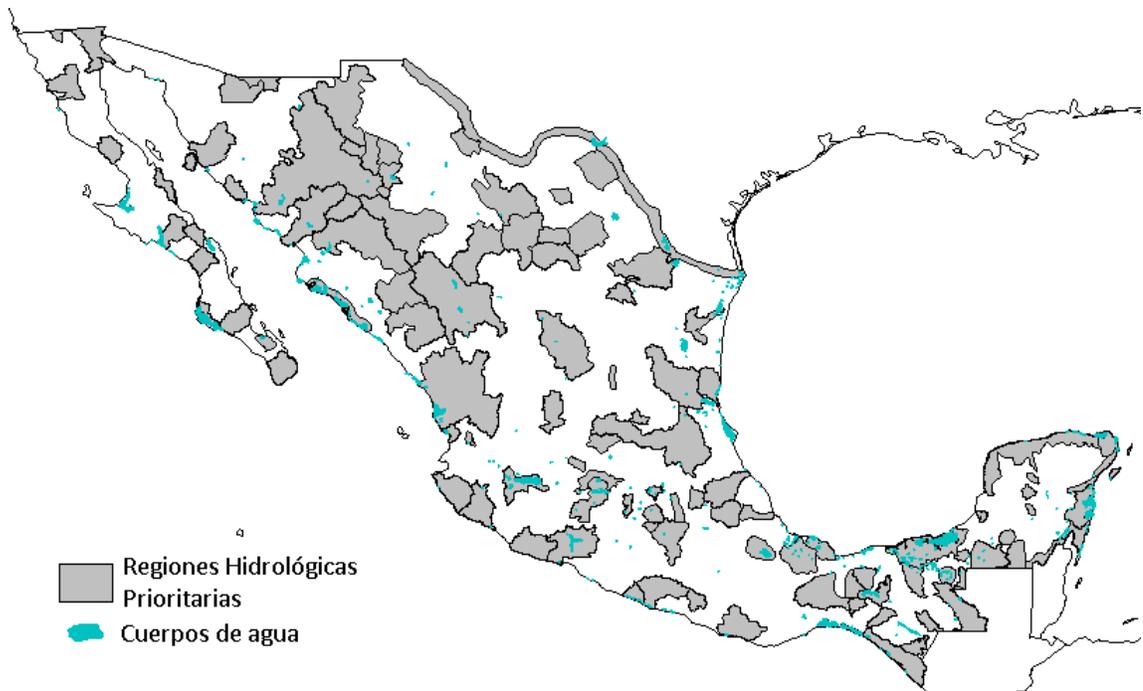


Figura 1.13. Regiones Hidrológicas Prioritarias y superficies de cuerpos de agua.

Respecto a la influencia de las actividades humanas, las mayores densidades de habitantes se concentran en el centro y sureste del país, además de algunas ciudades aisladas del norte (Fig 1.14A). En cuanto a la agricultura el panorama es distinto, porque las principales extensiones de riego se ubican hacia el norte del país (Fig. 1.14B). Por otra parte, aunque el nivel de información de las cabezas de ganado no es tan detallado, permite reconocer a Veracruz, Chiapas y Jalisco, como los Estados con más ganado; y que la mayoría de las entidades del país tienen más de medio millón de bovinos (Fig. 1.14C).

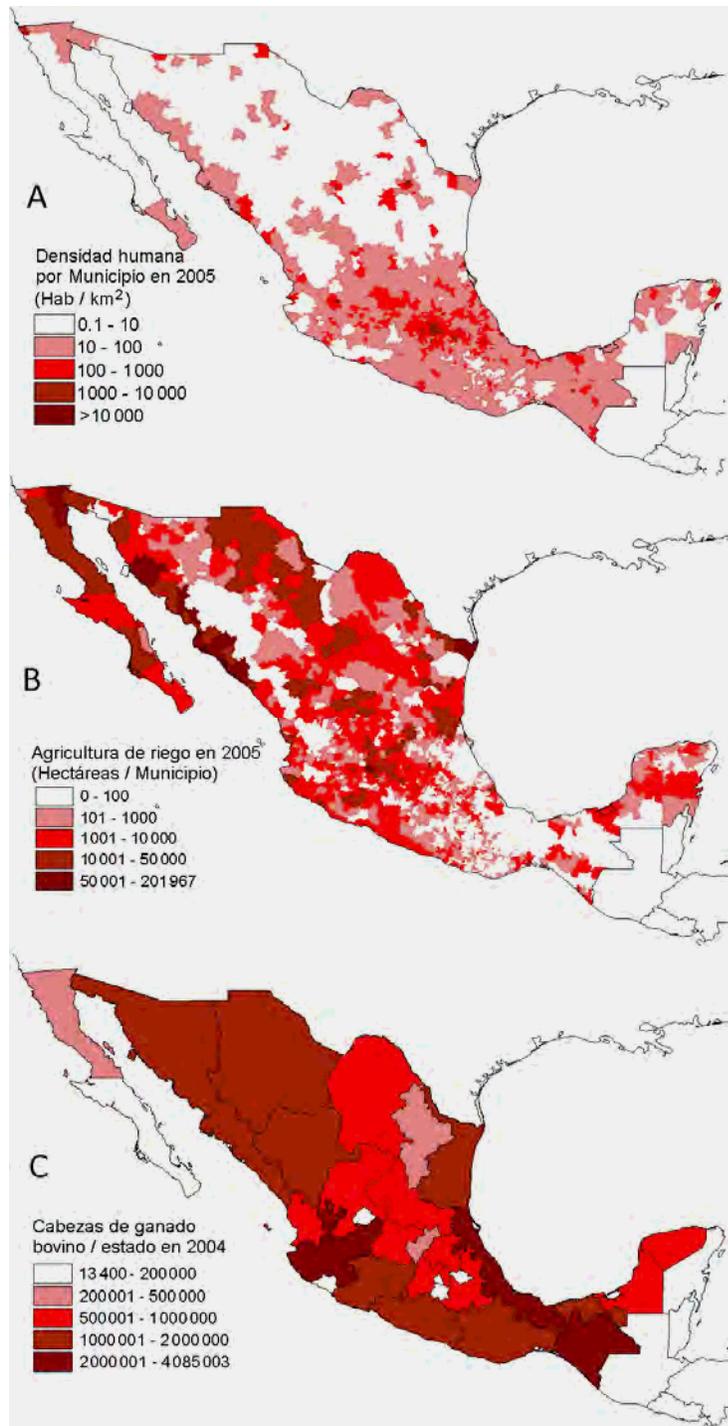


Figura 1.14. **A.** Densidad de la población humana por municipio, **B.** Superficie de riego por municipio en 2005; **C.** Número de cabezas de ganado por Estado en 2004 (integrado a partir de CONABIO 2004 con datos de INEGI 2005; SAGARPA 2005 a y b).

1.6. Discusión.

La información sobre humedales, áreas prioritarias y muchas otras fuentes consultadas, es muy heterogénea y se encuentra dispersa; esta situación es incluso reconocida a nivel internacional, donde nuestro país es señalado como una nación con elevada calidad de información sobre el agua pero escasa accesibilidad a ella (UNESCO 2006). La información disponible a nivel nacional, está más enfocada a los recursos y usos del agua por el hombre, la cantidad *per capita* en el país y la reducción en su disponibilidad (FEA *et al.* 2006, CONAGUA 2007).

El proyecto que integrará la información de los humedales naturales de México está aún en proceso, hasta el momento se ha publicado sólo parte de la información sobre la región del noroeste (Carrera y de la Fuente 2003) y se han realizado talleres para establecer la definición y clasificación de humedales (Berlanga-Robles y Ruíz-Luna 2004, INE 2004). Existen esfuerzos anteriores para realizar inventarios de humedales importantes para las aves a nivel regional (Almada *et al.* 1986), para México reconocen únicamente 39 humedales, todos costeros, pero enlistan otros 25, algunos costeros y otros de tierras altas de la “Región Neártica”.

La cobertura de ambientes lacustres empleada no es completa, pero si representativa, se calcula que México cuenta con 3,318,500 hectáreas de humedales, de los cuales 1,751,500 ha son de ambientes epicontinentales (Olmsted 1993); en los análisis presentados se incluyeron 2,040,908 ha de humedales, que representan el 61.5% de los humedales del país y 948,511 ha de ambientes epicontinentales (54.15% del total). Las diferencias encontradas son debidas a gran cantidad de pequeños humedales de <25 ha que no son considerados, así como ambientes de mayor extensión como el Delta del Río Colorado, que no aparece como cuerpo de agua y otros más del norte del país y humedales de Estados costeros como Tabasco.

Al realizar intersecciones entre las coberturas para analizarlas, en todos los casos se requirió hacer ajustes, debido principalmente a que los bordes de los polígonos no coinciden entre coberturas, este es un factor constante debido a la diferencia de detalle con que fueron digitalizados, particularmente al intersectar con los Estados. Es necesario para esta y otras aplicaciones, contar con homogeneidad en los polígonos, pero ninguno de los metadatos de las coberturas empleadas indican que se tenga prevista una actualización o mantenimiento (CONAGUA 1998a, 1998b).

No se contó con datos para comparar con las superficies de cuerpos de agua obtenidos; García-Calderón y de la Lanza-Espino (2002), señalan que en “*México hay 70 lagos grandes que cubren 370,891 hectáreas.... 14,000 reservorios, de los cuales el 83.5% tiene superficie menor a diez hectáreas*” –esto sería un máximo de 116,900 Ha, que sumadas a los lagos grandes serían poco menos de 0.5×10^6 Ha, mientras que “*los embalses mayores de 10000 hectáreas representan el 66% de la superficie inundada*”; en otros casos se presenta la capacidad en m^3 sin datos de superficie (Alcocer y Escobar 1996) que no pueden relacionarse con lo anterior.

Actualmente los sitios Ramsar cubren ocho millones de hectáreas, los 78 sitios ilustrados representan casi seis millones (Ramsar 2007, 2008), pero aquí se encuentran incluidas playas, islas y otros ambientes no considerados en el análisis. Es notable la tendencia a reconocer la importancia de los humedales interiores, aún cuando sean pequeños, porque aún cuando los de mayor extensión corresponden a ambientes costeros, los bordos o microembalses cubren más del 14% de la superficie inundada epicontinental (Hernández-Avilés 1995).

Las distintas formas de representar los cuerpos de agua brindaron aproximaciones complementarias. La *extensión* y los mapas en *gradículas* muestran la relevancia del detalle y la escala, y muestra alguna tendencia *longitudinal* y *latitudinal*; con la mayor superficie en el sureste, las costas y la región alrededor del Eje Neovolcánico. La distribución por *altitud* refleja la relación entre la topografía y los humedales y deja claro que hay numerosos cuerpos de agua de superficie muy pequeña, sobre todo en el centro del país, aunque por el pequeño porcentaje que representan, se ha dado más importancia a las lagunas costeras (Contreras 1985).

La *distribución estatal* y por *regiones hidrológicas* de los ambientes acuáticos epicontinentales, indica que disponemos de muy poca agua al interior del país. México, junto con las naciones de Centroamérica, son los de menor disponibilidad per cápita de agua en todo el continente americano, aunque no tan poca como en muchos países de África y Asia, porque a nivel mundial el agua “dulce” representa poco menos del 2.57% del total de agua (UNEP 2002).

Respecto a la relación de los ambientes lacustres con el hombre, es importante reconocer que existe una situación crítica en muchas cuencas, donde los cuerpos de agua no reciben el agua de manera natural, sino que es desviada y conducida para

emplearse en actividades humanas (agricultura, industria, termoeléctricas, redes de agua potable, turismo, SEMARNAT 2007), con efectos secundarios graves, por ejemplo, que en las regiones del norte, la presión sobre el recurso hídrico sea muy alta (42 al 86%), que el 16.7% de 443 estaciones de monitoreo estén contaminados o fuertemente contaminados de acuerdo a la DBQ5; 37.8% de las 429 estaciones de monitoreo se encuentren contaminados o fuertemente contaminados de acuerdo a la Demandas Química de Oxígeno y 6.4% de las 406 estaciones tengan contaminación por sólidos suspendidos; –respectivamente- y que de los 653 acuíferos con que cuenta el país, 104 estén sobreexplotados, 17 con intrusión marina y 17 en proceso de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres (CONAGUA 2006, 2007; SEMARNAT 2007). esto repercute en cuencas y regiones hidrológicas completas, y para las aves acuáticas implica modificación e incluso la pérdida de su hábitat (Carrera y de la Fuente 2003).

Las áreas urbanas ocupan menos del 1% del territorio nacional (SEMARNAT 2002), pero concentran la mayor parte de la población: hasta el 2005 el 76.5% de los mexicanos vivían en zonas urbanas (INEGI 2005). No obstante, las actividades humanas dejan su huella en todo el territorio; los mapas de densidad poblacional, actividad agrícola y ganadera reflejan la presión que existe sobre los recursos hidrológicos (SEMARNAT 2007). Hasta el 2006, el 76.8% de los 77.7 miles de millones de m³ se emplearon en la actividad agrícola, el 13.9% en abastecimiento público, 5.4% para termoeléctricas y 3.8% para la industria.

Los mayores volúmenes empleados corresponden a la región Lerma-Santiago Pacífico y el Balsas (CONAGUA 2007). En el caso de la ganadería, en algunos Estados la superficie ganadera ocupaba en la década pasada entre el 60 y 80%, sobre todo en los trópicos (Peña-Jiménez y Neyra-González 1998) y se calcula que una cabeza de ganado requiere para su producción (en promedio) 4,000 m³ de agua (UNESCO 2003). Estos datos reflejan la presión sobre los cuerpos de agua y por tanto sobre los hábitats de los que no sólo dependen las aves acuáticas, sino de múltiples formas de vida.

Muestra de las consecuencias de estos cambios en la dinámica de los sistemas, son las 75 Regiones Hidrológicas Prioritarias en las que se reconoce amenaza (tal vez deberían de llamarse Cuencas Hidrológicas Prioritarias, ya que no corresponden a las Regiones Hidrológicas administrativas). Otro ejemplo son los sitios Ramsar propuestos

(Ramsar 2008), de los cuales en muchos se reconocen amenazas por agricultura, cambio de uso de suelo, urbanización, turismo y problemas reconocidos de contaminación.

Es probable que otros cuerpos de agua tengan suficientes características para recibir atención como prioritarios y por ello el incremento de seis a 112 sitios Ramsar en menos de 10 años. Es notable que las aves acuáticas, a pesar de ser fauna típica y reconocible de humedales, no se mencionen en algunas fichas descriptivas de los sitios (Ramsar 2006, 2007, 2008), en cambio anotan como biota de importancia a tortugas marinas, felinos silvestres, murciélagos, monos, tapires, carpinteros u orquídeas y otro tipo de vegetación, otros si embargo, fueron designados precisamente por la presencia de aves acuáticas (Pérez-Arteaga *et al.* 2002).

A pesar de que instancias gubernamentales como la SEMARNAT (2007) presentan de manera integrada la problemática asociada no solo al agua, sino a todo el entorno, las acciones inmediatas no parecen suficientes y a cada momento esta demora hace más complicado e incluso mas caro implementar acciones de conservación (Fuller *et al.* 2007). Todo esto debe tomarse en cuenta para contrastar en el capítulo IV, donde se muestran los ambientes lacustres que resultan prioritarios para conservación por las aves acuáticas que presentan, de acuerdo con los modelos predictivos obtenidos.

1.7. Conclusiones.

Los ambientes lacustres analizados incluyeron el 54.15% de los humedales epicontinentales reconocidos y el 61.5% del total de humedales del país. Para estudios similares a nivel nacional, es necesario complementar los inventarios de humedales que incluyan aquellos menores de 25 hectáreas y otros cuerpos de agua mayores que no se toman en cuenta en la cobertura empleada. No se obtuvo la cantidad ni calidad de datos de aves que se esperaban de estas fuentes, pero se cumplió el objetivo de reunir las coberturas de la cartografía digital de ambientes lacustres para relacionar, en análisis posteriores, la riqueza de aves con la altitud, latitud, longitud, Estados y regiones hidrológicas, tanto administrativas como prioritarias.

II

SITUACIÓN DEL
CONOCIMIENTO
DE LA AVIFAUNA
LACUSTRE DE MÉXICO



Página anterior (en orden descendente):

Fulica americana con crías; *Mycteria americana* y *Megaceryle alcyon*;
Podilymbus podiceps; *Platalea ajaja*; *Anhinga anhinga*;
Ardea alba y *Phalacrocorax brasilianus*; *Charadrius vociferus*

Fotos: P. Ramírez-Bastida

II. SITUACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA AVIFAUNA LACUSTRE DE MÉXICO.

2.1. Introducción.

La avifauna de una región contiene especies que por su amplia distribución y adaptabilidad, no son representativas de un hábitat en particular, otras en cambio, dependen de los recursos propios de un ambiente y sólo ahí se presentan, tal es el caso de las aves acuáticas, conjunto heterogéneo de especies que tienen en común su dependencia dependen de un cuerpo de agua (léntico o lótico) para alimentarse, buscar refugio e incluso reproducirse (Eng 1985).

En México de las más de 1000 especies de aves (Peterson y Chalif 1999, Navarro-Sigüenza y Peterson 2004), poco más del 25% son *aves acuáticas*, y corresponden a las familias Anatidae, Gaviidae, Podicipedidae, Pelecanidae, Phalacrocoracidae, Anhingidae, Ardeidae, Threskiornithidae, Gruidae, Rallidae, Heliornithidae, Eurypygidae, Jacanidae, Charadriidae, Recurvirostridae, Scolopacidae, Laridae y Alcedinidae, y especies de familias de hábitos terrestres, que guardan relación con ambientes acuáticos, como *Pandion haliaetus*, *Rosthramus sociabilis*, *Cistothorus palustris*, *C. platensis*, *Cinclus mexicanus* y algunas especies de los géneros *Geothlypis* y *Melospiza*.

Como ya se mencionó, en el presente trabajo se nombran ambientes lacustres a todos los ambientes acuáticos epicontinentales, incluyendo lagunas costeras y ambientes artificiales como presas y embalses (Ramsar 1971). En ocasiones se mencionan como humedales o cuerpos de agua, pero siempre haciendo referencia a los presentes en el territorio continental.

Las aves acuáticas más estudiadas son los anátidos y otras especies grandes con importancia para la conservación (ej. grullas y flamings), o de importancia cinegética (ej. patos, gansos, rállidos, SEMARNAT 2005). Algunas especies han recibido atención particular, mientras que de otras se conoce muy poco, a pesar de que existen especies endémicas (Navarro-Sigüenza y Peterson 2004) y otras consideradas con categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2001 para México (SEMARNAT 2002) y en decline en Norteamérica (U.S. Fish and Wildlife Service 2007).

Existen iniciativas importantes en el país, para reunir información general sobre las aves y programas para su estudio y conservación, entre los más importantes están

el proyecto AICAS (Arizmendi y Márquez-Valdelamar 2000, CONABIO 2002), la iniciativa para la conservación de aves playeras, los monitoreos invernales que se realizan en coordinación con el Servicio de Vida Silvestre de Estados Unidos y “aVerAves”, proyecto conjunto CONABIO-NABCI y el Laboratorio de Ornitología de Cornell y la Sociedad Audubon (CONABIO 2006). La información de estos proyectos se mantiene aislada y aún cuando se han realizado talleres de actualización de estos datos, la información tarda en estar disponible para ser empleada como base para diseñar estrategias de conservación a distintos niveles. Es por ello que en este capítulo se integra la información publicada disponible, y el grupo de especies de aves acuáticas sobre las que se realizarán el resto de los análisis.

2.2. Objetivos.

- Seleccionar las especies sobre las cuales se realizarán modelos de distribución potencial.
- Reunir, depurar y sistematizar la información de las especies seleccionadas.
- Determinar la representatividad de la información a nivel de México, comparando los datos presentes en guías de campo, listados de AICAs y Atlas de las Aves de México.
- Analizar si los datos de las AICAs y del Atlas de las Aves de México permiten reconocer variaciones de riqueza relacionadas con la latitud y/o longitud.

2.3. Métodos.

2.3.1. Revisión de especies por hábitat. Selección de las especies para el resto del estudio. Del listado general de aves de México, con base en la propuesta taxonómica de la A.O.U. (1998), sus suplementos (Banks *et al.* 2002, 2003, 2004, 2006) y las modificaciones propuestas por Navarro-Sigüenza y Peterson (2004), se seleccionaron las aves ligadas a los ambientes acuáticos, tanto endémicas como de amplia distribución. Se separaron de acuerdo a su ambiente en lacustres, costeras y pelágicas, basado en el conocimiento que se tiene de las mismas y en literatura (del Hoyo *et al.* 1992, 1994, 1996, 2001, Howell y Webb 1995, Kaufman 1996). Algunas aves pueden estar en más de uno de estos hábitats, y por ello se formaron los siguientes grupos:

Lacustres, especies cuya distribución incluye principalmente sistemas lénticos interiores.

Lacustres-Costeras, aquellas con presencia en sistemas lénticos interiores y también en ambientes costeros.

Costeras-Lacustres, especies con distribución principal en ambientes costeros, pero que pueden estar presentes en sistemas lénticos interiores.

Costeras, especies con distribución principal costera y que se consideran accidentales en el interior de áreas continentales.

Costeras-pelágicas, especies con distribución marina o insular, que también frecuentan la costa,

Pelágicas, especies con distribución marina o insular, su presencia en la costa se considera accidental.

A partir de los hábitos reconocidos para estas especies, se seleccionaron las especies *Lacustres*, *Lacustres-costeras* y *Costeras-lacustres*, para obtener de ellas el resto de la información para el análisis.

2.3.2. Revisión de literatura. Se analizó la literatura sobre aves acuáticas en México, a partir de la base de datos de publicaciones (Rodríguez-Yañez *et al.* 1994, y trabajos más recientes que han sido recopilados como parte del proyecto Atlas de las Aves de México), que incluye algunos trabajos inéditos como tesis enfocadas a especies particulares y reportes internos, para reconocer las especies, localidades y tópicos de investigación desarrollados y aquellas de las que se tienen poca información. A cada cita se le asignó el tema más acorde a su contenido y las especies a las que hace referencia, a fin de obtener el número de publicaciones por tema y por especie, se asignó como tema *Biología* cuando se abordaban dos o más temas y en los casos de tratados generales de la especie. Se compararon en cada caso con las publicaciones a nivel familia, para evaluar la representatividad respecto al número de especies en cada caso. Estos datos fueron organizados en histogramas que permitieron reconocer los temas más abordados en investigaciones sobre aves acuáticas y las especies mejor estudiadas, así como aquellas de las que se carece de información.

2.3.3. Riqueza a partir de guías de campo. Las guías de campo proporcionan información general de las especies, en el caso de la de Peterson y Chalif (1999) la distribución para México es descriptiva y general, la National Geographic Society

(2000) presenta mapas sólo para el norte de México y Howell y Webb (1995), constituye una de las fuentes más empleadas para establecer la distribución de las especies en México y también fue la base principal para los mapas digitales de distribución de las aves de América en lo referente a México (Ridgely *et al.* 2003). Se emplearon estas fuentes para establecer la distribución de las especies; la presencia de la especie en cada entidad fue capturada en hojas de cálculo, para establecer la riqueza de aves acuáticas presentes por Estado y la similitud entre Estados, con el programa Biodiversity Pro, que emplea el índice de Jaccard para datos de presencia/ausencia (McAleece *et al.* 1997).

2.3.4. Especies de aves lacustres en AICA's. Otra fuente de información importante, son los listados de aves en las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs), obtenidos de la página electrónica de CONABIO (2002). Se obtuvieron las coordenadas con ayuda del SIG Arc View. Se separaron y organizaron las localidades con las especies seleccionadas para el análisis, esta información conformó el segundo grupo de datos para el análisis.

2.3.5. Ejemplares de aves lacustres en el Atlas de las Aves de México. El Atlas de las Aves de México es un proyecto que desde hace más de una década desarrolla el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, consistente en recopilar toda la información existente para las aves de México, recabando la información proveniente de museos de todo el mundo. La información de colectas de especies contenidas en la Base de Datos del Atlas de las Aves de México fue depurada para dejar sólo los ejemplares con datos completos (georreferencia, fecha de colecta) y posteriormente se agruparon por familia, especie, museo y período de colecta, para establecer la uniformidad o sesgo de la información. Para el análisis por localidad se organizaron de manera similar a las AICAS, en un mapa de la República Mexicana con gradículas de 1° latitud x 1° longitud.

2.3.6. Correlación de latitud y longitud con aves lacustres, datos de AICAs y Atlas. Los datos de especies acumuladas a partir de las AICAs y el Atlas de las Aves de México se graficaron por separado para cada grado de latitud y longitud. El comportamiento de los datos (especies vs latitud; especies vs longitud), fue analizado mediante distintos modelos de correlación con el programa JUMP (SAS Institute. 1995), para establecer

si la riqueza de aves acuáticas se relacionaba con los cambios en latitud y longitud, para esto se designan las siguientes hipótesis:

H_0 : No existe efecto de la latitud o longitud sobre la riqueza de especies acuáticas

H_a : Si existe efecto de la latitud y/o la longitud sobre la riqueza de especies acuáticas. En el caso de las hipótesis alternativas, se esperaría una reducción en la riqueza de aves acuáticas al aumentar la latitud y una mayor riqueza de especies cerca de las costas.

2.4. Resultados

2.4.1. Selección de especies.

Se detectaron inicialmente 297 especies ligadas a ambientes acuáticos, que se clasificaron en una o más categorías de acuerdo al tipo de hábitat en que se han registrado, como lacustres, costeras y/o pelágicas. Al determinar la similitud entre estos tres grupos de especies (Fig. 2.1), las aves pelágicas se separaron claramente del resto, mientras que los ambientes costero y lacustre presentan una similitud de 67.98%. Se eliminaron las especies pelágicas y costeras incluidas en los Ordenes Procellariiformes (albatros, fulmares y petreles), Pelecaniformes (fregatas, rabijuncos y bobos) y Charadriiformes (ostreros, estercorarios, gaviotas y chorlitos costeros).

Se eligieron las especies más asociadas a hábitats lacustres con registros en cuerpos de agua interiores, por ello se eliminaron a las Gaviiformes y Phoenicopteriformes, y especies costeras de otras familias, así como otras especies cuya biología indicaba mayor relación con hábitats terrestres, e incluso especies lacustres que no contaron con ejemplares en museos, quedando un grupo de 151 especies para los análisis posteriores (Fig. 2.2).

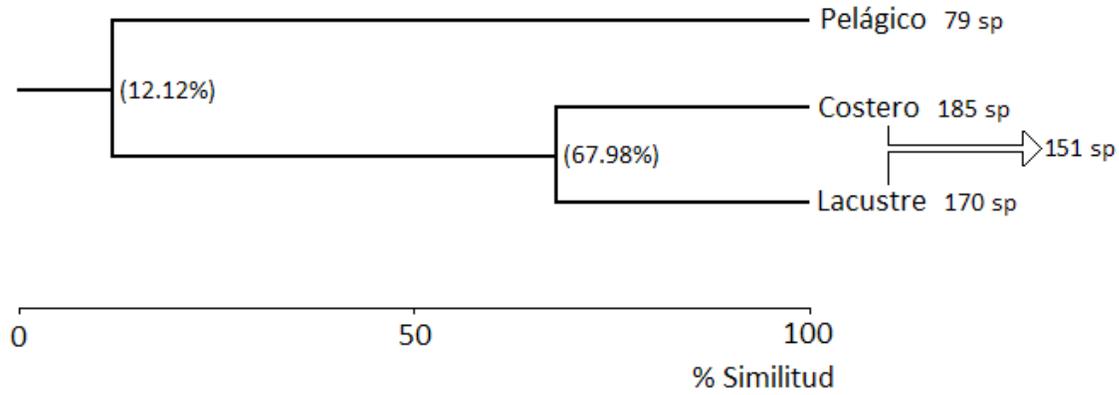


Figura 2.1. Análisis de Similitud de Jaccard, entre las especies de hábitats pelágico, costero y lacustre.

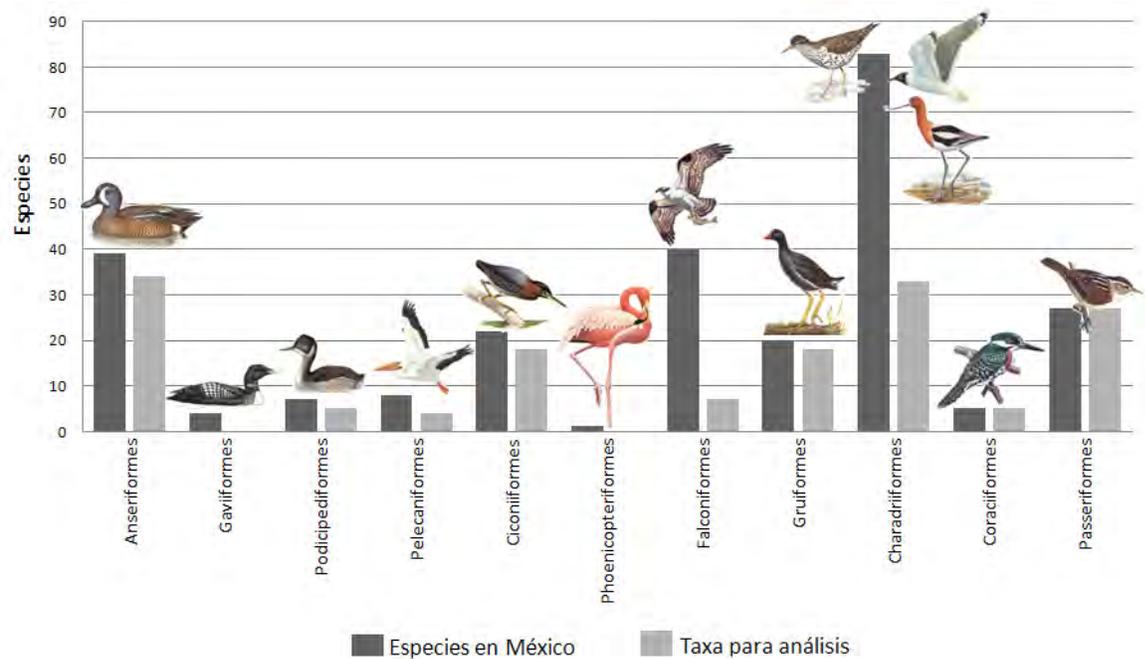


Figura 2.2. Riqueza de especies lacustres y costeras en México para en el presente estudio.

2.4.2. Revisión de literatura.

Respecto al análisis de literatura sobre aves acuáticas, de las 5799 referencias que se tienen para México, se identificaron 493 que mencionan o abordan una o más de las 151 especies seleccionadas. No existen publicaciones para 23 especies, la gran

mayoría (89) de las 151 especies, tienen de una a cinco referencias en la literatura y solo 17 especies tienen 10 o más publicaciones (Fig. 2.3).

A excepción de los pelícanos y cigüeñas, el resto de las especies son mencionadas o estudiadas en menos de 10 publicaciones, pero dentro de cada familia también hay grandes diferencias, las especies citadas son, en orden descendente *Pelecanus occidentalis* (29), *Pandion haliaetus* (24), *Melospiza melodia* (23), *Jabiru mycteria* (19), *Ardea herodias* (17), *Agelaius phoeniceus* (16), *Haliaeetus leucocephalus* (15) y *Dendrocygna autumnalis* (15), el resto tienen 13 o menos artículos o publicaciones. En el otro extremo se encuentran especies relativamente comunes como *Gallinago gallinago*, *Porphyrio martinica* y *Tringa flavipes*, junto con especies de distribución más restringida como *Eurypyga helias*, todas ellas sin publicaciones.

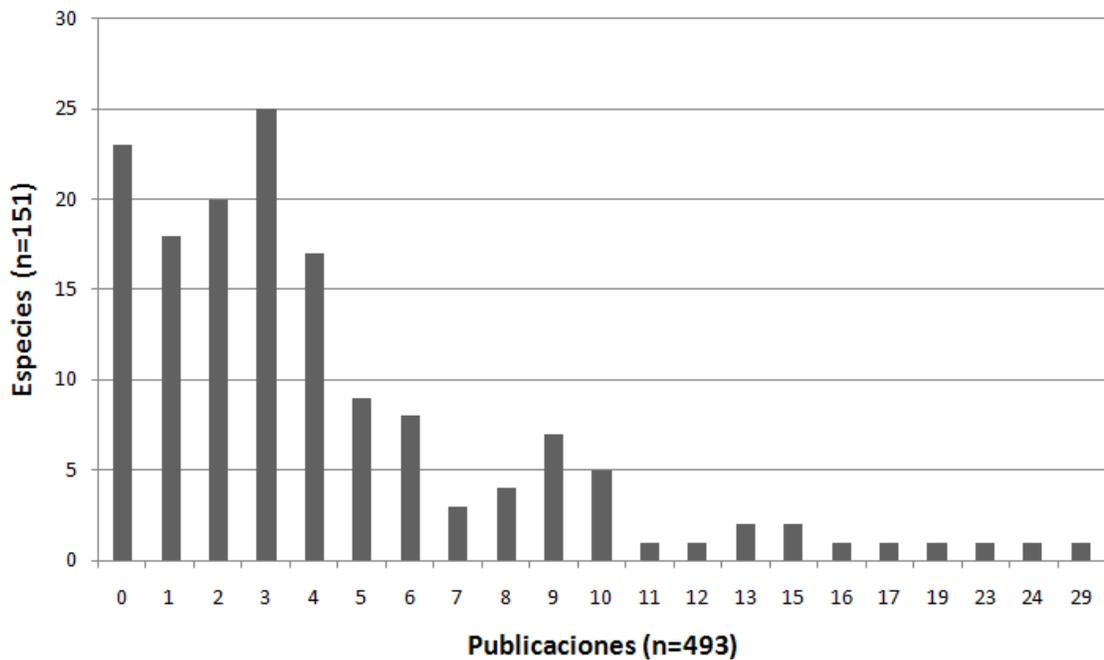


Figura 2.3. Número de publicaciones para las 151 especies lacustres empleadas en el análisis, 23 especies no cuentan con publicaciones.

Las especies acuáticas en general están mal representadas en la literatura: el total de especies incluidas en las familias seleccionadas para el análisis (525), representan casi el 50% de las especies de México, mientras que el número total de publicaciones sobre estas (1499), corresponde a poco más del 25% de la literatura

producida (Cuadro 2.1). No obstante, la mayoría de las especies seleccionadas están bien representadas, ya sea porque la familia esta constituida por las especies seleccionadas (Podicipedidae, Pelecanidae, Anhingidae, Ciconiidae, Heliornithidae, Aramidae, Gruidae, Recurvirostridae, Jacanidae, Alcedinidae, Cinclidae) o porque se trata de las pocas especies que en México tienen numerosos estudios.

Cuadro 2.1. Comparación de la representatividad de las publicaciones generadas para las 151 especies acuáticas respecto al total publicado en México para la familia.

ORDEN	FAMILIA	Total para México a nivel familia			Especies incluidas en el análisis			Comparación*
		Citas	Especies	Citas/especie	Citas	Taxa	Citas/especie	
Anseriformes	Anatidae	125	39	3.2	102	34	3	↓
Podicipediformes	Podicipedidae	38	7	5.4	35	5	7	↑
Pelecaniformes	Pelecanidae	36	2	18	36	2	18	≈
	Phalacrocoracidae	20	4	5	8	1	8	↑
	Anhingidae	3	1	3	3	1	3	≈
Ciconiiformes	Ardeidae	107	18	5.9	70	14	5	↓
	Threskiornithidae	19	3	6.3	11	2	5.5	↓
	Ciconiidae	24	2	12	24	2	12.0	≈
Falconiformes	Accipitridae	165	40	4.1	55	7	7.9	↑
Gruiformes	Rallidae	52	15	3.5	34	13	2.6	↓
	Heliornithidae	5	1	5	5	1	5	≈
	Eurypygidae	0	1	0	0	1	0	≈
	Aramidae	5	1	5	5	1	5	≈
	Gruidae	13	2	6.5	13	2	6.5	≈
Charadriiformes	Charadriidae	30	11	2.7	11	6	1.8	↓
	Recurvirostridae	9	2	4.5	9	2	4.5	≈
	Jacanidae	3	1	3	3	1	3	≈
	Scolopacidae	65	34	1.9	29	16	1.8	↓
	Laridae	125	35	3.6	30	8	3.8	↑
Coraciiformes	Alcedinidae	10	5	2	10	5	2	≈
Passeriformes	Tyrannidae	174	75	2.3	1	2	0.5	↓
	Hirundinidae	42	13	3.2	4	1	4	↑
	Troglodytidae	126	33	3.8	7	4	1.8	↓
	Cinclidae	3	1	3	3	1	3	≈
	Motacillidae	8	6	1.3	5	2	2.5	↑
	Parulidae	159	65	2.4	22	9	2.4	≈
	Emberizidae	243	75	3.2	22	5	4.4	↑
	Icteridae	118	33	3.6	18	3	6	↑
Totales**		1477	525	2.8	493	151	3.3	↑

* ↓, ↑, ≈, indican respectivamente menor, mayor o igual número de citas/especie en las aves seleccionadas para el análisis respecto a las que se tendrían considerando todas las especies de la familia en México.

** Se indican las citas distintas, algunas incluyen más de una especie, por lo que la sumatoria daría un número mayor de citas.

La temática de la literatura es variada, la mayor parte señala presencia o amplia el área de *distribución* de las especies. En segundo lugar están las que tratan aspectos de *biología*, estos dos temas, junto con estudios de *ecología*, *reproducción* y *taxonomía*, constituyen el 69% de las publicaciones (Fig. 2.4). En muchas de las publicaciones sobre *distribución*, únicamente se hace mención de un nuevo registro del ave fuera de su área reconocida; este tipo de información es valiosa para el presente estudio, porque indica que no conocemos a detalle las áreas donde las especies se distribuyen.

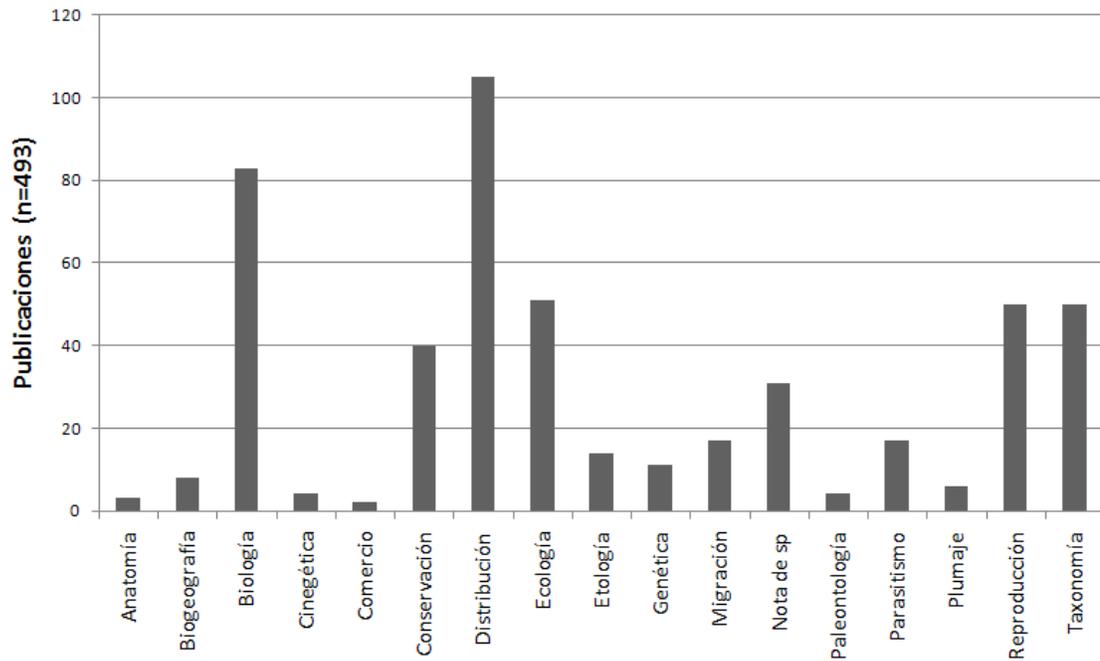


Figura 2.4. Temática de las 493 publicaciones sobre las 151 especies de aves lacustres empleadas en el análisis.

2.3.3. Riqueza a partir de guías de campo. La distribución en los Estados de las especies seleccionadas, a partir de la distribución propuesta por Howell y Webb (1995), indica que el altiplano tiene la menor riqueza, mientras que la mayor corresponde al noroeste, costa del Golfo de México hasta el Istmo de Tehuantepec, y a los Estados de Nayarit y Jalisco (Fig. 2.5).



Figura 2.5. Riqueza específica a nivel estatal, de las 151 aves lacustres y costeras seleccionadas (basado en Howell y Webb 1995).

El análisis de cúmulos de Bray Curtis con el programa Biodiversity Pro (McAleece 1997), a partir de la presencia de especies por Estado, permitió separar grupos de Estados por un lado los del noroeste, por otra parte los del resto del Pacífico y en otro grupo los Estados del Golfo de México. Los Estados del centro son similares entre sí y corresponden a los de menor riqueza de aves lacustres (Fig. 2.6).

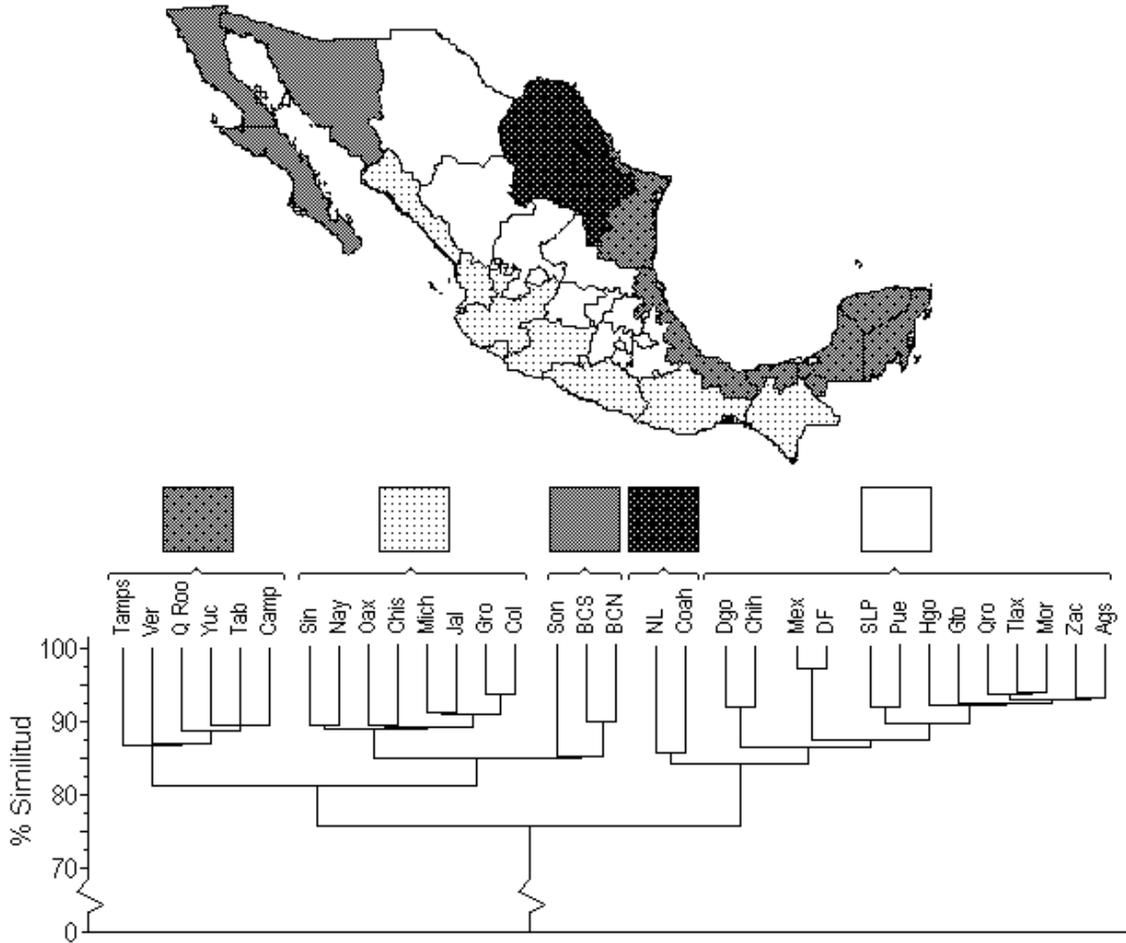


Figura 2.6. Similitud por la presencia de aves acuáticas. Análisis de Bray Curtis, basado en la presencia de especies por Estado (basado en Howell y Webb 1995).

2.3.4. Aves lacustres con base en AICA's. Se obtuvieron 167 AICAs, que incluyen al menos una de las especies de interés, en un total de 4964 registros. Como las localidades son puntuales en la mayor parte de los casos y no se distinguen en un mapa, se asignaron los valores de riqueza del AICA en una gradícula de 1°x1° y de esa forma se observa a gran escala los sitios donde se han reconocido cuerpos de agua importantes para las aves de ambientes lacustres (Fig. 2.7).

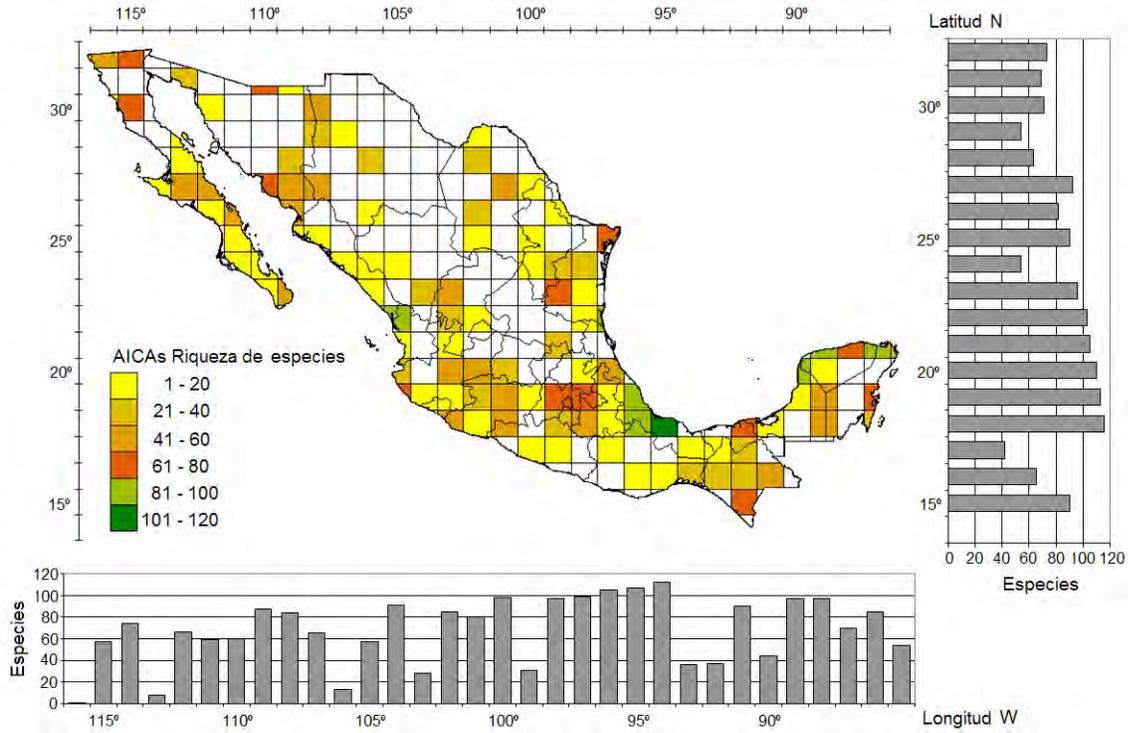


Figura 2.7. Riqueza de aves lacustres en gradículas de 1° x 1°, de acuerdo con los inventarios de las AICAs (basado en CONABIO 2002).

2.3.5. Aves lacustres en el Atlas de las Aves de México. Se presentan los resultados para cada apartado.

2.3.5.1. Ejemplares por Especie. La representatividad de especies acuáticas es baja en las colecciones, de las 1219 especies consideradas en el Atlas de las Aves de México, casi el 19.7% (240) son de hábitos acuáticos (incluyendo costeras y pelágicas), sin embargo, los ejemplares de estas especies en museos corresponden a menos del 9% de las colectas. En contraste, los ejemplares de paserinas, superan con mucho el porcentaje que le correspondería si fuera proporcional al número de especies (Fig. 2.8). Se inició el presente estudio con una base de 255,741 datos, pero a fines del año 2003 la base se había incrementado hasta 332,602 datos, por lo que fue necesario realizar nuevamente parte de los análisis.

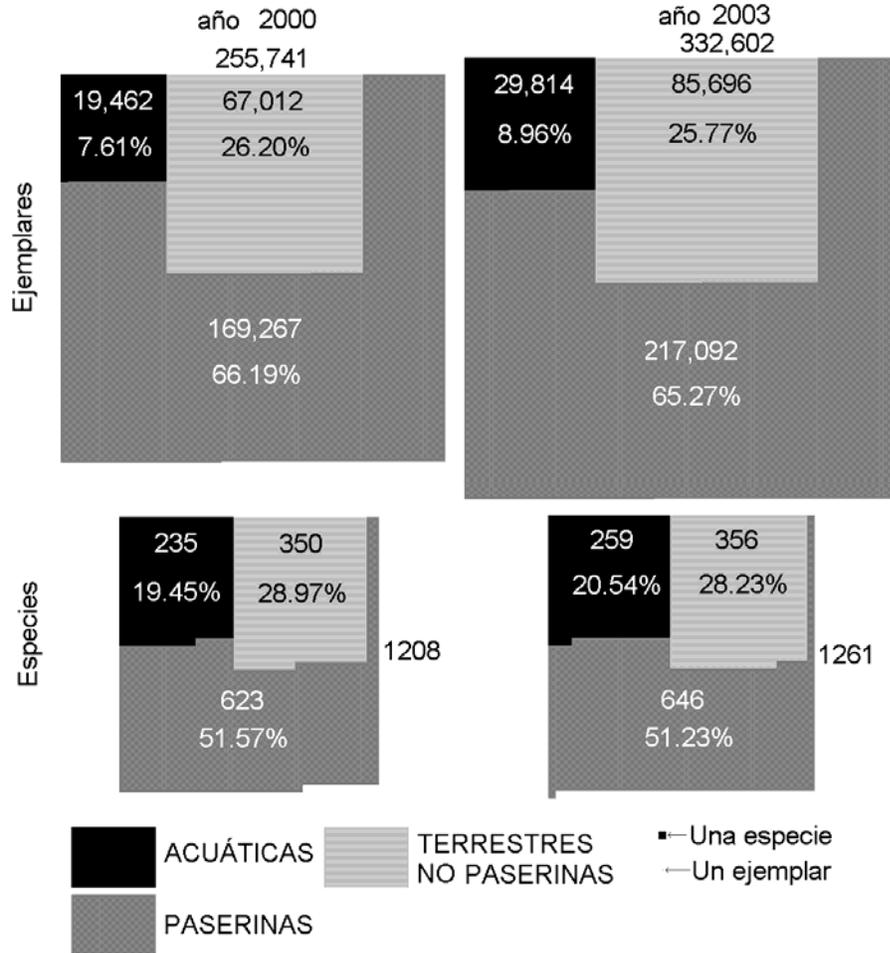


Figura 2.8. Comparación del número de especies acuáticas y la proporción de ejemplares de estas especies en colecciones científicas.

Existen grandes diferencias en la colecta a nivel familia. Al esquematizar el total de la base de datos a nivel familia, donde cada punto corresponde a un ejemplar (Fig 2.9), resulta evidente que muchas familias, en particular las que corresponden a especies acuáticas, tienen baja representatividad en colecciones, que en general son dominadas por ejemplares de Passeriformes. Esto indica grupos de aves que requieren una mejor representación en colectas u otro tipo de estudios.

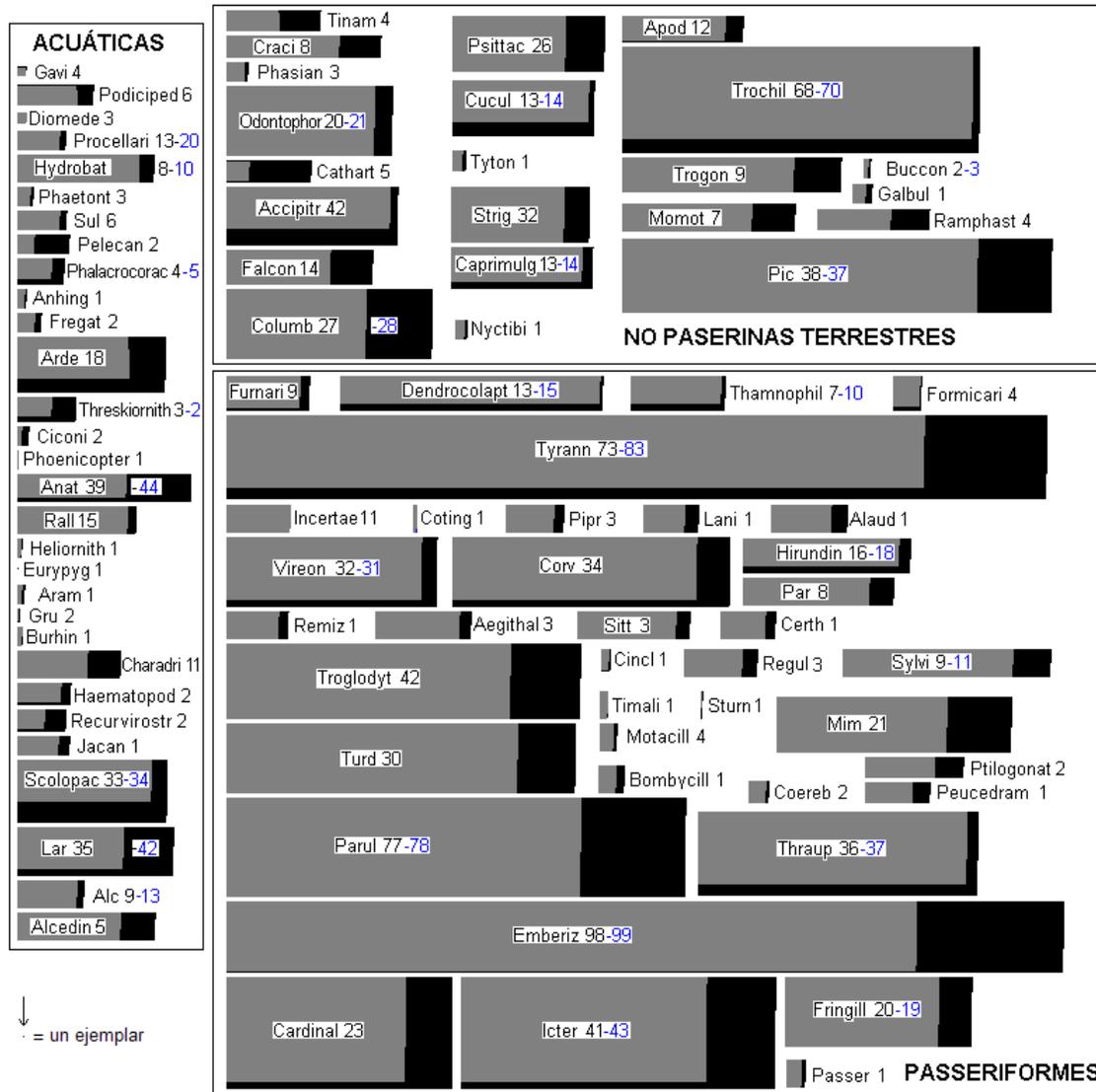


Figura 2.9. Representatividad de colectas en la base del Atlas de las Aves de México. Los números indican las especies por familia y el tamaño proporcional del rectángulo indica el número de colectas. **Área gris-** base hasta el 2000, **Área negra-** incremento hasta el 2003. Los números después del guión indican incremento en el número de especies.

El número de ejemplares por familia de las especies seleccionadas tuvo grandes variaciones (Fig. 2.10), con algunas especies muy bien representadas, por ejemplo algunas garzas, chorlitos y playeros, mientras que de otras los ejemplares en museo son muy escasos.

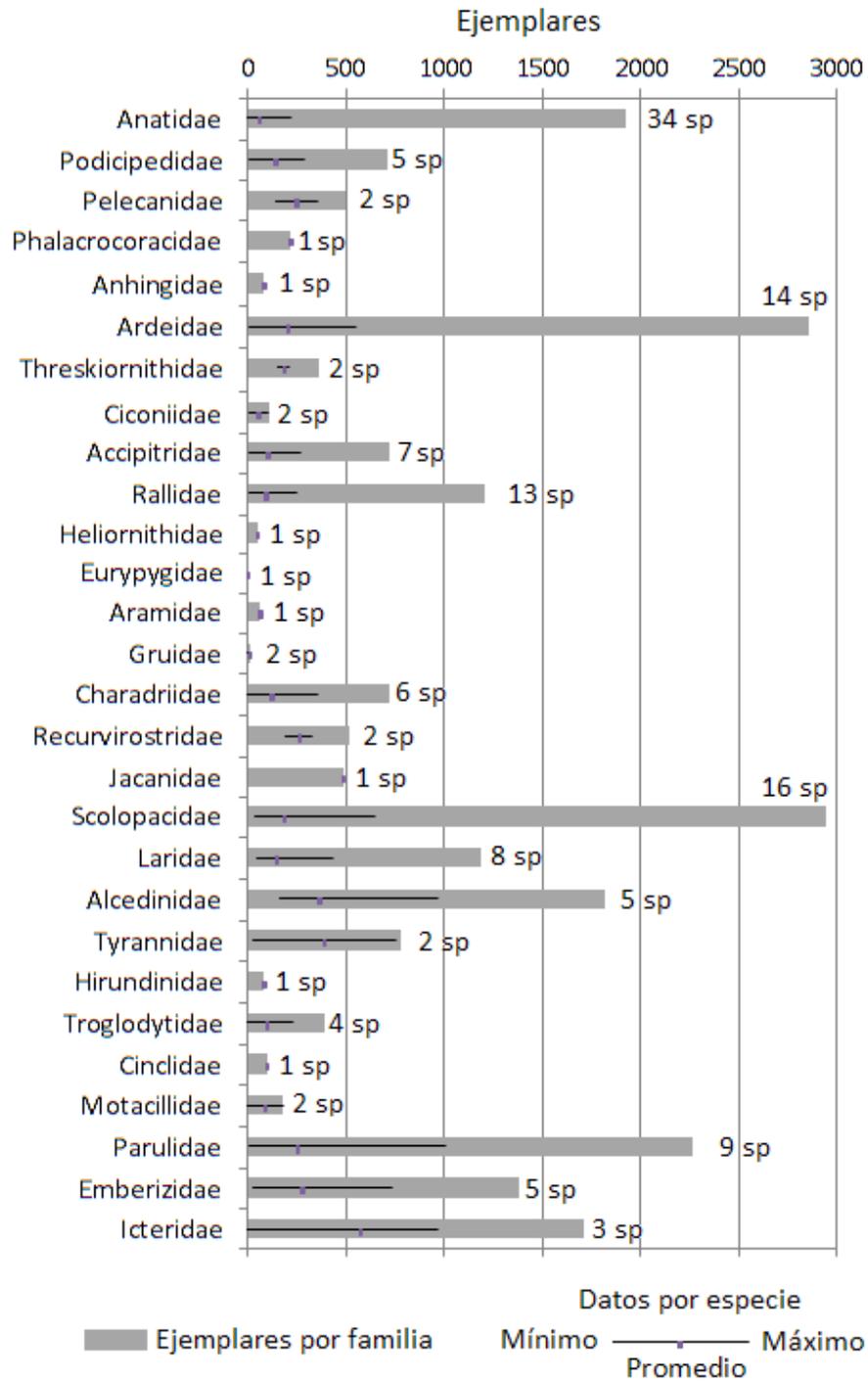


Fig. 2.10. Distribución de los 23 412 ejemplares por familia. Se anota el número de especies de cada familia y datos por especie (promedio, mínimo y máximo).

2.3.5.2. Ejemplares en el tiempo. Otro aspecto importante, fue establecer la representatividad de las colectas a través del tiempo ya que puede determinar sesgos en la información. El Apéndice 2.1 detalla la información de los ejemplares por década y por especie. Las colectas más antiguas – aunque escasas- provienen de mediados del siglo XIX, las colectas fueron en incremento con una reducción durante los años de la Revolución Mexicana. El período de mayor colecta de las especies seleccionadas, fue entre 1991 y 2000, con 5302 ejemplares en museos. Es evidente la falta de colectas para algunas especies y familias de aves, por ejemplo Ciconiidae, Anatidae, Scolopacidae y Laridae, estas diferencias y el efecto que pueden tener en el análisis se analizarán en el siguiente capítulo.

2.3.5.3. Ejemplares por Museo. Otro aspecto importante, fue establecer la representatividad por museo y por especie, ya que esto también determina sesgos en los datos por especie. Esta información se detalla en el Apéndice 2.2. El museo con más ejemplares de las especies seleccionadas, colectados en México, es el Bell Museum of Natural History, de la Universidad de Minesota (1,956 ejemplares), otros museos con más de 1,000 ejemplares son American Museum of Natural History, el British Museum of Natural History, el Instituto de Ecología y Alimentos de la Universidad de Tamaulipas, el Museum of Comparative Zoology y el Moore Laboratory of Zoology. El número de ejemplares en el resto de los museos es menor a mil.

2.3.5.4. Ejemplares por localidad. Las localidades se agruparon en gradículas de 1° latitud x 1° longitud. Existen diferencias en la colecta por Estado, algunos como Aguascalientes, Morelos, Tlaxcala, Querétaro y Zacatecas tienen representatividad baja de aves acuáticas en colecciones. Debido a las diferencias en el número de ejemplares por especie, sólo se consideró la presencia (Fig. 2.11). La representatividad en el país es mayor que con el mapa de AICAs, pero los intervalos de riqueza son menores.

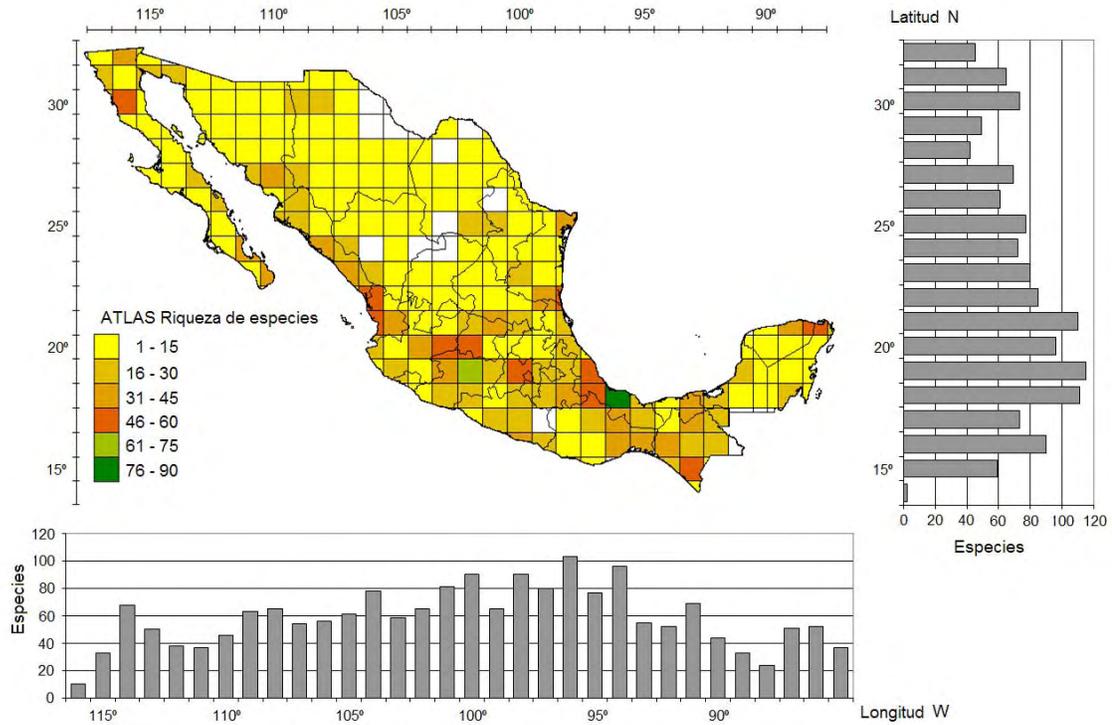


Figura 2.11. Mapas de coordenadas de 1° de latitud por 1° de longitud de las colectas en museos. Los colores corresponden al intervalo de especies registradas en cada gradícula. Las gráficas de la derecha y de la parte inferior, indican el número acumulado de especies distintas que se registra en cada línea de latitud y longitud, respectivamente.

2.3.6. Correlación de latitud y longitud con aves lacustres, datos de AICAs y Atlas.

A partir de los datos de las figuras 2.7 y 2.11, se correlacionó la riqueza con la latitud y longitud, a partir de los datos del Atlas y las AICAS (Fig. 2.12). El comportamiento de los datos no se explica con los modelos sencillos conocidos (lineal $r^2 = 0.0097$, exponencial $r^2 = 0.05$), en cambio, los datos de riqueza-latitud se ajustan a una ecuación cúbica, con un mejor ajuste para los datos del Atlas ($r^2 = 0.776$, $F_{(0.05,3,15)} = 17.33$, $p < 0.0001$, Fig. 2.12 A), que para las AICAS ($r^2 = 0.5594$, $F_{(0.05,3,15)} = 6.348$, $p = 0.0054$, Fig. 2.12 B), La correlación con la longitud fue cuadrática (para el ATLAS $r^2 = 0.6036$, $F_{(0.05,2,30)} = 22.842$, $p < 0.001$, Fig. 2.12 C), para las AICAS fue más baja ($r^2 = 0.254$, $F_{(0.05,2,30)} = 5.106$, $p = 0.0123$, Fig. 2.12 D). Las ecuaciones que predicen con mayor precisión la riqueza específica a partir de la de latitud (Lat) y la longitud (Long) se obtuvieron con los datos del Atlas:

$$\text{Especies} = -1614.7 + 224.589 (\text{Lat}) - 9.51815 (\text{Lat})^2 + 0.12939 (\text{Lat})^3.$$

$$\text{Especies} = -1981.5 - 40.871 (\text{Long}) - 0.20295 (\text{Long})^2.$$

Los resultados apoyan la Ha, de si existe una relación entre la latitud y la longitud con la riqueza de aves acuáticas, pero esta relación es compleja.

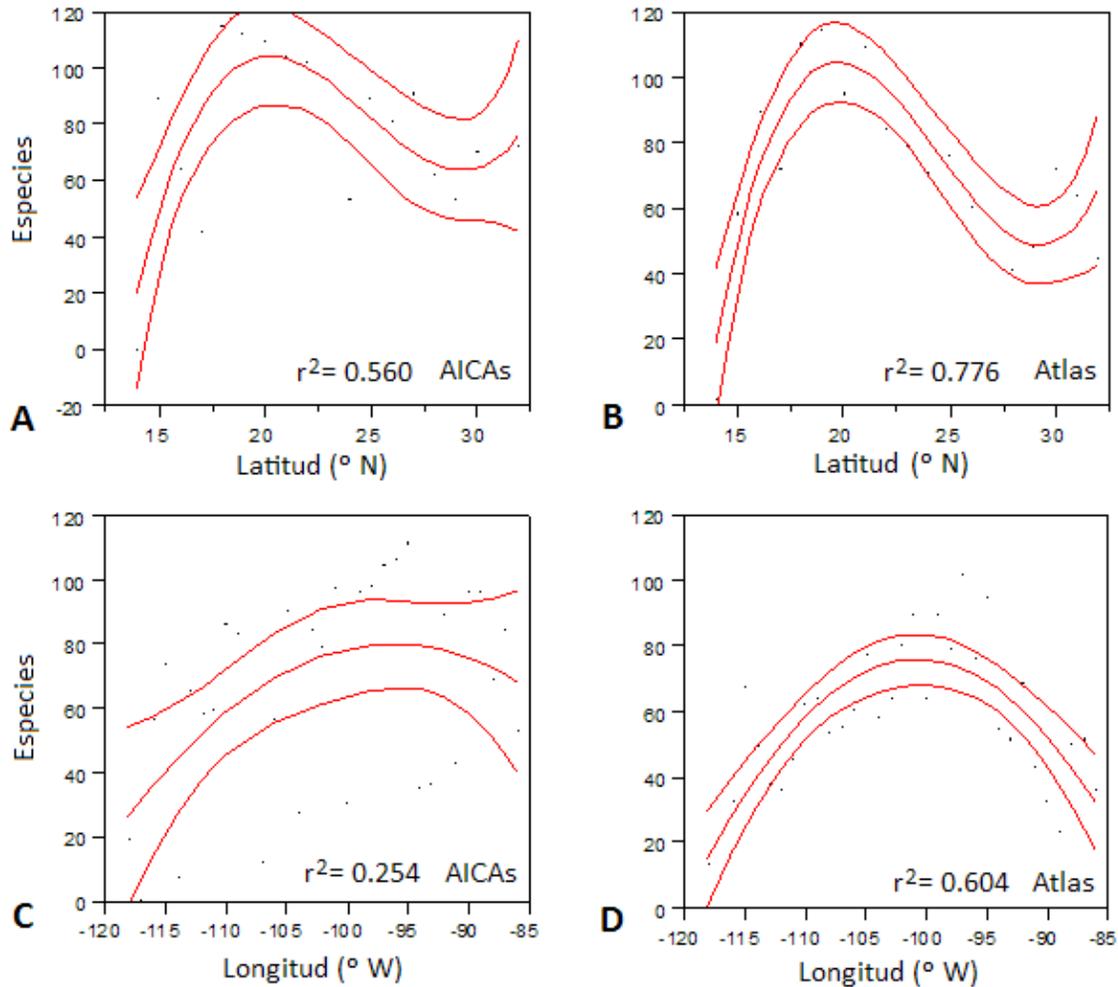


Figura 2.12. Correlaciones entre latitud y longitud con la riqueza específica de aves lacustres con datos de las AICAs (A, C) y del Atlas (B, D). Las líneas rojas indican el ajuste para el modelo cúbico y los intervalos de confianza (95%).

2.5. Discusión.

El análisis de conjuntos grandes de especies ligadas a un ambiente en particular no es novedad, ya se ha realizado por ejemplo para la avifauna residente de la península de Baja California (Rojas-Soto *et al.* 2003), para regiones particulares (Feria y Peterson 2002, García-Trejo y Navarro 2004), aves de distribución restringida (Long *et al.* 1996), pero en estos y otros trabajos, se emplean aves terrestres, muy pocas especies acuáticas (Stockwell y Peterson 2002) o bien las acuáticas se agrupan con el resto de la avifauna e incluso con otros grupos de fauna (Peterson *et al.* 2002).

Además de las acuáticas típicas (patos, gallaretas, zambullidores, garzas, gaviotas, chorlitos), se incluyeron especies de otros órdenes cuya presencia también se relaciona con ambientes acuáticos continentales; se consideró importante incluirlas porque algunas de ellas tienen distribución muy fragmentada en el país (como el mirlo acuático, *Cinclus mexicanus*), son formas endémicas (varias especies de mascaritas, *Geothlypis spp.*, Navarro-Sigüenza y Peterson 2004), o transitan por el país en todo sitio donde encuentren condiciones propicias de humedales como el águila pescadora y passerinas como *Anthus* y *Seiurus* (Howell y Webb 1995). La razón para considerar estas especies (sobre todo las passerinas), es que sus requerimientos y áreas de distribución pueden ser más particulares que los de aves lacustres y costeras; algunas tienen reconocido riesgo de conservación y/o son endémicas (Peterson 1988, SEMARNAT 2002, Peterson y Navarro-Sigüenza 2006); no se debe olvidar que *Quiscalus palustris*, endémica del Lerma se extinguió recientemente y la causa principal fue la pérdida de hábitat.

La literatura producida para las aves acuáticas es mucho menor que para otros grupos de aves, p. ej. aves passerinas y/o aquellas que habitan ecosistemas de interés como selvas; prueba de ello son las 23 especies que no fueron mencionadas en ninguna de las 5,799 publicaciones sobre aves en México. Hay temas que se han abordado muy poco, como la alimentación de estas aves en nuestro territorio, y en muchos casos la información disponible no es aplicable, por ejemplo, en obras completas (ej. del Hoyo *et al.* 1994, 1996, 2001) mencionan como alimento para algunas de las especies ictiófagas, familias de peces exclusivas del Amazonas, o lo que consumen en latitudes mayores (Kaufman 1996).

Un sesgo que presentan las publicaciones empleadas en el análisis, es que se incluye muy poco de la literatura denominada “gris”, es decir manuscritos como tesis, reportes técnicos y otros documentos inéditos que pueden tener información

importante sobre estas especies, pero que son difíciles de rastrear y obtener e implica una búsqueda a nivel nacional. Algunos de estos trabajos se emplearon en el siguiente capítulo, para obtener inventarios completos de cuerpos de agua.

En cuanto al análisis de la información, la distribución de especies por Estado, a partir de las guías de campo, señalan una mayor riqueza de aves acuáticas en ambientes costeros, y el eje neovolcánico y altiplano como las regiones con menos especies, sin embargo, la división estatal es arbitraria y no corresponde a rasgos fisiográficos del país, no obstante permitió señalar afinidades de esas especies, que colocan a los Estados costeros como aquellos en donde se presenta la mayor diversidad de aves acuáticas, a nivel estatal muchas especies pueden estar sobreestimadas, al tomarse como presentes aún cuando estén restringidas a una pequeña porción de la entidad.

Los datos obtenidos a partir de las AICAs y del Atlas de las Aves de México permiten establecer una distribución más cercana a la realidad, en las AICAs es notable la ausencia de información en gradículas completas, aún así, sobresalen regiones en el norte y centro del país con riqueza de aves acuáticas. El Atlas de las Aves de México tiene mayor representatividad, pese al gran desequilibrio que ha existido en la colecta de aves acuáticas. Las razones básicas para esto pueden ser que muchas son de gran talla y no caen en redes, por otra parte, su taxidermización requiere más tiempo y ocupan mucho más espacio en las colecciones, esto es lamentable, porque de algunas especies como los patos y gansos son de importancia cinegética y cada año se matan por miles en nuestro país (SEMARNAT 2005) y pese a ello su representatividad en colecciones es mínima.

Respecto a las colectas a través del tiempo, a pesar de que siempre se han realizado, en años recientes se reconoce más que nunca la necesidad de contar con acervos biológicos que permitan abordar investigaciones que no serían posibles con mera observación o marcaje. Actualmente, la integración de la información de esas colecciones permite realizar análisis relacionados con el modelaje de nichos, distribución y la biodiversidad con datos confiables (Navarro *et al.* 2002, 2003a, b)

Las tendencias de la riqueza de especies a gran escala, por ejemplo, para aves terrestres y mariposas, señalando la disponibilidad de agua y la productividad como factores determinante, mientras que en mayores latitudes es la energía (Hawkins *et al.* 2003a, b). Este tipo de tendencias generales no es aplicable al México, la información por localidad permitió reconocer como sitios de riqueza, además de las costas, el eje

neovolcánico. porque su compleja topografía hace que además exista la influencia de la altitud y las costas. El análisis por latitud señala dos picos de riqueza, uno hacia los 20° y otro (menor) alrededor de los 30°, el primero se relaciona con los humedales del sureste y el eje neovolcánico y el otro a la región noroeste del país.

El hecho de que latitudinalmente la riqueza se ajuste a un modelo cúbico y longitudinalmente a un modelo cuadrático, refleja la complejidad de los patrones de distribución de las aves acuáticas. En ambos casos encontramos el eje neovolcánico, el sureste y las costas como los sitios con más especies y la menor riqueza hacia el norte del país, con excepción del noroeste, donde las grandes lagunas costeras en la península de Baja California y el delta del río Colorado son sitios importantes para las aves acuáticas.

El comportamiento de la riqueza respecto a la latitud se considera más significativo que respecto a la longitud, ya que en esta última se integran especies de diferente afinidad ambiental, con grandes variaciones de humedad, topografía y tipos de vegetación, un ejemplo claro de esto se observa en la longitud 96°: cada gradícula en los datos del Atlas no supera las 45 especies y sin embargo se acumulan más de 100 especies en la sumatoria. Si se graficara por separado la variación dentro de cada grado de latitud o longitud se observarían comportamientos distintos, enfatizando la importancia de las costas, el sureste y el altiplano como sitios de mayor riqueza.

En otros análisis de biodiversidad de aves, realizados a distintas escalas de resolución, se ha logrado modelar el recambio de especies (Lira-Noriega *et al.* 2007), determinando que a gran escala la información sobre riqueza puede resultar de poca utilidad, pero para lograr información más detallada hacen falta los inventarios particulares de cada humedal, que brindarían un mejor panorama del comportamiento de la diversidad de aves acuáticas a nivel geográfico, similares a los que se han hecho con otros grupos de fauna o en otros sitios (Long *et al.* 1996, Carrascal y Lobo 2003).

2.6. Conclusiones.

Existe baja representatividad de las especies ligadas a ambientes acuáticos, tanto en las publicaciones generadas a partir de investigaciones, como en ejemplares de museos. Hay regiones del país de las cuales no se tienen colectas ni estudios que permitan establecer la riqueza de aves acuáticas existente. Los resultados de las publicaciones y ejemplares por especie pueden ser una guía para reconocer especies que requieren de mayor información en nuestro país.

Aún con estos vacíos de información, los datos disponibles permiten establecer tendencias lo largo del territorio nacional, que resultan más claras e incluso susceptibles de modelaje respecto a la latitud; además serán de utilidad para realizar los análisis de distribución potencial para la gran mayoría de las 151 especies seleccionadas y los patrones observados en esta sección se compararán con los modelos obtenidos en los análisis subsiguientes.

III
MODELOS DE
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL
PARA LA
AVIFAUNA LACUSTRE



Página anterior (en orden descendente):

Pelecanus erythrorhynchos; *Recurvirostra americana*;
Tachybaptus dominicus; *Phalaropus tricolor*; *Butorides virescens*;
Larus atricilla y *Fregata magnificens*; *Plegadis chihí*

Fotos: P. Ramírez-Bastida

III. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LA AVIFAUNA LACUSTRE.

3.1. Introducción.

Para establecer prioridades de conservación de especies y sus hábitats, se requiere conocer su distribución, riqueza y sus rasgos únicos (Wilson 1988), pero a menudo la información es incompleta o esta sesgada (Raxworthy *et al.* 2003); esto ocurre con las aves asociadas a ambientes acuáticos, que han sido mejor estudiadas en costas e islas. En México, los inventarios para los cuerpos de agua epicontinentales son insuficientes por varias razones; en primer lugar, son mucho más variados que los ambientes costeros, al incluir lagos, ríos, estanques, corrientes, manantiales, planicies de inundación y charcos, entre otros (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998); en segundo lugar, numerosas obras hidráulicas han modificado los cauces de ríos, los niveles de los lagos y hay nuevos embalses; actualmente existen más de 4500 presas, 840 de ellas clasificadas como “grandes” de acuerdo con los estándares internacionales (CNA 2001) y se calcula que existen 14000 cuerpos de agua lénticos, la mayoría (>60%), con superficie entre una y diez hectáreas (Hernández-Avilés *et al.* 1995); en tercer lugar, muchos de los estudios hacen mayor énfasis en grupos particulares de aves, como anátidos y grullas (Carrera y de la Fuente 2003).

Los cuerpos de agua continentales, son hábitat potencial para las aves acuáticas, pero las actividades humanas han creado desajustes ambientales (De la Lanza y García 1995, 2002) y las aves han resultado afectadas, principalmente las especies endémicas de lagos de montaña, tales como *Geothlypis chapalensis*, del Lago de Chapala; *Geothlypis speciosa*, de zonas inundables en el centro del Eje Neovolcánico, así como *Coturnicops goldmani*, endémica y en peligro y *Quiscalus palustris*, extinto hacia 1900, ambos de las ciénegas del Río Lerma, en el Estado de México (Peterson 1988, Peterson y Navarro-Sigüenza 2006).

En documentos que sirven de base para la conservación, como las Regiones Hidrológicas Prioritarias de México (RHP), se reconoce la deficiencia o ausencia de inventarios de fauna (Arriaga-Cabrera *et al.* 1998), sin embargo, muchos de estos sitios presentan riqueza y/o abundancia de especies de aves que incluso les permite calificar como humedales de importancia (e. g. RAMSAR, Rose y Scott 1997, Pérez-Arteaga *et al.* 2002, Skagen *et al.* 2002, U.S. Fish and Wildlife Service 2007) y como

áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAs o IBAs, Arizmendi y Márquez-Valdelamar 2000). Existen propuestas de distribución para las aves de México (Howell y Webb 1995, Ridgely *et al.* 2003), pero para muchas especies existen registros recientes en áreas no reconocidas por estos autores.

Los límites de distribución de las aves acuáticas no se conocen bien, ejemplo de ello son los registros de especies en nuevas áreas, como ha ocurrido con *Sterna paradisaea* (Villaseñor 1993), *Gavia immer* (Ramírez-Bastida *et al.* 1994), *Tachybaptus dominicus*, *Dendrocygna autumnalis*, *Cairina moschata*, *Bucephala clangula* (Carmona *et al.* 1999), *Pelecanus erythrorhynchos*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Porphyrio martinica*, *Numenius phaeopus* (Navarro y Peterson 1999), *Sterna fuscata* (Garza-Torres y Navarro 2003).

Debido al gran número de humedales que existen en el país, obtener inventarios actualizados de cada uno requiere mucho tiempo, personal y recursos. La posibilidad de modelar el nicho ecológico a partir de puntos conocidos de ocurrencia, provenientes de datos de museos, puede ser una buena opción para aproximarnos al conocimiento de la distribución muchas especies. Los Genetic Algorithms for Rule-Set Prediction (GARP, Stockwell y Noble 1992, Stockwell y Peters 1999), han probado ser una herramienta eficiente para modelar la distribución de especies individuales (Peterson 2001), presencia en áreas no muestreadas y de especies poco conocidas (Raxworthy *et al.* 2003). En México se han realizado este tipo de estudios, empleando especies terrestres, residentes, endémicas o de distribución restringida para predecir distribuciones geográficas (Peterson *et al.* 2002), determinar composición de comunidades y regionalización (Feria y Peterson 2002, Rojas-Soto *et al.* 2003), reconocer patrones de riqueza y endemismo e identificar variaciones estacionales de nicho o intraespecíficas (Navarro *et al.* 2003b, Peterson y Holt 2003, García-Trejo y Navarro 2004, Nakazawa *et al.* 2004), explorar la conservación de nichos (Peterson *et al.* 1999, Peterson y Holt 2003), así como posibles efectos de cambio climático global (Peterson *et al.* 2001), entre otros, pero no se han empleado para aves acuáticas.

3.2. Objetivos.

- Obtener modelos de distribución potencial de aves de ambientes acuáticos epicontinentales, a partir de datos georreferenciados de ejemplares de colecciones científicas, empleando algoritmos genéticos (Genetic Algorithms for Rule-Set Prediction, GARP).

- Comparar los modelos obtenidos con inventarios de aves de fuentes independientes, a fin de probar valor predictivo, exactitud y el efecto de sus componentes (omisión, comisión, número de registros únicos).

3.3. Métodos

3.3.1. Obtención de datos. A partir del proyecto Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* 2003a), se empleó una base de datos de más de 332,000 ejemplares de 43 museos de Europa, Norteamérica y México. Se seleccionaron 151 especies de México que cumplieron con las siguientes condiciones: a) contar con distribución reconocida en áreas continentales (en publicaciones o datos inéditos), b) tener hábitat asociado a cuerpos de agua interiores, c) tener al menos un ejemplar georreferenciado en área continental. Se empleó la nomenclatura sistemática de la A.O.U. (1998) y sus suplementos (Banks *et al.* 2002, 2003, 2004, 2006, 2007), complementada por la propuesta por Navarro-Sigüenza y Peterson (2004).

Los registros puntuales (latitud-longitud) de cada especie se introdujeron en el Sistema de Información Geográfica ArcView GIS 3.2 (ESRI 1999), se sobrepusieron a los mapas digitales de la distribución reconocida en referencias bibliográficas (Ridgely *et al.* 2003, basados principalmente en Howell y Webb 1995), para probar si se contaba con información distinta a la disponible en literatura. Los puntos que se salían de esta distribución conocida, se midió la distancia y la dirección al punto más cercano conocido y se separó el registro con todos sus datos para un análisis más detallado.

3.3.2. Modelos de distribución potencial en GARP. Para obtener los mapas de distribución potencial se eliminaron del análisis las especies que contaran con menos de cinco registros únicos (combinación de localidad/especie, Rojas-Soto *et al.* 2003). Para el resto se obtuvieron 100 modelos de distribución potencial por especie a través de GARP, con datos puntuales (longitud-latitud) y 15 coberturas digitales ambientales, cuatro de ellas del modelo digital de elevación de Hydro-1K (elevación, pendiente, aspecto, índice topográfico compuesto, U.S. Geological Survey, 2006) y 11 de las climatológicas de alta resolución producidas en el proyecto WorldClim (temperatura media anual, temperatura máxima del mes más cálido, temperatura mínima del mes más frío, intervalo de temperatura anual, temperatura estacional, precipitación anual, precipitación de los meses más húmedo y seco, precipitación estacional, hidroecología,

humedad de suelo y vegetación potencial, Hijmans *et al.*, 2006), con resolución espacial de 0.01°, proyectados en coordenadas (117.12 – 86.72°W, 14.54 – 32.73°N). Se siguieron dos tipos de tratamientos dependiendo del número de registros, a fin de optimizar la calidad del modelo obtenido (Peterson *et al.* 2002, Anderson *et al.* 2003, Peterson y Kluza 2003): a) para las especies con 5 a 20 registros se empleó el 100% de los datos en las dos fases del análisis, para evitar mapas poco confiables, con medida intrínseca de omisión y omisión baja, b) para las especies con más de 20 registros se empleó el 50% de los datos en cada fase del análisis, con omisión extrínseca y omisión baja. Los modelos obtenidos fueron almacenados como Arc/Info Grids e importados al Sistema de Información Geográfica Arc View (ESRI, 1999). En ambos tratamientos se obtuvieron 100 modelos por especie. Se obtuvieron los modelos en GARP para 127 especies.

3.3.3. Obtención de un modelo final por especie. De los 100 modelos, se seleccionaron los 20 con menos omisión y de ellos la mitad con valores de comisión alrededor de la mediana. Los Arc/Info grids de los 10 modelos resultantes se sumaron en el programa Arc View y sus valores se reclasificaron para considerar como presencia de la especie sólo aquellos que indicaran presencia en ocho o más modelos. No se realizó optimización alguna de los modelos, precisamente para poder evaluarlos.

3.3.4. Listados de especies por cuerpo de agua. Para conocer la identidad de las especies en cada sitio, el mapa de uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO (1999), que incluye 787 cuerpos de agua, se transformó en grid (empleando Arc View) y la tabla de datos del mapa resultante se combinó con los grids de cada una de las especies, a fin de obtener el listado de especies por cada cuerpo de agua. Sólo 117 se pudieron contrastar con listados conocidos.

3.3.5. Comparación y validación de modelos. Se seleccionaron 49 cuerpos de agua distribuidos por todo el país (Fig. 3.1), que contaran con inventarios de especies, a partir de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAs) y sus bases de datos (CIPAMEX y CONABIO 1999, Arizmendi y Márquez-Valdelamar 2000), se complementaron con información bibliográfica y con observaciones en campo realizadas en el período invernal 2003-2004, donde se visitaron 33 cuerpos de agua en

el centro, sur y sureste del país. Estos constituyeron los inventarios conocidos, que se compararon con el listado de especies obtenido por los modelos GARP para cada sitio y con los mapas digitales de las aves de América (Ridgely *et al.* 2003). La exactitud del modelo se evaluó a partir de una tabla de contingencia de 2x2 con las especies compartidas (doble presencia), las dobles ausencias, las subpredicciones (error de omisión) y las sobrepredicciones (error de comisión), empleando la fórmula de exactitud de los modelos GARP (University on Kansas Center for Research 2002).

		LISTADO CONOCIDO		
		Presencia	Ausencia	Exactitud = (a+b) / (a+b+c+d)
MODELO	Presencia	a	d	
	Ausencia	c	b	

Se calculó el porcentaje de predicciones acertadas (especies compartidas + dobles ausencias, $a+b*100$), el porcentaje de omisión $[c/(a+b+d)*100]$ y el porcentaje de comisión $[d/(a+b+c)]$, para los 49 cuerpos de agua seleccionados y las 117 especies, a fin de hacer un análisis más detallado de las diferencias entre el modelo y el listado conocido y evaluar la utilidad de los modelos para predecir la distribución de las especies. Se analizaron por separado las 10 especies filogenéticas, de acuerdo a la sistemática de Navarro y Peterson (2004), que no aparecen en los inventarios y literatura consultada.

El análisis estadístico entre modelos y listados conocidos se realizó con una prueba de X^2 , basada en una tabla de contingencia de 2x2 para cada especie y área (G.L. = 1, $\alpha = 0.05$), empleando el programa STATISTICA (StatSoft 2000). Los modelos más predictivos fueron los más similares a los listados conocidos, por ello en este caso se buscó que la prueba de X^2 no mostrara diferencias significativas.

El número de registros únicos varió mucho entre las especies; se ha indicado que para especies de amplia distribución pueden ser necesarios hasta 100 puntos (registros únicos) para obtener modelos precisos (Stockwell y Peterson 2002); para observar la relación entre el número de datos para los modelos y la exactitud de los mismos, se separó a las especies en cuatro grupos: residentes de amplia distribución, residentes de distribución restringida, migratorias y mixtas (especies con poblaciones residentes y migratorias).

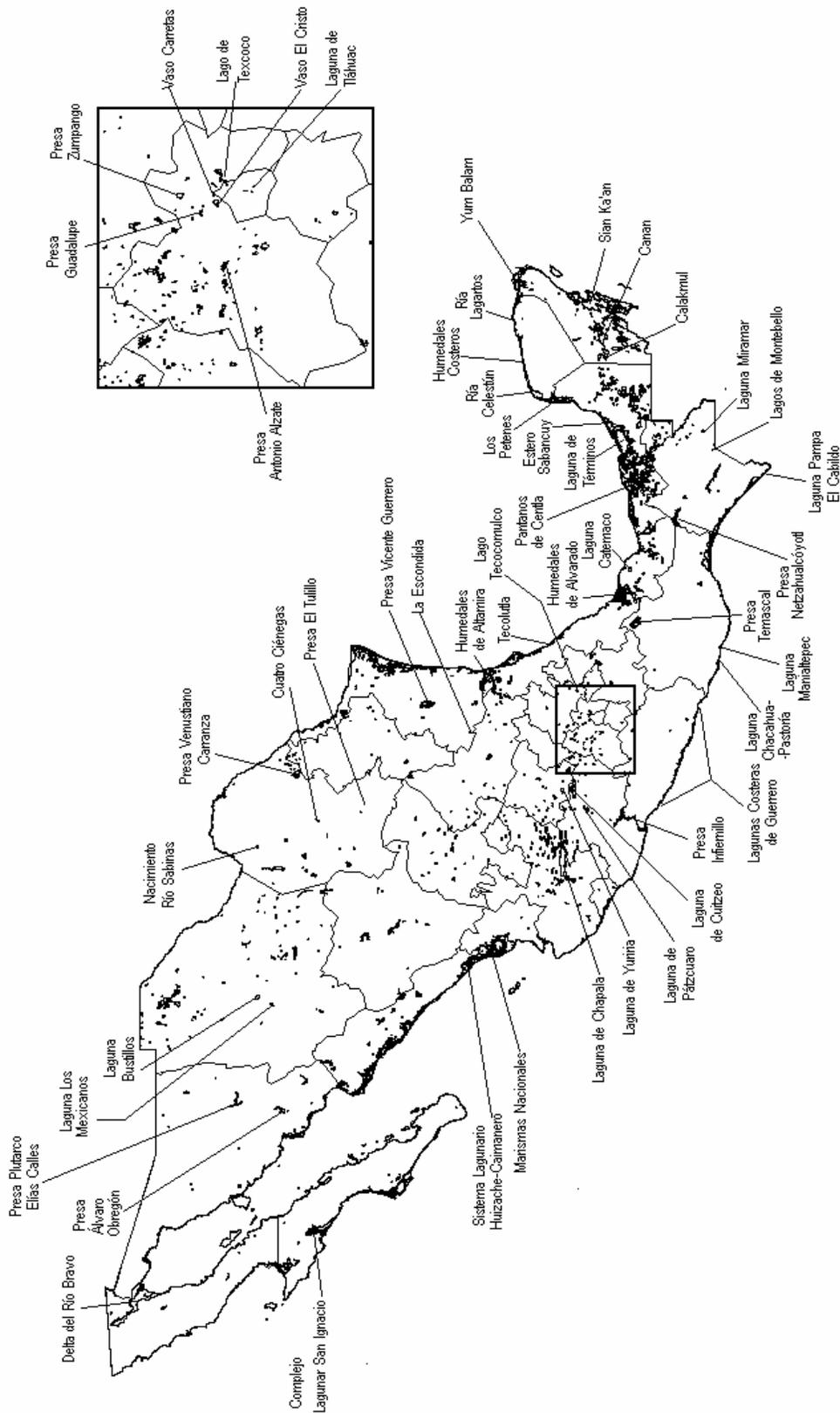


Figura 3.1. Mapa de las 49 localidades seleccionadas para comparar los listados de los modelos con datos reales.

3.4. Resultados

Se obtuvo una base de datos con 25,863 ejemplares, de los cuales 23,046 contaron con coordenadas geográficas o pudieron ser georreferenciados, estos se transformaron a 8,057 registros únicos (una combinación de especie por localidad) para 149 especies. Se eliminaron para el resto del análisis las que tenían menos de cinco registros únicos, es decir 22 especies con muy baja representación en colecciones y de las cuales es necesaria más información, estas especies son: *Ardea occidentalis*, *Chen hyperborea*, *Branta canadensis*, *Branta hutchinsii*, *Branta minima*, *Branta leucopareia*, *Cygnus buccinator*, *Cygnus columbianus*, *Aix sponsa*, *Aythya marila*, *Mergus merganser*, *Nomonyx dominicus*, *Haliaeetus leucocephalus*, *Buteogallus subtilis*, *Eurypyga helias*, *Grus canadensis*, *Grus americana*, *Pluvialis fulva*, *Charadrius hiaticula*, *Cistothorus stellaris*, *Anthus cervinus* y *Agelaius tricolor*, algunas de ellas han reducido su área de distribución en el país y sus registros son muy antiguos (Apéndice 3.1).

Al comparar los registros puntuales con los mapas digitales (Ridgely *et al.* 2003), se detectaron 88 especies que tienen en conjunto 532 localidades con 1,319 registros únicos fuera de las áreas de distribución conocida.; se presenta un resumen de esta información en el Apéndice 3.1. Algunas especies tienen colectas a varios cientos de kilómetros de sus distribuciones conocidas, como en el caso de *Anhinga anhinga* (Fig. 3.2A) y *Mycteria americana* (Fig. 3.2B).

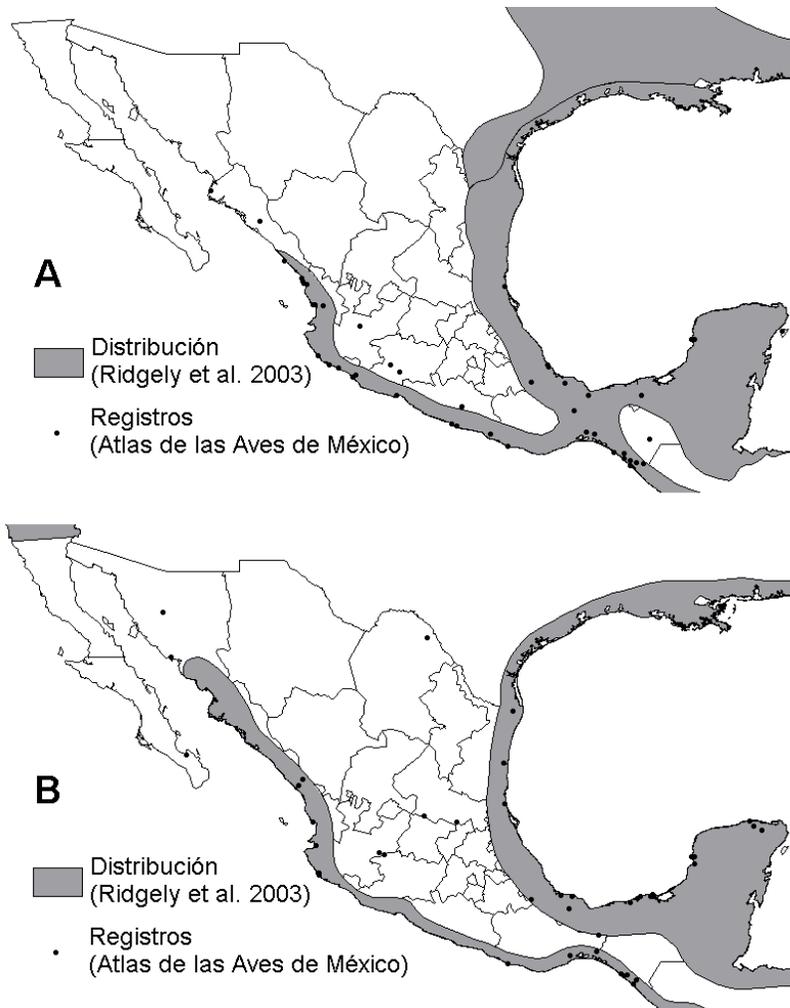


Figura 3.2. Contraste de distribución atribuida a las especies (área sombreada, Howell y Webb 1995, Ridgely *et al.* 2003) y los registros de ejemplares de museos (puntos, Navarro *et al.* en prep.). **A.** *Anhinga anhinga*, **B.** *Mycteria americana*.

Los resultados para las 151 especies se resumen en el Apéndice 3.2. Las características de las 49 localidades para contrastar los listados de especies obtenidos por los modelos GARP se resumen en el Apéndice 3.3. Los resultados por especie varían, algunos modelos reflejan los registros fuera de las áreas de distribución conocida (Fig. 3.3 A), otros tienen un error considerable de omisión, por la baja representatividad de los datos (Fig. 3.3 B), también hubo modelos prácticamente idénticos a los presentes en la literatura (Fig. 3.3 C).

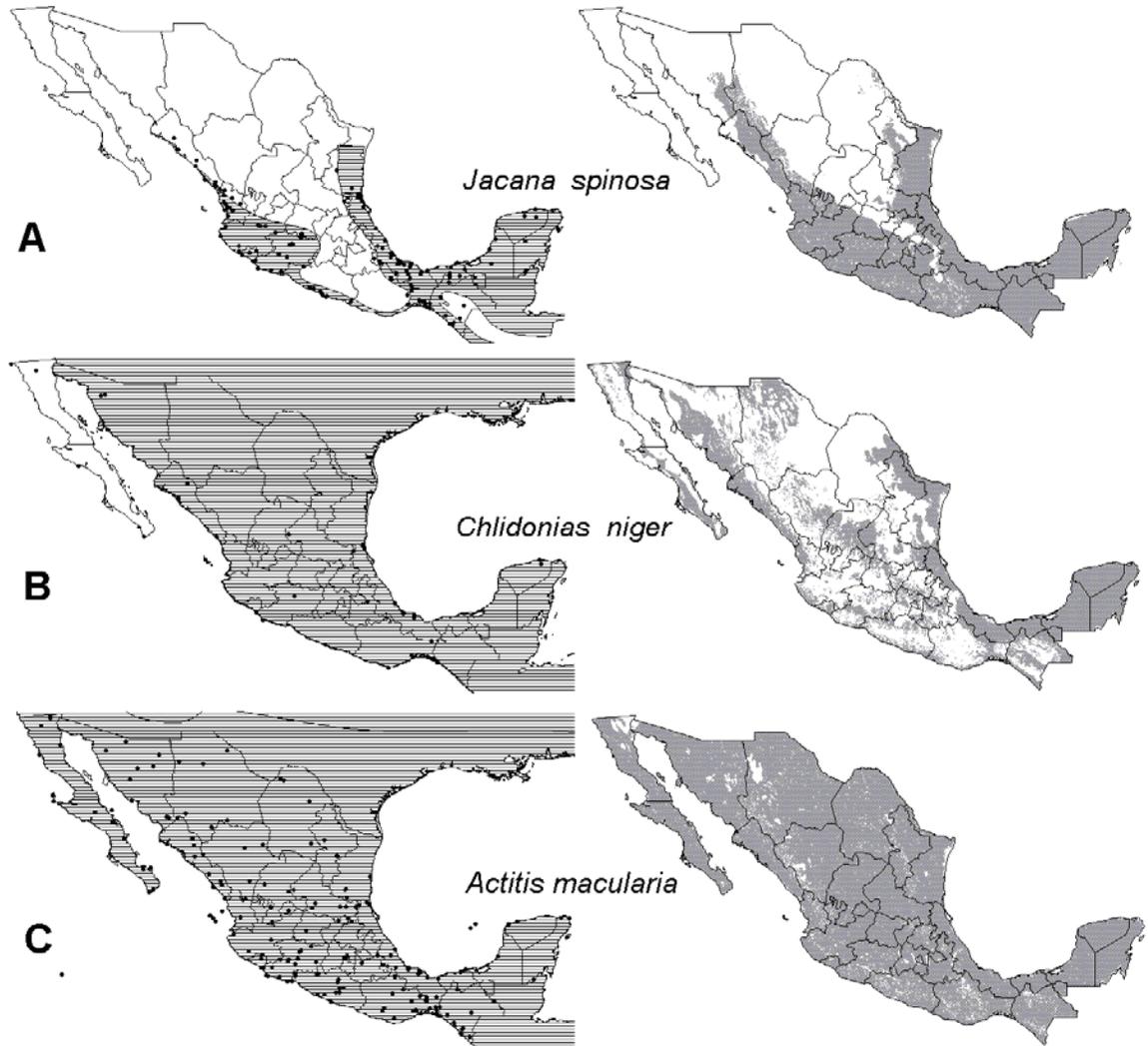


Figura 3.3. Comparación de las distribuciones conocidas (Howell y Webb 1995, Ridgely *et al.* 2003), sobreponiendo los registros únicos empleados para el modelaje (mapas de la izquierda), contra sus respectivos modelos obtenidos por GARP (mapas de la derecha). **A.** *Jacana spinosa* (Exactitud 63.26%, $X^2 = 0.17$, $p=0.681$, $GL=1$, predictivo), **B.** *Chlidonias niger* (Exactitud 44.9%, $X^2 = 18.49$, $p=0$, $GL=1$, no predictivo). **C.** *Actitis macularia* (Exactitud 85.71%, $X^2 = 1.78$, $p=0.1823$, $GL=1$, predictivo).

A pesar de que 97 modelos tuvieron exactitud superior a 50% y a simple vista eran similares a la distribución conocida y esperada, sólo 45 fueron estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de X^2 . Es notable que incluso modelos con exactitud superior a 79% tuvieran valor de X^2 muy baja, mientras que otro con exactitud menor a 50% fue similar de acuerdo con la prueba de X^2 (Fig. 3.4). Lo mismo ocurrió con el análisis a nivel localidad: 40 de las 49 localidades tuvieron exactitud superior al 50%

(29 de ellas mayores a 60%), respecto a la presencia o ausencia de las 117 especies modeladas por GARP y los inventarios reales, pero sólo 15 fueron similares según su valor de X^2 .

Al comparar los valores de exactitud, omisión, comisión y X^2 (Fig. 3.5), se observa que la prueba de X^2 no es sensible al error de omisión, porque valores altos de omisión pueden aparecer como modelos predictivos. Por el contrario es sensible al error de comisión, puesto que los modelos predictivos corresponden a valores bajos y moderados de comisión.

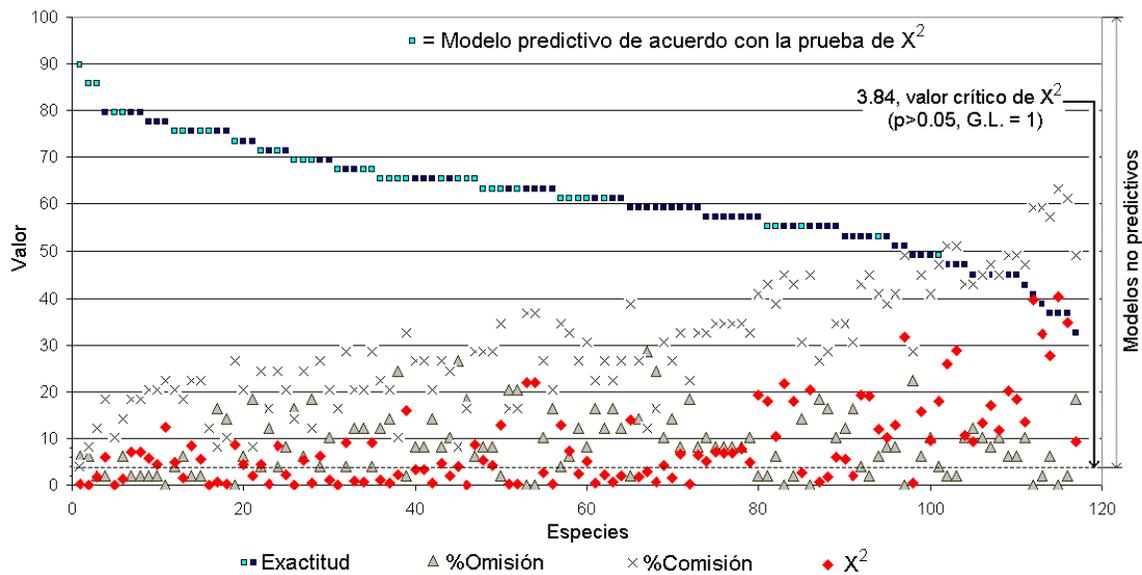


Figura 3.4. Valor de X^2 , y porcentaje de exactitud, omisión y comisión para cada una de las 117 especies, en orden descendente respecto a la exactitud. Los modelos predictivos de acuerdo con la prueba de X^2 se indican con cuadros de exactitud azul y tienen X^2 menor a 3.84. La exactitud se reduce conforme se incrementan los valores de comisión.

El número de registros únicos por especie para obtener los modelos fue de 5 a 406 (promedio = 54, desv. St.= 61), la influencia de este factor debe ser distinta dependiendo de la representatividad de los registros respecto al área total de distribución, por ello se dividieron las especies en los cuatro grupos (residentes de amplia distribución, residentes de distribución reducida, migratorias y mixtas) y se graficaron contra el valor de exactitud (Fig. 3.6).

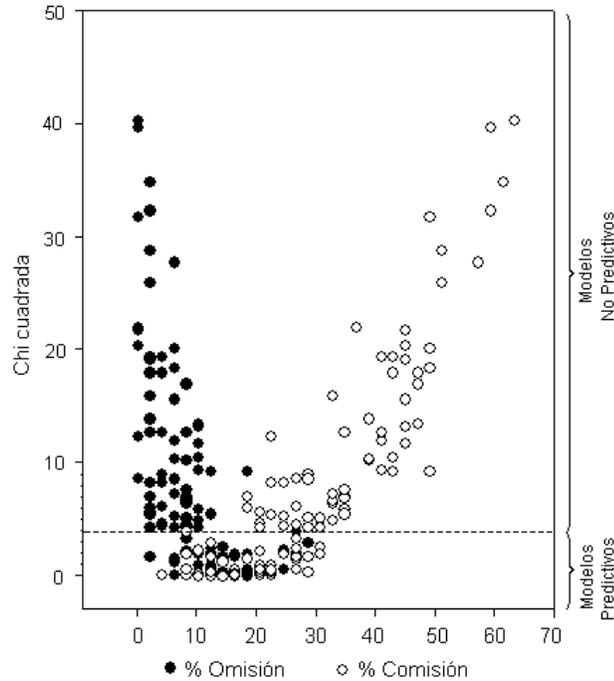


Figura 3.5. Relación entre los porcentajes de Omisión y Comisión vs el valor de X^2 . Se observa que muchos valores altos de omisión pueden corresponder a modelos predictivos, mientras que solo los modelos con porcentaje de comisión bajo resultan predictivos.

Los resultados obtenidos con las residentes de amplia distribución no se consideran representativos, pues fueron pocas especies, pero es interesante observar que incluso con cientos de registros pueden obtenerse modelos cuya exactitud no excede el 60% (Fig. 3.6A). En el caso de las residentes con distribución restringida se observa que no hay gran efecto del número de muestras respecto a la exactitud y se obtienen valores altos de exactitud incluso con menos de 20 registros únicos (Fig. 3.6B). Con las especies migratorias (Fig. 3.6C) y mixtas (Fig. 3.6D), el resultado es distinto, se observa una relación positiva entre el incremento de registros únicos y el aumento de exactitud, en ambos casos los mejores modelos se obtienen con más de 100 registros únicos. Sólo 20 especies de las 151 especies empleadas en este trabajo tuvieron más de 100 registros, no obstante 64 de las 117 especies comparadas tuvieron exactitud superior al 60% (sobre todo las aves residentes).

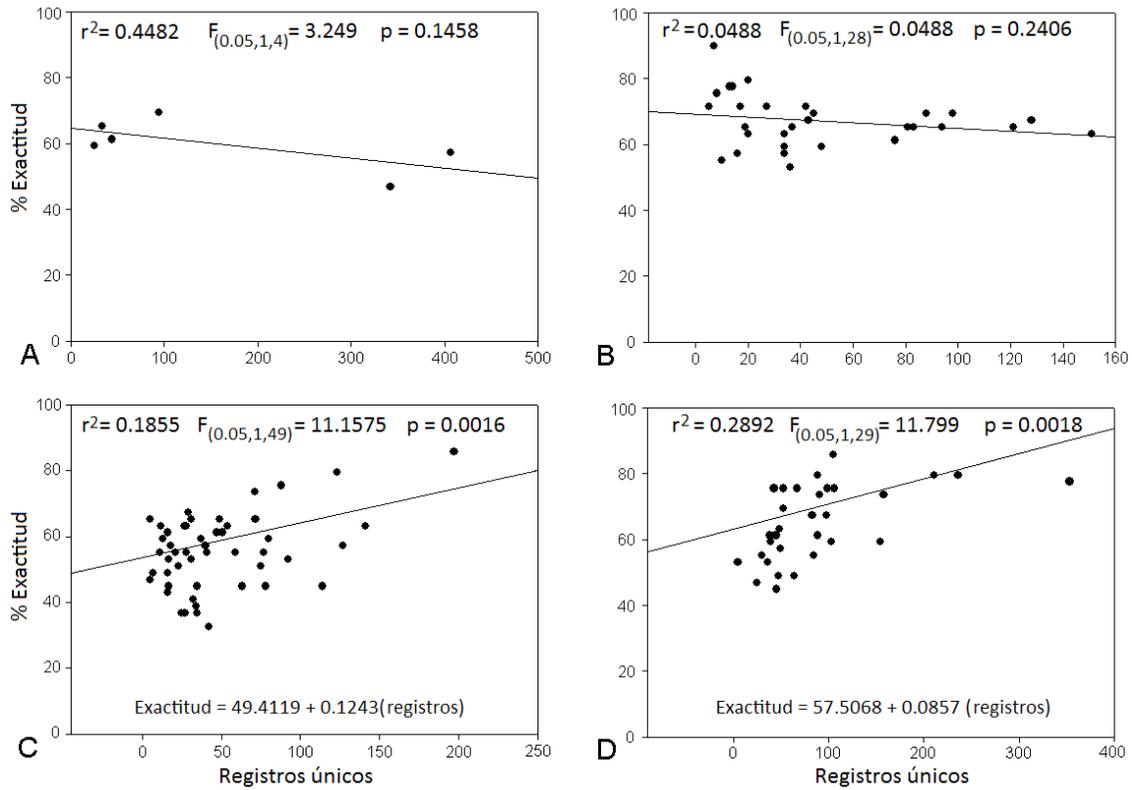


Figura 3.6. Relación entre el número de registros únicos y el % de exactitud de los modelos GARP. **A.** Especies residentes de amplia distribución; **B.** Especies residentes de distribución restringida; **C.** Especies migratorias; **D.** Especies mixtas (residentes y migratorias). Se presenta el coeficiente de Correlación (r^2) y los resultados de la prueba de varianza (F), se incluye la fórmula cuando la correlación fue significativa.

Al contrastar los modelos de inventario por localidad obtenidos por GARP contra los inventarios conocidos y los que surgirían de la distribución indicada por Howell y Webb (1995) y Ridgely *et al.* (2003), se observa que en general los modelos GARP tuvieron valores más bajos de exactitud, pero en nueve casos fueron más exactos y en cuatro más muy similares (Fig. 3.7A). El número de especies compartidas con los inventarios reales fue similar (Fig. 3.7B), por lo que los valores menores se deben más a la sobrepredicción de los modelos GARP (comisión, Fig. 3.7C), que al efecto de la omisión (Fig. 3.7D). Sin embargo, es importante notar algunos de los modelos de distribución de Ridgely *et al.* (2003) presentaron valores cercanos a 50% de sobrepredicción y hasta 20% de subpredicción.

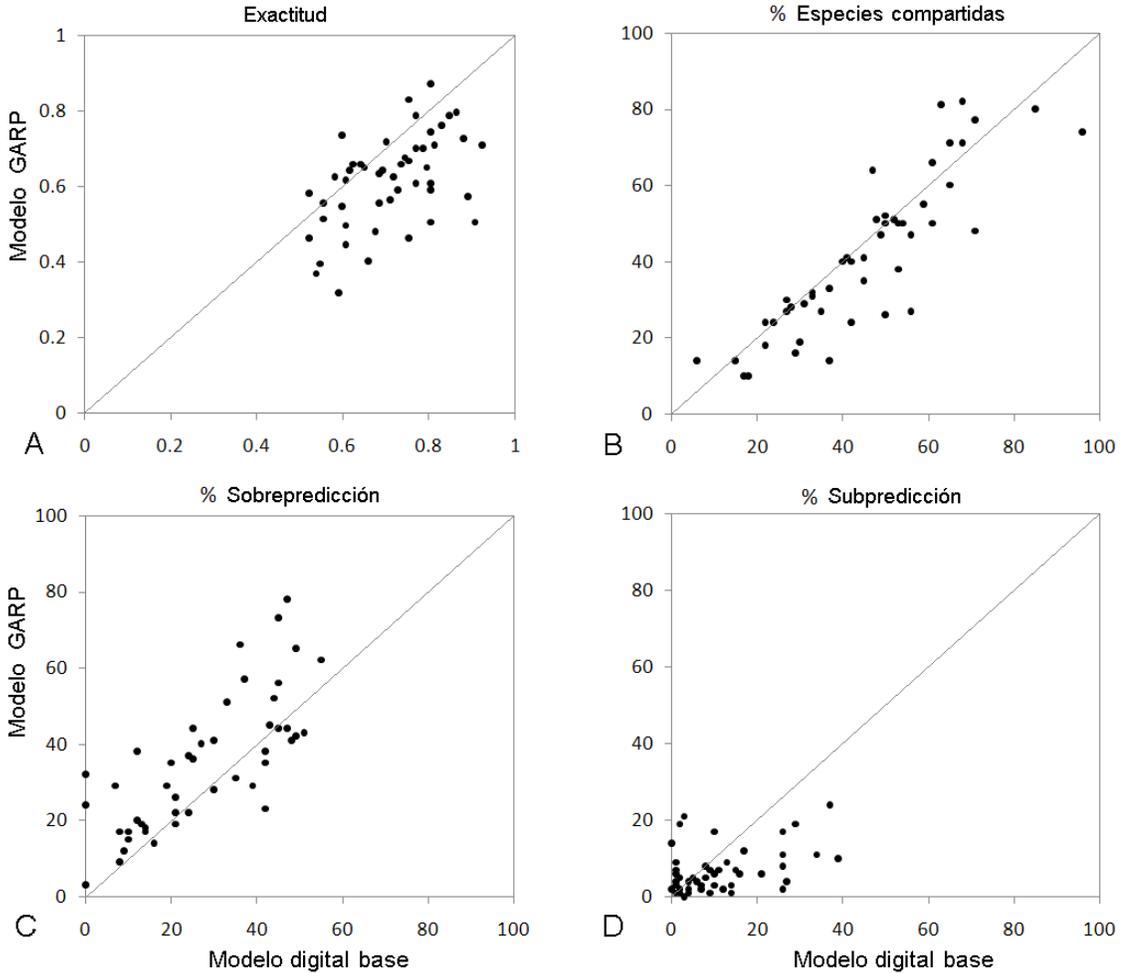


Figura 3.7. Comparación de los inventarios conocidos de las 49 localidades contra los obtenidos con los modelos GARP y la distribución propuesta por Ridgely *et al.* (2003). **A.** Exactitud, **B.** % de Especies compartidas, **C.** % de Sobrepredicción, **D.** % de Subpredicción. Los valores cercanos a la diagonal indican valores similares entre los modelos.

La comparación de la exactitud de ambos inventarios (GARP y de Ridgely *et al.* 2003), respecto a los inventarios conocidos por región, indica que en todos hubo valores de exactitud altos y bajos. Los inventarios más exactos de GARP están en las localidades de la costa del Golfo, Centro y Pacífico Sur, mientras que los modelos más exactos basados en Ridgely *et al.* (2003), fueron los de la región centro y Península de Yucatán, en el resto tuvieron mayor exactitud que los modelos GARP, pero sus valores también estuvieron dispersos (Fig. 3.8).

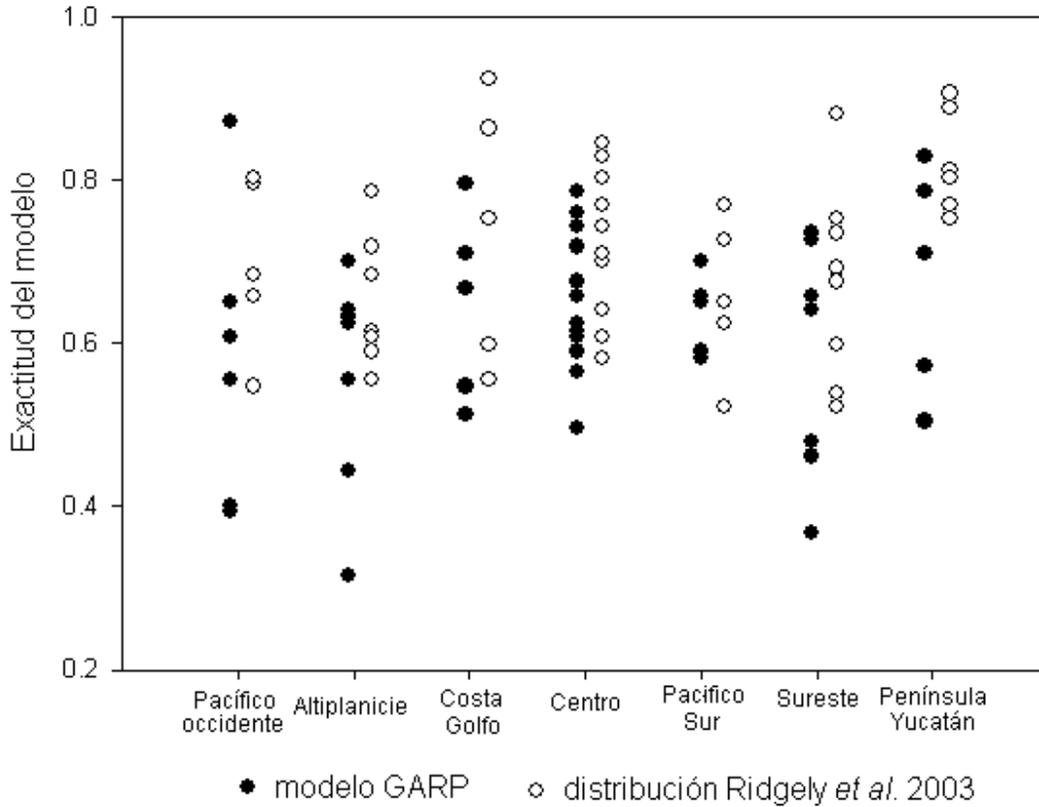


Figura 3.8. Comparación de exactitud de los modelos GARP por región vs la distribución de Ridgely *et al.* (2003), agrupados por región del país.

Respecto a las 10 especies filogenéticas que no pudieron compararse con datos de localidades, se observa la tendencia al conservadurismo o conservatismo de nicho, ya que los modelos predicen al menos parte de la distribución de las especies filogenéticamente relacionadas. En el caso de *Melospiza mexicana* (que habita tierras altas del Eje Neovolcánico, Fig. 3.9A), extiende su distribución hacia la de *M. goldmani* (Sierra Madre Occidental), por su parte el área modelada para *Agelaius gubernator* (residente del centro de México), se extiende más allá, sobre la distribución de *A. phoeniceus* (Fig. 3.9B) en el caso de *Geothlypis melanops* (residente del sur de Zacatecas hasta Veracruz y Oaxaca) refleja la distribución de *G. modesta* (NW de México) y *G. flavovelata* (NE de México, Fig. 3.9B) indicando la relación cercana entre estas especies respecto a sus requerimientos de hábitat.

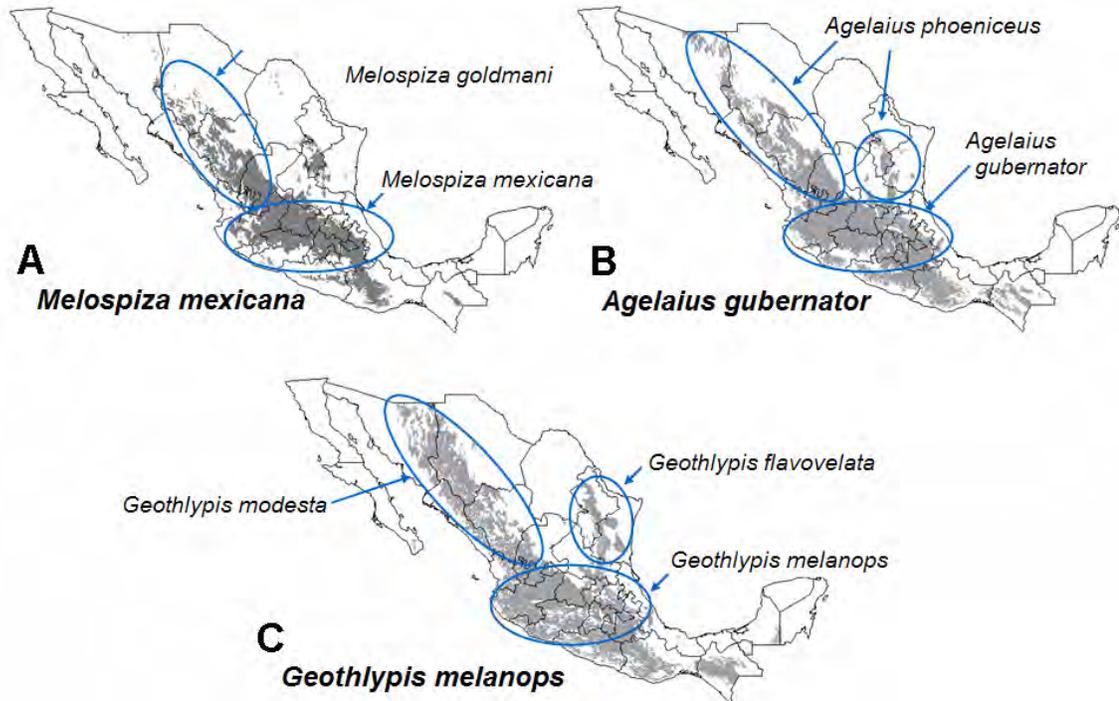


Figura 3.9. Los modelos de especies filogenéticas (Navarro-Sigüenza y Peterson 2004), reflejan los nichos ecológicos de especies hermanas. **A.** *Melospiza mexicana*; **B.** *Agelaius phoeniceus*; **C.** *Geothlypis melanops*.

El mapa que reúne la distribución modelada con GARP de las 117 especies, en comparación con la suma de distribuciones propuesta por Ridgely *et al.* (2003), resulta similar en términos generales, pero se observa un número mayor de especies para los modelos GARP, sobre todo en la península de Yucatán y Chiapas, y una menor distribución de especies hacia el norte y noroeste de México (Fig. 3.10).

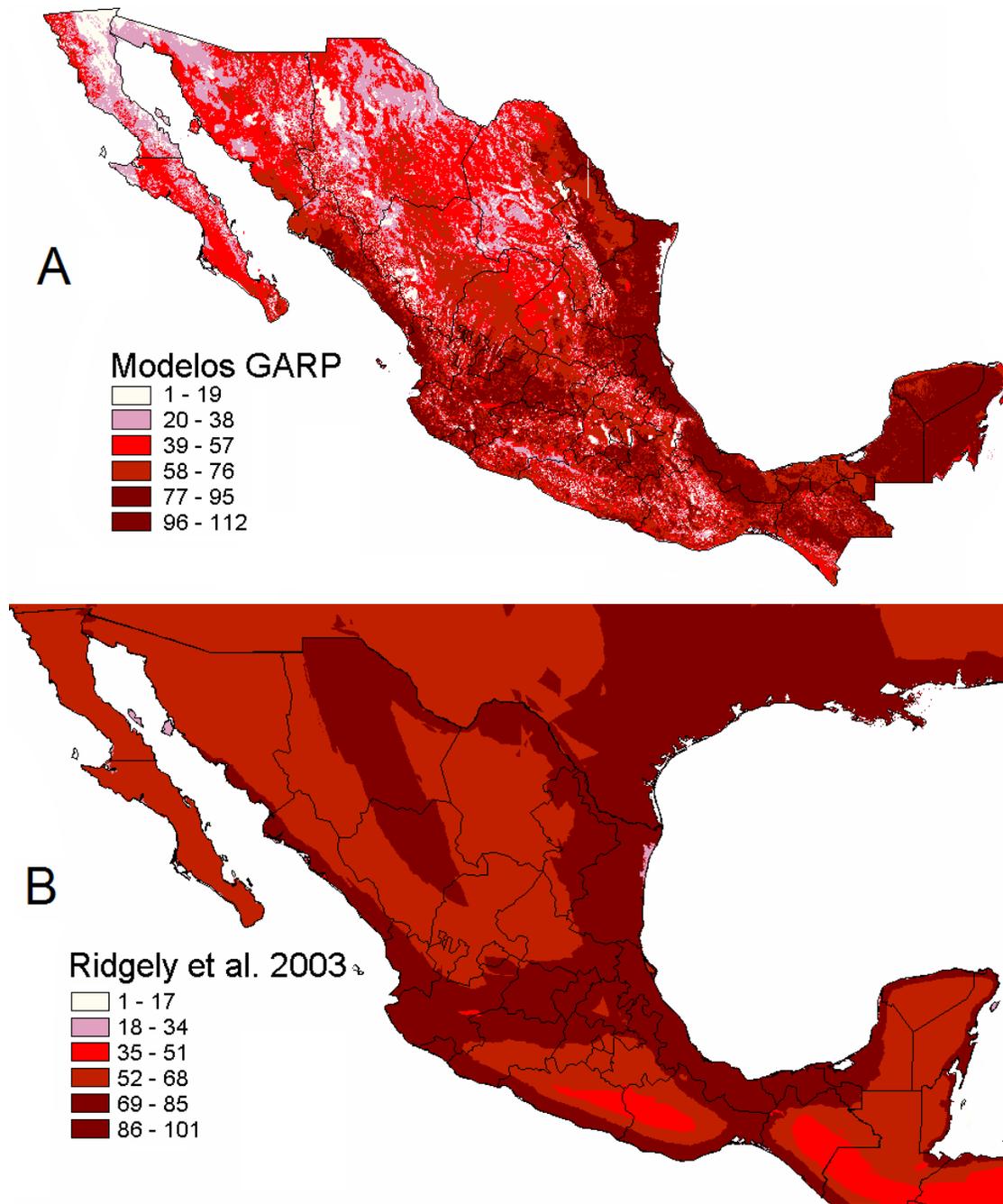


Figura 3.10. Mapa total (sumatoria) de los modelos GARP y de las distribuciones digitales de Ridgely *et al.* (2003).

3.5. Discusión

Aunque se ha realizado modelaje de todas las aves de México (Peterson *et al.* 2002), no se había analizado a detalle la capacidad del programa GARP para modelar especies de amplia distribución, ni aves acuáticas. Stockwell y Peterson (2002) al modelar distribución de varias especies de aves, señalan que las especies de amplia distribución (ejemplifican con *Egretta thula*) requieren más registros para un buen modelaje, en su caso mencionan 20 a 40 registros.

En el presente trabajo, con las especies de amplia distribución se alcanzan los valores máximos de exactitud hasta los 100 puntos, aunque algunas tuvieron modelos con buena exactitud con menos puntos, como *Dendrocygna autumnalis* (67), *Anas cyanoptera* (38), *Gallinula chloropus* (53). Es notable que aunque algunas especies tuvieron más de mil registros en museos, otras sólo tuvieron uno (174 en promedio) y esto se reduce notablemente al transformarlos a registros únicos (54 en promedio). Por la gran dispersión de datos en los gráficos de registros únicos vs exactitud, las ecuaciones para migratorias y residentes/migratorias indican que harían falta más de 400 registros únicos para acercarse al 100% de exactitud; en la práctica, pueden no ser necesarios tantos registros únicos, siendo más importante que los registros sean representativos de los distintos hábitats del área de distribución, ya que GARP modela nichos, aunque para su comparación se estén mencionando sólo áreas geográficas (Anderson 2003, Anderson *et al.* 2003).

Una de las razones para explicar la baja representación que tienen las aves acuáticas en las colecciones científicas, es la dificultad para capturar, preparar y almacenar ejemplares grandes y ello indicaría por qué, aunque se cazan decenas de miles de patos anualmente en México (ej. en la temporada 2005-2006 se autorizó la cacería de mas de 30 mil aves acuáticas, SEMARNAT 2005), el promedio por especie en los 43 museos integrados en el proyecto del Atlas de las Aves de México es de 70 ejemplares y 19 registros únicos (no en cada uno, sino en total, ¡en más de 100 años de colecta científica!); pero no es solo el tamaño, porque aves más grandes que tampoco son fáciles de capturar estarían en la misma situación y no es así, ej. *Buteogallus anthracinus* tiene 308 ejemplares con 154 registros únicos en el total de museos.

Las aves más pequeñas están mejor representadas, pero no lo suficiente, por ejemplo las especies de los géneros *Charadrius* y *Calidris* empleadas en este análisis, tienen en promedio 220 ejemplares y 64 registros únicos. El caso más extremo es para

aquellas de las que se contó con menos de cinco registros únicos (ej. *Aix sponsa*, *Mergus merganser*, *Nomonyx dominicus*, *Eurypyga helias*). En general toda la avifauna acuática requiere mejor representación en las colecciones.

Para estudios como este, donde no se precisa contar con el ejemplar y son suficientes los registros de presencia, es necesario formar una amplia base sistematizada con datos totalmente confiables que permitan esta y otras aproximaciones al conocimiento de la distribución de las aves acuáticas (y del resto de la fauna). Esto se lograría integrando de manera formal y programada, iniciativas como la de aVerAves (proyecto conjunto de CONABIO, NABCI, Laboratorio de Ornitología de Cornell y Audubon), georreferenciando cada registro y actualizando periódicamente los listados de especies de las AICAs, completando los inventarios de las Regiones Hidrológicas Prioritarias, las Áreas Terrestres Prioritarias, las Áreas Naturales Protegidas, los sitios Ramsar, los conteos invernales, los humedales prioritarios para las aves acuáticas migratorias en México, las estaciones de monitoreo de sobrevivencia invernal (MoSI), los estudios en corredores migratorios (ej. "Río de Rapaces"), los monitoreos de fauna en UMAS de aprovechamiento cinegético (ej. clubes de cacería de patos), los grupos de observadores de aves, por mencionar los más importantes. Dado que esta es una meta a mediano o largo plazo, los resultados de modelaje potencial como el presente pueden aproximarnos a este conocimiento o ayudar a dirigir los esfuerzos de monitoreo hacia zonas prioritarias.

Con referencia a la validez de los modelos obtenidos, es importante mencionar que hay una diferencia en la forma de realizar la prueba de X^2 , respecto a la gran mayoría de los estudios realizados con GARP, donde se contrastan los resultados contra modelos nulos obtenidos por azar, esperando que sean significativamente distintos (Peterson 2001, Peterson *et al.* 2002, Anderson *et al.* 2003, Peterson y Kluza 2003, Peterson y Robins 2003, Nakasawa *et al.* 2004). En este caso se compararon con inventarios conocidos y ello permitió ver el efecto de cada elemento del modelo (dobles ausencias, dobles presencias, comisión, omisión) en el resultado de la prueba X^2 , que tradicionalmente se usa para medir su confiabilidad y certeza. Un error verdadero en los modelos como es la omisión, es pasado por alto por la prueba y en cambio se afecta por la comisión, que puede no ser un error. Otro aspecto es que en muchas especies uno o dos elementos de la tabla de contingencia tuvieron valores inferiores a cinco, y en esos casos la prueba tiene variaciones considerables al obtener las frecuencias (Daniel 2003).

La fórmula de X^2 , por su estructura toma como resultado positivo únicamente las presencias compartidas, mientras que la exactitud considera también las dobles ausencias como un acierto. Lo anterior es un problema al momento de interpretar los resultados, porque la omisión es un error real, mientras que la comisión puede deberse a falta de datos, a una predicción de especies emparentadas (*niche conservatism*), a distribuciones históricas o a ambientes susceptibles de ser ocupados por la especie (Peterson *et al.* 1999, Peterson y Holt 2003), como se ha probado en otros estudios, donde hacen énfasis en la necesidad de identificar estos factores de error (Fielding and Bell 1997, Anderson 2003, Anderson *et al.* 2003, Loiselle *et al.* 2003).

Muchos modelos indican sobrepredicción o error de comisión (respecto a la distribución propuesta por Ridgely *et al.* 2003), para reducir esto se pueden optimizar los modelos GARP eliminando la sobrepredicción usando los límites de ecorregiones o provincias biogeográficas, o bien obteniendo nuevos modelos GARP previa eliminación de los registros históricos (Anderson *et al.* 2003, Raxworthy *et al.* 2003).

La sobrepredicción puede denotar la falta de muestreo y/o el dinamismo de la distribución de las aves. No se conoce si todas las localidades seleccionadas para la comparación tienen esfuerzo o metodología de muestreo similares y esto también puede afectar la interpretación de los modelos, pero los 49 cuerpos de agua seleccionados, están en AICAs (3), dentro de RHP (4) o en ambas (42) y por ello son sitios de significancia internacional o al menos subregional (Arizmendi 2003) y se esperaba que estén mejor conocidos que otras áreas no prioritarias.

Schaldach *et al.* (1997), publican registros de 1960's y reconocen a *Botaurus pinnatus* y *Tachycineta bicolor* en regiones de Oaxaca para las que no había registros. Forcey (2002 a,b) registran para el centro de Oaxaca a *Pelecanus erythrorhynchos*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Egretta tricolor*, *Dendrocygna bicolor*, *D. autumnalis*, *Porphyrio martinica*, *Charadrius semipalmatus*, *Recurvirostra americana*, *Jacana spinosa*, *Calidris mauri*, *Tachycineta bicolor*, *Cinclus mexicanus* y *Sterna forsteri*; todas estas especies son predichas por los modelos GARP; además las anteriores, incluye distribución de otras especies no consideradas en este estudio como *Eudocimus albus*, *Calidris pusilla*, *Phalaropus lobatus* (estas especies no son reconocidas por Howell y Webb 1995), además coloca como hipotéticos algunos reportes de Howell and Webb (1995), como *Botaurus lentiginosus*, *Ixobrychus exilis*, *Anas strepera*, *Bartramia longicauda*, *Calidris himantopus*, en este caso los modelos GARP denotan ausencia o presencia muy escasa.

Para el oeste de Guerrero, Navarro y Peterson (1999), reportan extensión de la distribución de *Pelecanus erythrorhynchos*, *Phalacrocorax brasilianum*, *Egretta tricolor*, *Mycteria americana*, *Porphyrio martinica*, *Numenius phaeopus*, todas ellas presentes en los modelos GARP, al igual que *Calidris alba* y *Sterna maxima*, no incluidas en este análisis

En Puebla, Rojas-Soto y Navarro (1999) registran a *Phalacrocorax brasilianus*, no reconocida por Howell y Webb (1995) pero si por el modelo GARP. Para la Paz, Baja California Sur, se confirmó la presencia de *Chen caerulescens*, nuevos registros de *Dendrocygna autumnalis*, *Cairina moschata*, y *Bucephala clangula* (Carmona et al. 1999), las dos primeras son previstas por los modelos GARP.

López-Ornat et al. (1989) y MacKinnon (pers. Comm.), indican que en la península de Yucatán se han observado en años recientes primeros registros y mayor distribución de especies que Paynter (1955) no consideraba, como *Anas clypeata*, *A. cyanoptera*, *Charadrius alexandrinus*, *Cistothorus palustris*, *Larus philadelphia*, *L. pipixcan* (Howell y Prairie 1989), *Limnodromus scolopaceus*, *Oxyura jamaicensis*, *Pelecanus erythrorhynchos* (más numeroso en años recientes), *Plegadis chihi*, *Podiceps nigricollis* y *Recurvirostra americana*, todas estas especies son previstas por los modelos GARP.

Vázquez-Rivera (2004) registra para las Ciénagas del Lerma a *Tringa semipalmata*, *Megaceryle torquatus*, confirma *Dendrocygna bicolor*, *Jacana spinosa*, *Laterallus jamaicensis*, *Nomonyx dominicus* (la primera y la última no se emplearon en el presente estudio), pero ninguna de ellas está considerada por Howell y Webb (1995) para el Estado de México pero si por sus respectivos modelos GARP.

En Jalisco se han obtenido mas registros de *Aramus guarauna* (Palomera-García et al. 2006) y en Sonora se tiene el primer registro de *Pardirallus maculatus* (González-Bernal et al. 2006), estas especies también son predichas por los modelos GARP en esos sitios.

Hay también múltiples comunicados informales donde reportan aves acuáticas en sitios "inusuales", que aparecen en las listas de discusión del grupo de ornitólogos mexicanos de CIPAMEX, como la observación de *Fregata magnificens* en San Cristobal de las Casas por Francesca Albin (6 diciembre, 2006) y de esta misma especie sobre la Laguna de Zumpango (Saúl Saldaña comm pers) y sobre un centro comercial al sur del Distrito Federal (Dr. José Luis Osorno comm. pers.), *Larus philadelphia* en Torreón, Coahuila (27 diciembre 2006), *Aythya valisineria* en el Nazas

(14 de enero 2007, Francisco Valdés Perezgasga), los modelos GARP predicen a esta última especie en esa zona.

Lo anterior denota que buena parte de la comisión en los modelos se debe más a la falta de información de las zonas que a modelos deficientes, no obstante es necesario hacer ajustes a los modelos antes de emplearlos para obtener los patrones de distribución. Por ejemplo, se ha comprobado que la operación de sumar modelos, considerando como áreas de distribución sólo aquellas que aparezcan en varios de ellos (en el presente caso en ocho o más), puede originar la pérdida de áreas de distribución real (Anderson *et al.* 2003, Anderson y Peterson 2003), eso explicaría parte de los errores de omisión y para reducirlos se deben revisar los gráficos de omisión/comisión y en caso necesario reducir el número de modelos con puntos comunes para aceptar la presencia. Debe revisarse cada caso para decidir si se mantiene la propuesta de una distribución mayor a la reconocida por la literatura, o se reduce, para que refleje la distribución real de la especie, es decir, optimizar el modelo.

Otro aspecto a considerar es que la distribución de las especies modeladas no es la misma a lo largo del año para muchas de las especies incluidas en el análisis. Se ha comprobado que algunas especies cambian sus requerimientos ecológicos entre el sitio de reproducción y los lugares a los que migran (Nakasawa *et al.* 2004), para el presente estudio lo que interesa es predecir su distribución en verano y en invierno en México. En esta parte del análisis se trabajó con un solo modelo de distribución por especie, porque se compararon con inventarios generales, donde no hay indicación de estacionalidad, pero para determinar los patrones de distribución, la variación estacional se tomará en cuenta.

3.6. Conclusiones

El modelaje de nichos ecológicos con GARP es susceptible de ser usado con especies de amplia distribución y migratorias, pero se debe tener un mayor cuidado en los análisis. Falta mucho por conocer de la avifauna acuática continental, y los modelos GARP son una buena aproximación para brindar inventarios preliminares, evidenciar sitios de concentración de riqueza, planear áreas propicias para concentrar avifauna acuática y ayudar en la planeación de sitios para la conservación de humedales de interés. En este estudio la comparación de inventarios basados en modelos GARP contra inventarios conocidos permitió revisar con detalle los factores que afectan los valores de la prueba de X^2 para determinar la validez de los modelos, esta prueba es de utilidad para aceptar los modelos, pero se debe observar también el efecto de la comisión, que no necesariamente presenta un error y puede hacer que un modelo no sea significativo de acuerdo a X^2 . Para completar el análisis es necesario optimizar los modelos reduciendo las zonas de sobrepredicción, antes de comparar los patrones de riqueza con las áreas de conservación.

IV
AQUATIC BIRD DISTRIBUTIONS
IN MEXICO:
DESIGNING CONSERVATION
APPROACHES
QUANTITATIVELY



Página anterior (en orden descendente):

Aythya collaris; *Egretta tricolor*; *Phalacrocorax brasilianus*;
Phalaropus tricolor; *Anas platyrhynchos* y *Anas americana*;
Himantopus mexicanus; *Ixobrychus exilis*; *Tigrisoma mexicanum*

Fotos: P. Ramírez-Bastida

Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively

Patricia Ramírez-Bastida · Adolfo G. Navarro-Sigüenza ·
A. Townsend Peterson

Received: 7 November 2007 / Accepted: 3 April 2008
© Springer Science+Business Media B.V. 2008

Abstract The aquatic birds of Mexico include both a rich fauna of residents and a significant proportion of migratory species that breed in Canada and the United States, yet their distribution and richness patterns remain poorly known. We developed a detailed database of occurrences, and estimated distributions using niche modeling interpolations for 134 species associated with wetlands. Validations of the resulting maps indicated that the niche-modeling approach yields a useful picture of aquatic bird species distributions in the country. Richness patterns among aquatic birds differ from those for landbirds: species richness is concentrated in coastal areas, but endemism is focused in the Transvolcanic Belt and the Altiplano. Place prioritization exercises identified sets of areas that would maximize the protection of this diversity.

Keywords Aquatic birds · Conservation areas · Wetlands · Species richness · Complementarity · Mexico

P. Ramírez-Bastida (✉)
Laboratorio de Zoología, Edificio L-221, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de los Barrios 1, Tlalnepantla, México, Estado de México 54090, México
e-mail: rbastida@servidor.unam.mx

P. Ramírez-Bastida
Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México

A. G. Navarro-Sigüenza
Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacan, Distrito Federal México 04510, México
e-mail: fcvg01@servidor.unam.mx

A. T. Peterson
Natural History Museum and Biodiversity Research Center, The University of Kansas, Lawrence, KS 66045, USA
e-mail: town@ku.edu

Introduction

The complex topography and mosaic of habitats across Mexico create a diverse landscape that has made possible the evolution and coexistence of a great diversity of species, ranked among the top 10 countries in terms of biodiversity (Mittermeier and Goettsch 1992; Neyra and Durand 1998; Ramamoorthy et al. 1993; Olson and Dinerstein 2002). One component of this diversity is aquatic birds, a large proportion of which are seasonal migrants shared with Canada and the United States. In difference with those two countries, however, in Mexico, water bodies of cover <4% of overall surface area (CNA 2006); not only is this overall extent low, but also most of these areas lack information regarding their biodiversity (Arriaga-Cabrera et al. 1998).

Mexico has invested heavily in documenting its 245 Important Bird Areas (“IBAs,” CIPAMEX and CONABIO 1999; Arizmendi and Márquez-Valdelamar 2000). Nevertheless, in most cases, aquatic bird diversity sees only a secondary role, as its richness and uniqueness is not as great as that of terrestrial birds. Although large-scale studies of Mexican terrestrial bird diversity have been developed (Bojórquez-Tapia, et al. 1995; Escalante-Pliego et al. 1993; Arizmendi 2003; Rojas-Soto et al. 2003; Navarro et al. 2003b), the focus has been almost exclusively on terrestrial birds. Aquatic birds have been focal only in designation of 65 RAMSAR sites (Pérez-Arteaga et al. 2002; Ramsar Bureau 2006), and in identification of 28 priority wetlands areas by Ducks Unlimited de México (DUMAC; Carrera and de la Fuente 2003).

Wetlands areas in Mexico have nonetheless seen considerable reduction and destruction (De la Lanza and García 2002; CNA 2006; UNESCO 2006), which has affected several species negatively. In particular, the grackle *Quiscalus palustris* went extinct around 1900 from the wetlands areas around Mexico City (Peterson 1998). Several aquatic bird species are presently accorded some status of endangerment or threat (Rose and Scott 1997; US Fish and Wildlife Service 2007; Skagen et al. 1999; Pérez-Arteaga and Gaston 2004; US Shorebird Conservation Plan 2004; Ramsar Bureau 2006).

The Atlas of Mexican Bird Distributions (Navarro et al. 2003a, b) assembled a standardized, centralized, and georeferenced database summarizing the Mexican bird holdings of 64 biocollections institutions in Mexico, North America, and Europe, as well as records harvested from the scientific literature (Rodríguez-Yañez et al. 1994). The data base includes >330,000 records, constituting a rich resource for many studies (Navarro 1992; Morales-Pérez and Navarro 1991; Hernández-Baños et al. 1995; Navarro et al. 2001; Medina-Macías 2002; Peterson et al. 2002a, b; Peterson and Holt 2003; García-Trejo and Navarro 2004; Nakasawa et al. 2004). Recent specialized reports (e.g., Howell and Prairie 1989; López-Ornat et al. 1989; Villaseñor 1993, Ramírez-Bastida et al. 1994; Schaldach et al. 1997; Carmona et al. 1999; Navarro and Peterson 1999, Rojas-Soto and Navarro 1999, Forcey 2002a, b; Garza-Torres and Navarro-Sigüenza 2003; Vázquez-Rivera 2004) provide additional information regarding aquatic bird distributions in Mexico.

This study centers on providing a summary of aquatic bird diversity patterns and optimal strategies for their conservation in Mexico. We attempt to (a) develop distributional summaries for each aquatic bird species; (b) summarize overall patterns of distribution, species richness, and endemism among aquatic birds; (c) compare these patterns with protected and priority areas for conservation in Mexico; and (d) evaluate suites of areas as means of conservation of this diversity. Throughout, we emphasize the balance between understanding what information exists and identifying information gaps.

Methods

Occurrence data

From the Atlas of Mexican Bird Distributions (Navarro et al. 2003a, b), we derived input data for this project from >330,000 primary biodiversity records (i.e., records placing an individual species at a point in space and time). We selected 134 species that inhabit lakes, marshes, rivers, and estuaries (marine birds are not included in this study, as patterns are quite different, and given gaps in data availability that would prevent a comprehensive view of diversity patterns). In all, for the focal species, 7,903 unique occurrence records were available for this study (range 1–406 per species, mean 69.0 ± 70.1). As necessary, we developed data sets for species, summarizing year-round distribution for resident species, and summer and winter distributional areas for migratory species (Howell and Webb 1995; AOU 1998).

Distributional summaries

We used the Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (GARP; Stockwell and Noble 1992; Stockwell and Peters 1999), as implemented in DesktopGarp (University of Kansas Center for Research 2002) to develop ecological niche models, which were, in turn, processed into distributional estimates (Soberón and Peterson 2005). The raw results of analysis with GARP can be considered summaries of potential distributions of species, so assumptions of dispersal ability and distributional limitation are necessary to estimate the actual distribution of a species (see below).

To characterize ecological landscapes over the broad range of this group, we used nine of the ‘bioclimatic’ variables from the WorldClim data set (Hijmans et al. 2006): annual mean temperature, maximum temperature of warmest month, minimum temperature of coldest month, annual temperature range, temperature seasonality, annual precipitation, precipitation of wettest and driest months, and precipitation seasonality. Given that the occurrence data were of rather low precision (perhaps accurate to 5–10 km), we used the coarsest-resolution data set in WorldClim (pixel resolution 0.17°). Although our niche analyses (see below) focused on climatic dimensions, we included four dimensions of topography (elevation, slope, aspect, compound topographic index) from the Hydro-1K data set (USGS 2006) in model development, as these variables can modify how animals experience climates (e.g., north-facing slopes versus south-facing slopes), and are known to contribute positively to model quality (Peterson and Cohoon 1999). Topographic variables were resampled to 0.17° to match the resolution of the WorldClim data.

GARP is an evolutionary-computing approach to discovery of nonrandom associations between occurrences and raster GIS data layers that describe potentially relevant aspects of ecological landscapes. As GARP has been used widely (Peterson 2001, 2005; Anderson et al. 2002, 2003; Stockwell and Peterson 2002), we do not present detailed descriptions of the methodology herein. In general, all analyses were run on default settings, and the best-subsets procedure (Anderson et al. 2003) was used to choose a subset of models for further consideration, which were then summed to produce a single grid summarizing model agreement in predicting presence versus absence. This grid was converted to a binary prediction of presence versus absence by choosing the lowest threshold at which the species known to occur (Pearson et al. 2006). The result was a set of binary grids

summarizing the geographic extents of the environmental niches calculated by GARP for all species.

The raw ecological niche model results were often broader than actual distributions. When these areas of overprediction were disjunct and discontinuous from areas of known occurrence, we removed them to create an actual distributional estimate (Soberón and Peterson 2005), referring to recent coarse-resolution summaries of distributional areas of species (Howell and Webb 1995; AOU 1998).

Validation of distributional predictions

Before detailed analysis of patterns in the distributional summaries for each species, we evaluated the validity of these summaries in anticipating independent data sets regarding geographic distributions. As such, we selected 44 wetlands areas of diverse sizes and locations in Mexico (Fig. 1), for which recent inventories were available that were not included in the data input into the niche models (Ramírez-Bastida 2000; CONABIO 2002). Most (116 of 134) of the species in the study (Appendix) were represented at these sites. We used each of the 44 sites with recent inventories to develop 2×2 contingency tables of actual versus predicted presence, which could be evaluated using a chi-square statistic ($df = 1$). For comparison, we developed a parallel evaluation based on distributional summaries drawn from Ridgely et al. (2003), based on field guide range maps.

Predictions	Real inventory	
	Presence	Absence
Presence	a	b
Absence	c	d

From the contingency table above, we calculated overall accuracy as $(a + d) / (a + b + c + d)$, and levels of correct prediction of presence ($=a$), false positives ($=b$), false negatives ($=c$), and correct prediction of absence ($=d$). We summarized each of the 44 independent inventory datasets as counts of species falling into categories a, b, c and d (see above). We then used a 2×2 contingency test for independence of two variables with a chi squared statistic ($df = 1$) to calculate the probability that the observed degree of coincidence between model predictions and independent observations is a result of chance alone. We compared a, b, c, and d values between GARP and Ridgely distributional summaries via t -tests for paired samples ($\alpha = 0.05$, $df = 44$), or via Wilcoxon signed-ranks tests ($\alpha = 0.05$), depending on whether a particular variable was normally distributed, as tested using NCSS 2000 (Hintze 2001).

Analysis

Individual summaries of distributions of species were summed to produce richness maps for resident species, summer resident species, and winter resident species, as well as of endemic species only (SEMARNAT 2002; Navarro-Sigüenza and Peterson 2004). Maps from Ridgely et al. (2003) were summed similarly for comparison. From the GARP maps, we derived predicted numbers of resident and migrant species for 822 wetlands of >25 ha

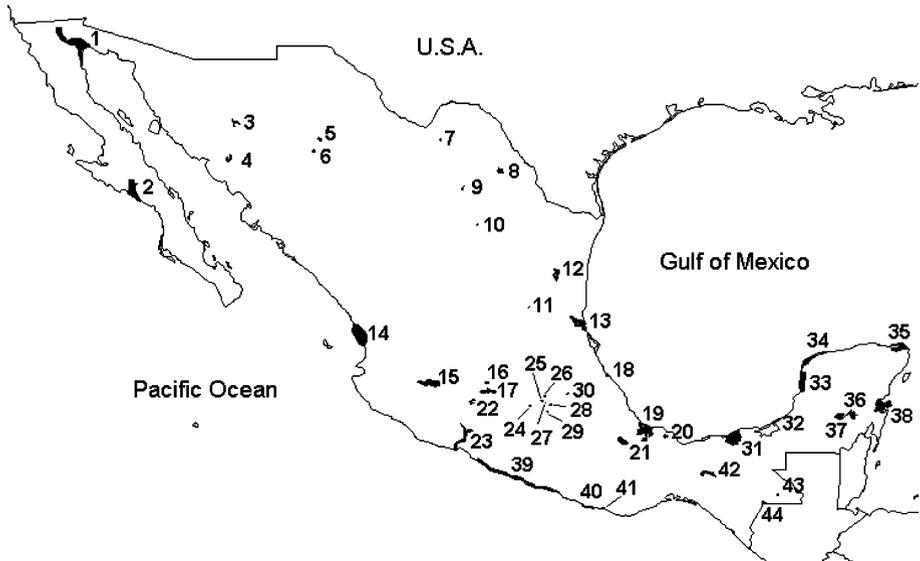


Fig. 1 Wetlands used to compare GARP models and distribution proposals (Ridgely et al. 2003) based on 44 sites with recent inventories: 1—Colorado River delta, 2—San Ignacio Lagunar complex, 3—Plutarco Elías Calles dam, 4—Álvaro Obregón dam, 5—Bustillos lagoon, 6—Los Mexicanos lagoon, 7—Sabinas River origin, 8—Venustiano Carranza dam, 9—Cuatro Ciénegas, 10—El Tulillo, 11—La Escondida, 12—Vicente Guerrero dam, 13—Altamira wetlands, 14—Marismas Nacionales, 15—Chapala lake, 16—Yuriria lagoon, 17—Cuitzeo lagoon, 18—Tecalutla estuary, 19—Alvarado coastal lagoons, 20—Catemaco Lake, 21—Temascal dam, 22—Pátzcuaro lake, 23—Infiernillo dam, 24—Antonio Alzate dam, 25—Guadalupe dam, 26—Zumpango dam, 27—Vaso Carretas, 28—Texcoco wetlands, 29—Tláhuac lagoon, 30—Tecomulco lagoon, 31—Pantanos de Centla, 32—Sabancuy estuary, 33—Los Petenes, 34—Ría Celestún, 35—Yum-balam, 36—Canan, 38—Calakmul, 38—Sian Ka'an, 39—Guerrero coastal lagoons, 40—Chachagua-Pastoría lagoon, 41—Manialtepec lagoon, 42—Netzahualcóyotl dam, 43—Miramar lagoon, 44—Montebello lagoons

(CONABIO 1999) using ArcView (version 3.2; ESRI 1999). This information was related to basic characteristics of the wetlands (elevation, latitude, longitude; INEGI et al. 1990). We also compared species richness values for each grid cell (resolution 0.05°) with GIS data layers summarizing Mexican Federal Natural Protected Areas (CONANP 2007), Terrestrial Priority Regions (Arriaga et al. 2000; CONABIO 2004), Hydrological Priority Regions (Arriaga et al. 2002), Important Bird Areas (CIPAMEX and CONABIO 1999), RAMSAR sites (Ramsar Bureau 2006), and DUMAC Priority Wetlands (Carrera and de la Fuente 2003) to assess whether areas recognized as priority under diverse criteria coincide with areas of greatest species richness of aquatic birds.

We also considered the importance of particular species for conservation efforts. In particular, in Mexico, we used the threat and endangerment categories listed in the Norma Oficial Mexicana-059 (SEMARNAT 2002), as well as endemic evolutionary species; (Navarro-Sigüenza and Peterson 2004), North American waterfowl showing population declines (US Fish and Wildlife Service 2007), designation as “of concern” for shorebirds and waterbirds (WCA (Waterbird Conservation for the Americas) 2006; WHSRN 2007), declining populations in the North American Breeding Bird Survey, although it should be noted that these surveys do not extend broadly into Mexico (Sauer et al. 2005), and some risk status according to the World Conservation Union (IUCN) and the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES; NatureServe 2004).

Place prioritization

To explore spatial patterns of coincidence among species' distributions, and how these patterns relate to strategies for protection of a maximal portion of the aquatic avifauna under the constraint of limited resources, we used place prioritization algorithms to optimize selection of sites (Pressey et al. 1996; Williams et al. 1996; Sánchez-Cordero et al. 2005a). In particular, we used the ResNet place-prioritization software package (Sarkar et al. 2002, 2004) to analyze distributions of 132 species across 787 wetlands of >25 ha, but focused our attention on those species of conservation concern (see above). We used weighting by rarity, as that is known to yield better optimizations of areas (Sarkar et al. 2004), and set four goals for the analysis: (a) cover 10% of the distributional area of all species; (b) cover 10% of the distributional area of birds species not of conservation concern, but 20% of the distributional area for species of concern; (c) similar to (b), but with the goal of 50% of the distributional area for priority species; (d) similar to (b), but with the goal of 100% of the distributional area of priority species, (e) 10% of distribution for the 31 priority species, and (f) 10% of the distributional area for one quasiendemic and seven endemic species.

Results

Validation

We included in this study a total of 134 species: 63 year-round residents, 14 summer residents, and 57 winter residents (Appendix 1). Comparing ecological niche model predictions for these species with results of actual inventories at 44 sites (Fig. 1), the niche model predictions were significantly predictive of independent inventory species composition in 40 of 44 cases, suggesting strongly that the niche models have significant predictive power regarding the composition of local aquatic bird faunas (Appendix 2). Comparing with the Ridgely et al. (2003) range summaries, we saw no difference in overall accuracy ($t = 0.284$, $df = 43$, $P = 0.77$; Fig. 2a), but there were more correct predictions of presence in the Ridgely maps ($Z = 4.670$, $P < 0.00001$; Fig. 2b), more correct predictions of absence in the niche model results ($Z = 4.056$, $P < 0.0001$; Fig. 2c), more overprediction (false presences) in the Ridgely maps ($Z = 4.633$, $P < 0.00001$; Fig. 2d), and more omission (false negatives) in the niche model results ($Z = 4.7291$, $P < 0.00001$; Fig. 2e).

General patterns of aquatic bird diversity

The richness maps based on the Ridgely maps are very homogeneous compared with the niche model results (Appendix 2), which provide considerably more detail. In the niche model results, aquatic bird diversity is seen clearly to be focused in the coastal lowlands (particularly along the Gulf coast); the Transvolcanic Belt and Altiplano are seen as secondary in terms of overall species richness. This pattern is consistent over seasons, although numbers of species nearly double in the winter season, thanks to the arrival of so many migratory species. Endemism, however, is strongly focused in the Transvolcanic Belt, followed by southern Baja California and the Altiplano (Figs. 3 and 4).

The relationship of species richness with elevation is quite clear. All of the wetlands with highest species richness lie below 200 m of elevation, with up to 50 resident species.

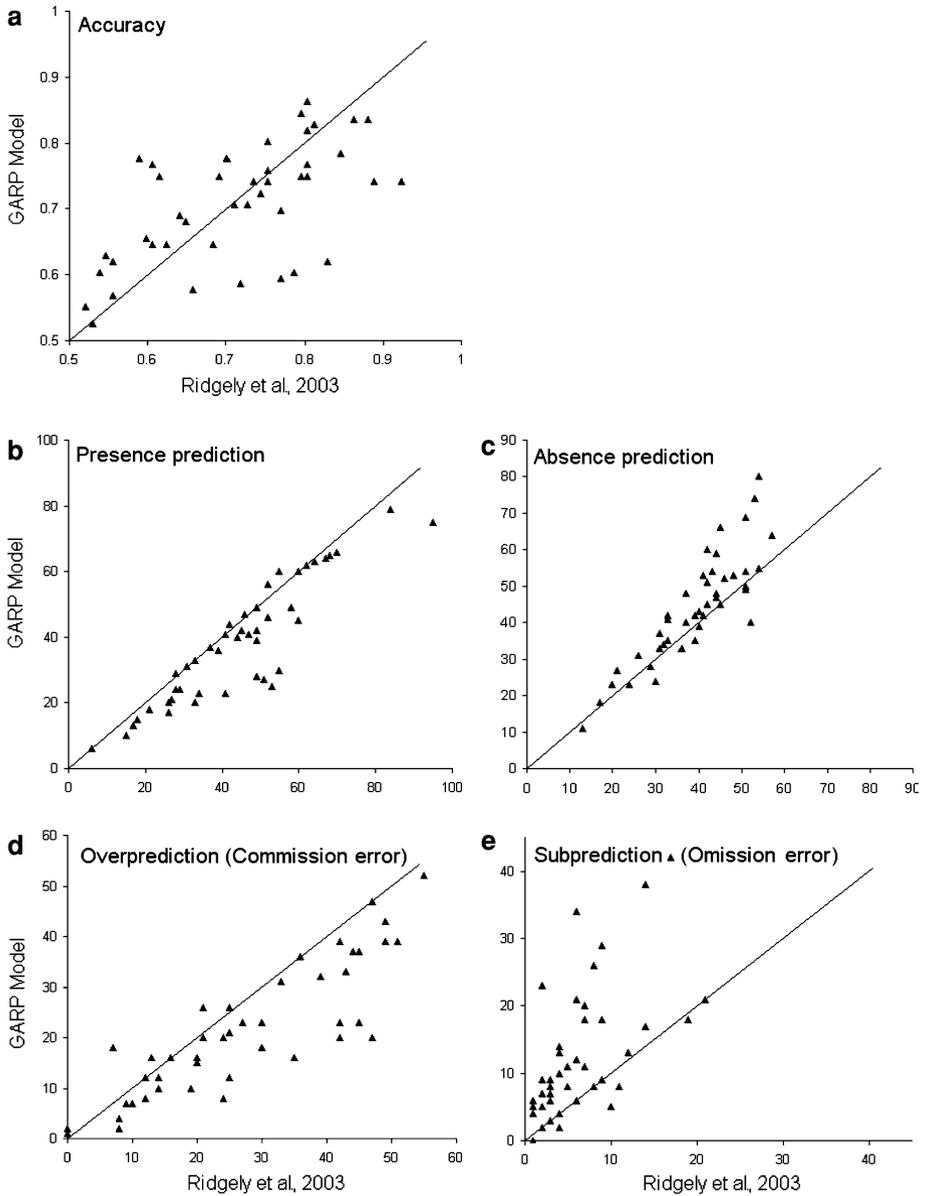


Fig. 2 Comparison between GARP models and distribution maps (Ridgely et al. 2003), as related to sites with recent inventories: (a) accuracy, (b) presence prediction, (c) absence prediction, (d) overprediction, (e) subprediction

Richness then declines at elevations up to 1,000 m, but shows a small increase up to 3,000 m (Fig. 5a); these patterns are similar among migratory species (Fig. 5b). Related to latitude (Fig. 5c, d), and longitude (Fig. 5e, f), broad patterns are obscured by specific foci, corresponding, for example, to the wetlands along the Gulf of Mexico coast.

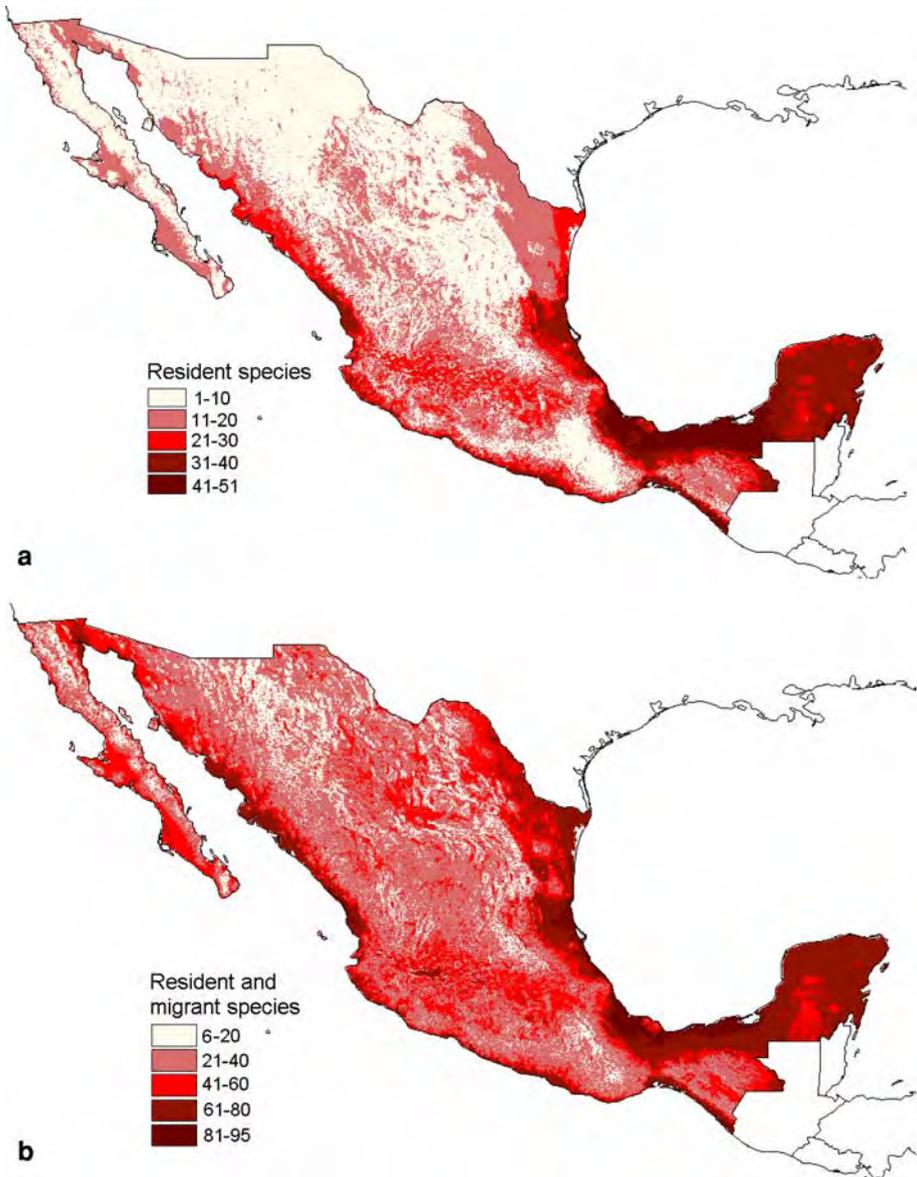


Fig. 3 Species richness estimates obtained by summing distributional predictions from ecological niche models: (a) resident species, (b) Resident and migrant species

Priority areas for conservation

The protected areas and priority areas considered differ in their representation of aquatic bird diversity hotspots (Fig. 6). Protected areas were of the smallest areal coverage, but also coincided least with the richness patterns for aquatic birds, particularly regarding the coastal areas and the Transvolcanic Belt (Fig. 6a). Priority areas were somewhat more

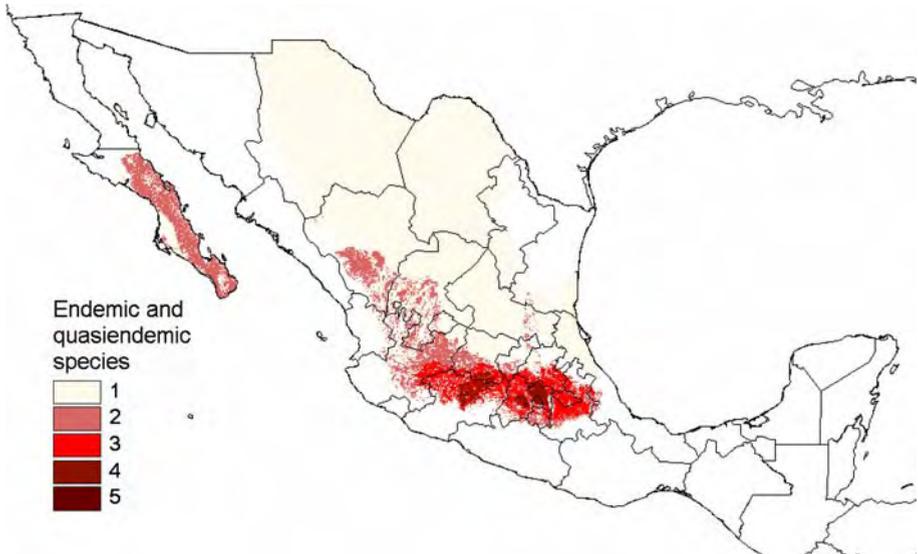


Fig. 4 Richness of endemic and quasiendemic aquatic bird species, as estimated from ecological niche model results

representatives, given their broader extent, but nonetheless coincided little with aquatic bird richness hotspots, except for a few areas along the Pacific coast (Fig. 6b). Hydrological Priority Regions, of still greater extent, showed closer correspondence with richness hotspots, and indeed, of all of the schemes considered, were that which was most representative of the richness hotspots (Fig. 6c). IBAs lacked key representation along the Gulf Coast, in the Altiplano, and in the western part of the Transvolcanic Belt (Fig. 6d). RAMSAR sites represented best wetlands in the Transvolcanic Belt and along the southern coast of Mexico, but lacked representation along the Gulf of California and in the Altiplano (Fig. 6e). Finally, DUMAC sites were mostly concentrated in the northwestern parts of Mexico, and were lacking in the south (Fig. 6f).

Priority species

Of the 134 species treated in this paper, 32 (23.9%) had some endangerment or endemism status in Mexico; 7 are endemic to Mexico and 1 nearly so. In addition, 3 have declined in population from a historical average, 58 are of moderate or high concern in the United States, 11 are declining significantly in the North American Breeding Bird Survey data, 8 hold some risk category in Latin America, 12 are included in some appendix of CITES, and 13 have some global risk status according to IUCN (Appendix 1). As such, in all, 91 species (67.9%) are considered to be of special concern for conservation for our analyses.

The wetlands selected in the ResNet analyses varied according to the goals set in each analysis. If all species are treated equivalently, with a 10% representation goal, ~10% of all wetlands are selected for detailed work ($N = 75$, 240,296 ha; Fig. 7a), concentrated on the Gulf Coast and the southeast, and in the Transvolcanic Belt. If priority species are accorded double weighting in the analysis, almost 18% of wetlands are identified as priority ($N = 141$, 264,139 ha; Fig. 7b); similarly, according priority species a 5-fold higher weighting, 45% of wetlands in the analyses are identified as priority

Fig. 5 The relationship between elevational intervals and average aquatic bird species richness: **(a)** residents and **(b)** residents and migrants. Bars in the histograms indicate maximum and minimum values. **(c and d)** Relationships between latitude and aquatic species richness (residents and residents and migrants respectively). **(e and f)** Relationships between longitude and aquatic bird species richness (residents and residents and migrants, respectively)

($N = 355,464,950$ ha; Fig. 7c). Obviously, when priority species are accorded a goal of 100%, almost 92% of the wetlands are identified as key, including sites in the Altiplano, along the Gulf Coast, and in the southeast ($N = 723, 989,260$ ha; Fig. 7d). These wetlands selected in the place-prioritization exercises coincided closely with the Hydrological Priority Regions (Fig. 7). Considering more realistic goals: for 10% representation of priority species, only 69 wetlands (52,815 ha; Fig. 7e) were identified; considering only endemic species, although numbers of wetlands sites were reduced, the area increased ($N = 15, 160,700$ ha; Fig. 7f), largely owing to inclusion of the very large Lago de Chapala in the latter set of results (Appendix 4).

Discussion

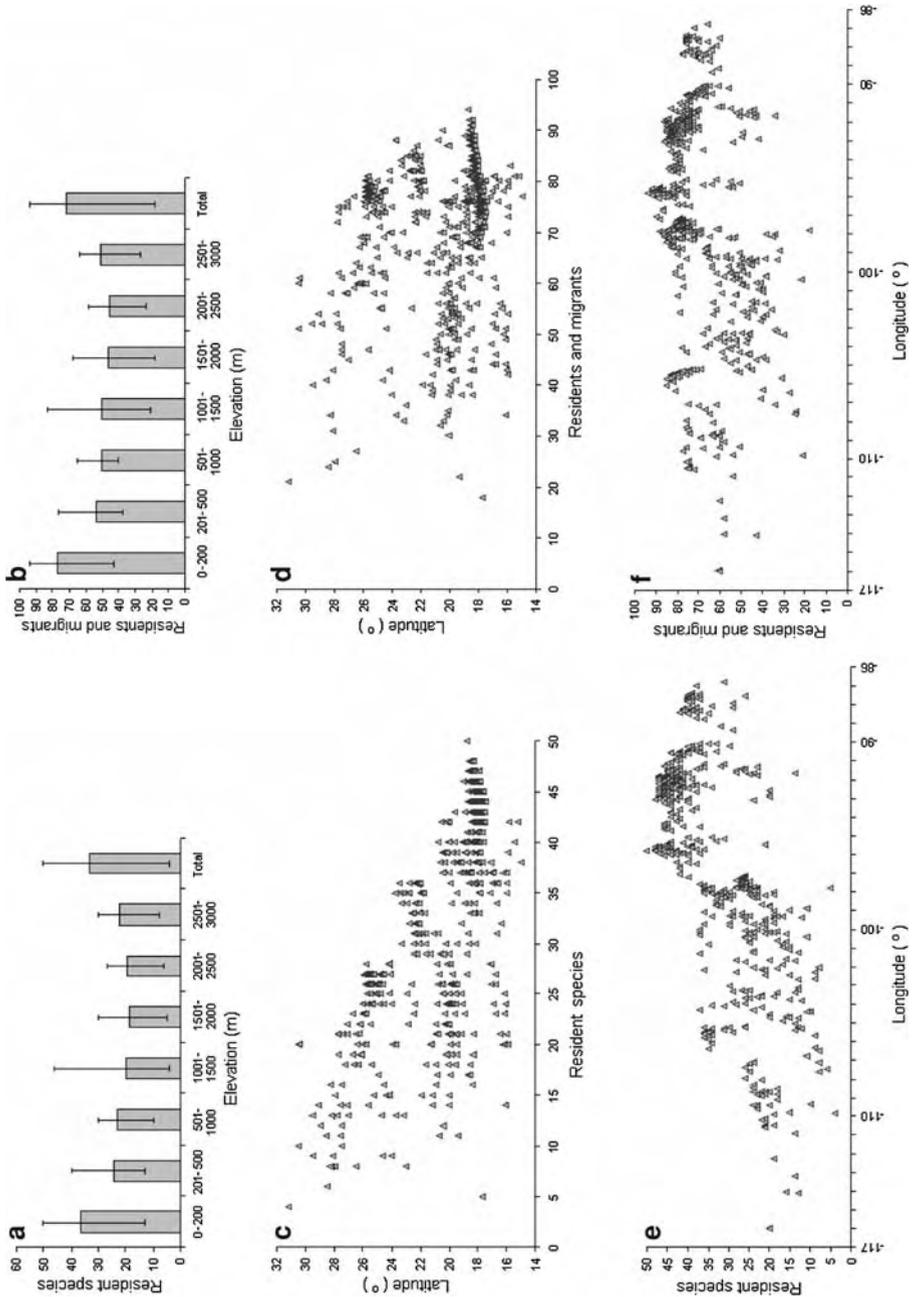
Utility of the distributional models

Although Mexican biodiversity has seen considerable analysis using niche modeling tools (Navarro 1998; Peterson et al. 1999, 2001, 2002a, b; Arizmendi 2003; Rojas-Soto et al. 2003), these applications have generally compared model predictions against null expectations. In contrast, we compared our model predictions against real inventory results at 44 sites. This step, which is relatively rare in such studies (cf. Fera and Peterson 2002), allows us to characterize in greater detail the pluses and minuses associated with these models.

The distributional estimates that we developed show a certain amount of overprediction (false-positive) and underprediction (false-negative) error (Anderson et al. 2003; Loiselle et al. 2003). Although the latter error component is minimized in our work via the best subsets procedure (Anderson et al. 2003), this same step may produce greater false-positive error. Still, in comparison with the Ridgely et al. (2003) range map data set, our range summaries clearly offer greater detail and a better balance overall in error components for broad-scale ecological analyses (Fera and Peterson 2002; Hawkins et al. 2003; Lira-Noriega et al. 2007). In general, in this comparison, using such GARP models for distributional estimates, we can anticipate that they will underestimate species richness somewhat, but overestimate richness only very little.

Species richness patterns and wetlands characteristics

The patterns of species richness identified herein agree with patterns in terrestrial birds regarding the eastern and southeastern lowlands as the major focus of species diversity (Escalante-Pliego et al. 1993; García-Trejo and Navarro 2004), but differ in emphasizing the slim coastal zone rather than the lowland tropical forest. Also, the identification of the Altiplano and the Transvolcanic Belt as concentrations of endemism coincides, at least in the latter case agrees with terrestrial endemism patterns (Peterson and Navarro 2000). Although species richness varies in magnitude, spatial patterns are simply amplified, and do not appear to differ much among seasons. Other terrestrial vertebrates show spatial patterns of richness that are similar to those of terrestrial birds (Ramamoorthy et al. 1993; Arita et al. 1997; Fa and Morales 1993; Flores-Villela 1998). Once again, a key area of



difference is that of the focus of species richness being in the southeastern Mexican rain forests, versus clustering more tightly along the coast.

We considered a total of 822 wetland sites with extents of >25 ha in this study, although it is calculated that ~14,000 wetlands actually exist in Mexico, most with extents of

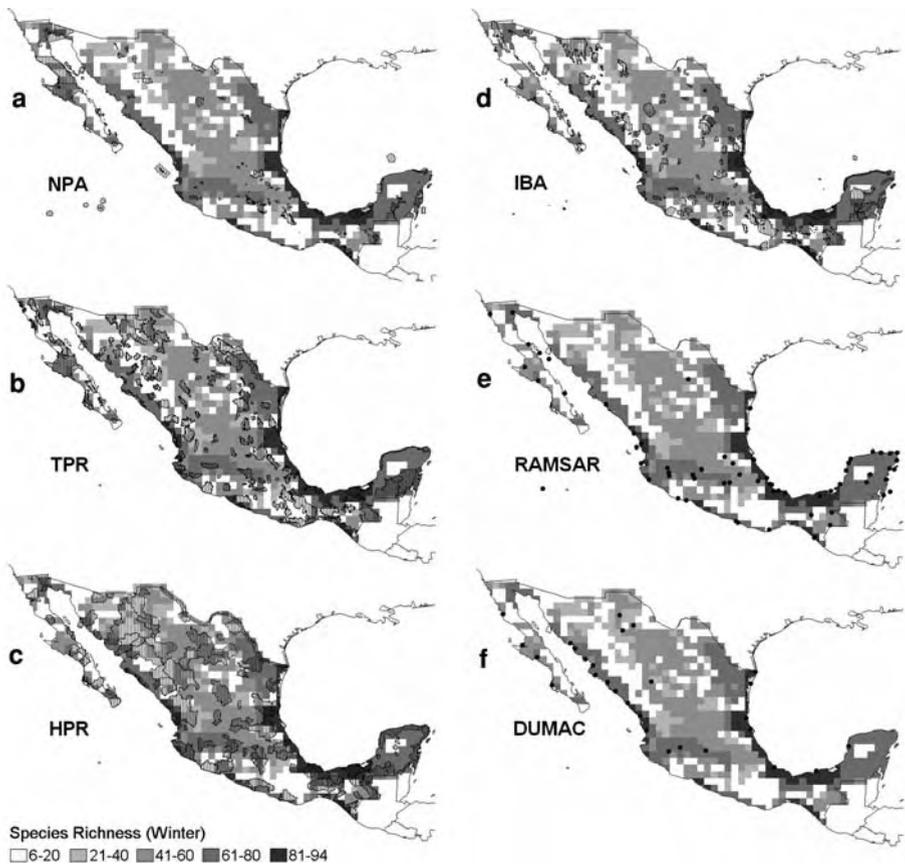


Fig. 6 Comparison of resident and migrant aquatic bird species richness, with priority conservation areas: (a) NPA, (b) TPR, (c) HPR, (d) IBA, (e) Ramsar and (f) DUMAC

<10 ha (Hernández-Avilés et al. 2002), as well as some 4,000 reservoirs, 667 of which are classified as “large” by international standards (CNA 2006). As such, we can consider that extensive systems of small wetlands are present in some regions (particularly the Altiplano and the Transvolcanic Belt), that as a groups may constitute extensive habitat for aquatic birds.

Importance of the species analyzed

This study included all aquatic birds in the Mexican avifauna, including both rare species and common and widely distributed species. Only 31 of the 134 species included have some NOM risk category (Appendix; SEMARNAT 2002), although others are accorded some risk status in North America or at global levels (NatureServe 2004; Sauer et al. 2005; WCA (Waterbird Conservation for the Americas) 2006; US Fish and Wildlife Service 2007; WHSRN 2007).

We included evolutionary species, rather than the customary biological species. Five of these species are strictly endemic to Mexico, and one more is nearly endemic

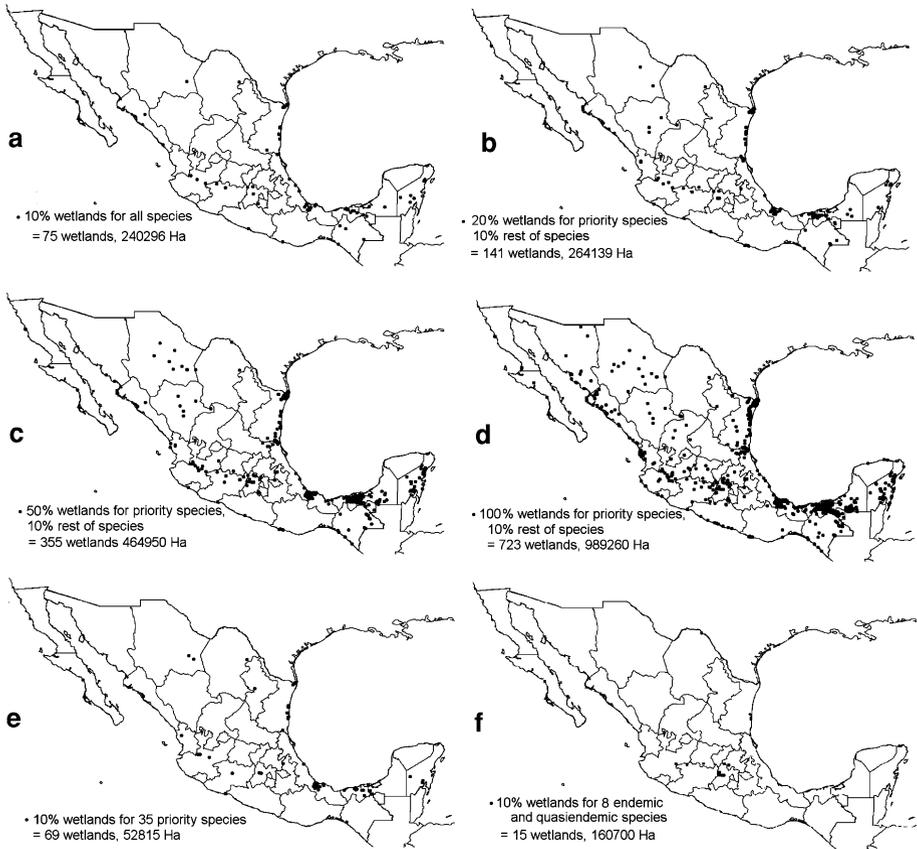


Fig. 7 Complementarity analysis for 787 wetlands >25 ha. Target representation and resulting number of wetlands and surface area (ha) are shown for each analysis

(Navarro-Sigüenza and Peterson 2004; Peterson and Navarro-Sigüenza 2006). We found that these species are clearly concentrated in wetlands of central Mexico, and to a lesser degree across parts of northern Mexico. Both this suite of species and their geographic foci of richness and endemism have been underappreciated in international conservation prioritization efforts.

The aquatic endemics of Mexico are clearly concentrated in the Transvolcanic Belt of central Mexico. The most broadly distributed of these species *Anas platyrhynchos diazi*, which is quasiendemic to the country (Navarro-Sigüenza and Peterson 2004). However, more narrowly distributed are *Coturnicops goldmani*, *Melospiza mexicana*, *M. rivularis*, *Agelaius gubernator*, *Geothlypis beldingi*, *G. flavovelata*, and *G. speciosa*, all concentrated in central and northern Mexico (Navarro-Sigüenza and Peterson 2004); five of these eight species are restricted to the Transvolcanic Belt, two are restricted to the Baja California peninsula, and one is found only along the coast of the Gulf of Mexico. These unique species clearly represent the most critical focus for aquatic bird conservation attention in Mexico.

Of the 134 species studied, Mexico holds the southern distributional limit for 38 (particularly in ducks and geese), and the northern limit for 20; another nine species arrive only north marginally into southernmost Mexico. As such, for almost 50% of Mexican aquatic bird species, habitat reduction in Mexico would have repercussions for the overall distributional extent of the species as a whole. For migratory species, Mexico holds important areas for resting and staging en route between breeding and wintering areas (Pérez-Arteaga and Gaston 2004; US Shorebird Conservation Plan 2004).

Implications for conservation

Various proposals and plans have been developed for biodiversity conservation in Mexico, based on patterns of distribution and diversity in diverse taxonomic groups, principally vertebrates (Bojórquez-Tapia et al. 1995; Arita et al. 1997; Arriaga et al. 1997; Arizmendi 2003; Rojas-Soto et al. 2003; García-Trejo and Navarro 2004; Fuller et al. 2006; García 2006). If all of the 'priority areas' identified in these various efforts are superimposed, they cover a large portion of the surface area of the country.

Analysis of patterns of complementarity among areas in terms of biodiversity composition is considered to be an effective approach for prioritization of sites for conservation action (Pressey et al. 1996; Williams et al. 1996; Sarkar et al. 2002, 2004; Sánchez-Cordero et al. 2005b; Fuller et al. 2006, 2007). In the present case, and given the goals set area requirements are high—50–92% of Mexican wetlands of >25 ha—would have to be protected to maintain the distributional areas of the species in question. More modest conservation goals focused on species at risk or on endemic species, emphasized Mexican wetlands more clearly.

Acknowledgments We thank J. Kushlan for helpful and encouraging comments on the manuscript, the staff of the Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, who captured and georeferenced most of the data on which this study is based. Omar Espinosa, Jorge A. Cruz, and Etaín Varona helped extensively in field efforts. Coro Arizmendi, Enrique Martínez-Meyer, and the late José Luis Osorno, provided valuable comments to previous versions of this paper. We also thank the curatorial staff of the following institutions for access to specimens and data under their care: American Museum of Natural History; Academy of Natural Sciences of Philadelphia; Bell Museum of Natural History, University of Minnesota; British Museum (Natural History); California Academy of Sciences; Carnegie Museum of Natural History; Canadian Museum of Nature; Cornell University Museum of Vertebrates; Denver Museum of Natural History; Delaware Museum of Natural History; Fort Hays State University; Field Museum of Natural History; Florida Museum of Natural History; Instituto de Ecología y Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas; Iowa State University; University of Kansas Natural History Museum; Los Angeles County Museum of Natural History; Leiden Natuurhistorische Museum; Louisiana State University Museum of Natural Science; Museum of Comparative Zoology, Harvard University; Moore Laboratory of Zoology, Occidental College; Michigan State University; Museum Nationale d'Histoire Naturelle, Paris; Museum of Vertebrate Zoology; Museo Civico di Storia Naturale, Milan; Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México; University of Nebraska; Royal Ontario Museum; San Diego Natural History Museum; Texas Cooperative Wildlife Collections; University of Arizona; University of British Columbia Museum of Zoology; University of California Los Angeles; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; U.S. National Museum of Natural History; Western Foundation of Vertebrate Zoology; and Peabody Museum, Yale University. Financial support was provided by grants from SEMARNAT-CONACyT (C01-0265), PAPIIT (IN208906-2), a Doctoral Studies Scholarship from DGAPA-UNAM, and a PAPCA-UNAM grant in 2003.

Appendix 1

List of aquatic bird species included in this analysis, summarizing conservation status and distribution in the Americas

Species ^a	Map ^b status, Endemism ^c	Conservation status, Endemism ^c	USA		Mexico NW	N, NW	Altiplano	Transvolcanic Belt	Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula	Caribbean	Central America	South America
			Alaska	Canada										
1 <i>Dendrocygna autumnalis</i>	r	Inc, G5, LeC, Ap III							x	x	x		x	x
2 <i>Dendrocygna bicolor</i>	r	G5, LeC, Ap III		rd					x	x	x		rd	x
3 <i>Anser albifrons</i>	w	G5, LeC	x	rd	rd	x	rd		rd	rd				
4 <i>Chen caerulescens</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	rd		x	rd				
5 <i>Branta bernicla</i>	w	A, G5, LeC	rd	rd	rd									
6 <i>Branta canadensis</i>	w	Inc, G5, LeC	x	x	x	rd		rd						
7 <i>Cygnus columbianus</i>	w	P, G5, LeC	x	x	rd	rd								
8 <i>Cairina moschata</i>	r	P, G4, Ap III							x	x	x		x	x
9 <i>Aix sponsa</i>	w	Inc, G5, LeC	rd	x	x		x				x			
10 <i>Anas strepera</i>	w	Inc, G5, LeC	x	x	x		x		x	x				
11 <i>Anas americana</i>	w*	BA, G5, LeC	x	x	x		x		x	x	rd		rd	rd
12 <i>Anas platyrhynchos</i>	s,w	Inc, G5, LeC	x	x	x	rd						x		
13 <i>Anas diazi</i>	r	A, Q												
14 <i>Anas discors</i>	w	G5, LeC	x	x	x		x		x	x	x		x	rd
15 <i>Anas cyanoptera</i>	s,w	G5, LeC	rd	x	x		x		x	x	rd		rd	x
16 <i>Anas clypeata</i>	w	Inc, G5, LeC	x	x	x		x		x	x	x		x	rd
17 <i>Anas acuta</i>	w	BA, Dec, G5, LeC	x	x	x		x		x	x	x		x	rd
18 <i>Anas crecca</i>	w	G5, LeC	x	x	x		x		x	x	rd		x	

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	USA		Mexico		Caribbean		Central America	South America
			Alaska	Canada	N, NW	Atliplano	Transvolcanic Belt	Gulf		
19 <i>Aythya valisineria</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x		
20 <i>Aythya americana</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	rd	
21 <i>Aythya collaris</i>	w	G5, LeC	rd	x	x	x	x	rd	x	
22 <i>Aythya affinis</i>	w	BA, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	rd
23 <i>Bucephala albeola</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x		
24 <i>Bucephala clangula</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	rd	rd		
25 <i>Lophodytes cucullatus</i>	w	G5, LeC	x	x	rd	rd				
26 <i>Mergus merganser</i>	w	G5, LeC	x	x	x					
27 <i>Nomonyx dominicus</i>	w	A, G5, LeC			x	x	x	rd	x	x
28 <i>Oxyura jamaicensis</i>	s,w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	rd	
29 <i>Tachybaptus dominicus</i>	r	Pr, HC, G5, LeC		rd	x	rd	x	x	x	x
30 <i>Podilymbus podiceps</i>	s,w	HC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x
31 <i>Podiceps nigricollis</i>	s,w	MC, Inc, G5, LeC	x	x	x	x	x	x		
32 <i>Aechmophorus occidentalis</i>	r	MC, G5 LeC	x	x	x	x				
33 <i>Aechmophorus clarkii</i>	r	LC, G5, LeC		x	x	x				
34 <i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	s,w	MC, Inc, G3, LeC	x	x	rd	x	x	rd	rd	
35 <i>Pelecanus occidentalis</i>	r	MC, G4, LeC	rd	x	x	x	x	x	x	x
36 <i>Phalacrocorax brasilianus</i>	r	MC, G5, LeC		x	x	x	rd	x	x	x
37 <i>Anhinga anhinga</i>	r	MC, G5, LeC		rd					x	x
38 <i>Botaurus pinnatus</i>	r	HC, G3, G4, LeC							x	rd

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	Mexico										Caribbean	Central America	South America		
			USA	Canada	Alaska	NW		Transvolcanic Belt		Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula					
39 <i>Botaurus lentiginosus</i>	r	A, HC, G4, LeC	x			x	x	x	x	x	x	x					
40 <i>Ixobrychus exilis</i>	r	HC, G5, LeC	rd			x	x	x	x	x	x	x			x		rd
41 <i>Tigrisoma mexicanum</i>	r	HC, G4, LeC						x	x	x	x	x			x		
42 <i>Ardea herodias</i>	s,w	NCR, Inc, G5, LeC	x			x	x	x	x	x	x	x			x		rd
43 <i>Ardea alba</i>	r	NCR, Inc, G5, LeC	rd			x	x	x	x	x	x	x			x		x
44 <i>Egretta thula</i>	r	HC, Inc, G5, LeC				x	x	x	x	x	x	x			x		x
45 <i>Egretta caerulea</i>	r	HC, Dec, G5, LeC	x			x	x	rd	x	x	x	x			x		x
46 <i>Egretta tricolor</i>	r	HC, G5, LeC	rd			x	x		x	x	x	x			x		rd
47 <i>Butorides virescens</i>	r	LC, Dec, G5, LeC	rd			x	x	x	x	x	x	x			x		rd
48 <i>Agamia agami</i>	r	Pr, LeC							x	rd	x	x			x		x
49 <i>Nycticorax nycticorax</i>	r	MC, G5, LeC	rd			x	x	x	x	x	x	x			x		x
50 <i>Cochlearius zeledoni</i>	r	G4, LeC							x	x	x	x			x		x
51 <i>Plegadis chihi</i>	r	LC, Inc, G5, LeC	x			x	x	x	x	x	x	x			rd		x
52 <i>Platalea ajaja</i>	r	MC, Inc, G5, LeC							rd	x	x	x			rd		x
53 <i>Jabiru mycteria</i>	r	P, HC, G4, LeC, Ap I								rd	rd	x			rd		x
54 <i>Mycteria americana</i>	r	Pr, HC, G4, LeC													x		x
55 <i>Pandion haliaetus</i>	w	Inc, G5, LeC, Ap III	x			x	x	x	x	x	x	x			x		x
56 <i>Rostrhamus sociabilis</i>	r	Pr, HC, G4, G5, Ap II													x		rd
57 <i>Haliaeetus leucocephalus</i>	w	P, Inc, G5, LeC, Ap I	x			x	x	x	x	rd	rd	rd					
58 <i>Busarellus nigricollis</i>	r	Pr, G4, LeC, Ap II													x		x

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	Mexico					Central America			South America	
			Alaska	Canada	USA	NW	N, Atlaplano	Transvolcanic Belt	Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula	Central America
59 <i>Buteogallus anthracinus</i>	r	Pr, G4, G5, LeC, Ap II			rd			x	x	x	x	rd
60 <i>Buteogallus subtilis</i>	r	A							rd		x	rd
61 <i>Buteogallus urubitinga</i>	r	Pr, G4, LeC, Ap II						x	x	x	x	x
62 <i>Coturnicops goldmani</i>	r	P, End, HC, G4, LeC		x	rd			rd				
63 <i>Laterallus ruber</i>	r	HC, G3, G4, LeC			x			x	rd	x	rd	rd
64 <i>Laterallus jamaicensis</i>	w	P, HC + , G4, NT			x			rd		x		rd
65 <i>Rallus elegans</i>	r	Pr, HC, Dec, G4, LeC			x			x		x		
66 <i>Rallus limicola</i>	s,w	Pr, MC, G5, LeC			rd			x	rd		rd	
67 <i>Aramides cajaneae</i>	r	LC, G5, LeC			x			x	rd	x	x	x
68 <i>Amaurolimnas concolor</i>	r	A, G4, LeC						x			x	rd
69 <i>Porzana carolina</i>	s,w	HC, G5, LeC			x			x	x	x	x	rd
70 <i>Porzana flaviventer</i>	r	Pr, HC, GNR, LeC						x	x	x	rd	rd
71 <i>Pardirallus maculatus</i>	r	HC, G4, LeC						x	x	x	rd	x
72 <i>Porphyrio martinica</i>	r	HC, G5, LeC			rd			x	x	x	x	x
73 <i>Gallinula chloropus</i>	r	MC, G5, LeC		rd	x			x	x	x	x	x
74 <i>Fulica americana</i>	r	LC, G5, LeC		x	x			x	x	x	x	rd
75 <i>Heliomnis fulica</i>	r	Pr, HC, G4, LeC						x	rd	rd	x	x
76 <i>Aramus guaranae</i>	r	HC, G5, LeC		rd				x	x	x	x	x

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	USA				Mexico			Caribbean			Central America	South America
			Alaska	Canada	USA	Mexico	NW	N, NW	Transvolcanic Belt	Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula		
77 <i>Grus canadensis</i>	w	Pr, LC, Inc, G5, LeC, Ap II	x	x	x	x	x	x						rd
78 <i>Grus americana</i>	w	P, HC, G1, Ap I		rd					rd					
79 <i>Ploverialis dominica</i>	w	HC, G5, LeC	x	x	rd	x	x	x	x	x	x	x	x	x
80 <i>Charadrius alexandrinus</i>	s,w	HC, G4, LeC		x	rd			rd	rd	rd				rd
81 <i>Charadrius semipalmatus</i>	w	MC, G5, LeC	x	x	rd			rd	rd	rd	x			rd
82 <i>Charadrius vociferus</i>	s,w	MC, Dec, G5, LeC		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd
83 <i>Himantopus mexicanus</i>	r	HC, G5, LeC		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd
84 <i>Recurvirostra americana</i>	r	MC, G5, LeC		rd	x	x	x	x	x	x	x			rd
85 <i>Jacana spinosa</i>	r	MC, G5, LeC							x	x	x	x	x	
86 <i>Tringa melanoleuca</i>	w	MC, Inc, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
87 <i>Tringa flavipes</i>	w	MC, Dec, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
88 <i>Tringa solitaria</i>	w	HC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
89 <i>Actitis macularius</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
90 <i>Bartramia longicauda</i>	w	HC, G5, LeC	rd	rd	x	x	x	x	x	x				x
91 <i>Numenius americanus</i>	w	HC, G5, NT		rd	x	x	x	x	x	x	x			rd
92 <i>Numenius phaeopus</i>	w	HC, G5, LeC	x	rd	x			x	x	x	x			rd
93 <i>Calidris mauri</i>	w	HC, G5, LeC	rd	rd	x	rd	rd	x	x	x	x			rd

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	Mexico										Caribbean America	Central America	South America	
			Alaska	Canada	USA	NW	N, Atliplano	Transvolcanic Belt	Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula					
94 <i>Calidris minutilla</i>	w	MC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
95 <i>Calidris bairdii</i>	w	MC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
96 <i>Calidris melanotos</i>	w	MC, G5, LeC	rd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
97 <i>Calidris himantopus</i>	w	MC, G5, LeC	rd	x	rd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
98 <i>Limnodromus scolopaceus</i>	w	HC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd	rd
99 <i>Limnodromus griseus</i>	w	HC, G5, LeC	rd	rd	x	rd	rd	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd
100 <i>Phalaropus tricolor</i>	w	HC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd	x
101 <i>Larus atricilla</i>	w	NCR, Inc, G5, LeC		rd	rd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd
102 <i>Larus pipixcan</i>	w	MC, G4, G5, LeC	x	x	x	x	rd	x	x	x	x	x	x	rd	rd	rd
103 <i>Larus philadelphia</i>	w	MC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
104 <i>Larus delawarensis</i>	w	NCR, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
105 <i>Larus argentatus</i>	w	LC, Dec, G5, LeC	x	x	rd	rd	rd	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd
106 <i>Hydroprogne caspia</i>	w	LC, G5, LeC	rd	x	x	x	x	x	x	x	rd	x	x	x	x	x
107 <i>Sterna forsteri</i>	w	MC, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd	rd
108 <i>Chlidonias niger</i>	w	MC, G4, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd	rd	rd
109 <i>Megaceryle torquatus</i>	r	G5, LeC		rd				x	x	x	x	x	rd	x	x	x
110 <i>Megaceryle alcyon</i>	w	Dec, G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	rd
111 <i>Chloroceryle amazona</i>	w	G5, LeC						x	x	x	x	x	x	x	x	x
112 <i>Chloroceryle americana</i>	w	G5, LeC	rd	rd	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	USA		Mexico		Transvolcanic Belt		Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula	Caribbean	Central America	South America
			Alaska	Canada	NW	NW	Altiplano	Transvolcanic Belt						
113 <i>Chloroceryle aenea</i>	w	G5, LeC							x	rd	x		x	x
114 <i>Sayornis aquatica</i>	r									rd			x	
115 <i>Sayornis nigricans</i>	r	Inc, G5, LeC			rd	x	x	x	x	x				
116 <i>Tachycineta bicolor</i>	r	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
117 <i>Cistothorus elegans</i>	r												x	
118 <i>Cistothorus platensis</i>	s,w	Inc, G5, LeC			rd	x	x							
119 <i>Cistothorus palustris</i>	s,w	Inc, G5, LeC			x	x	x	x	x	x				
120 <i>Cinclus mexicanus</i>	r	Pr, G5, LeC	x	x	x	x	rd	rd	rd	rd			rd	
121 <i>Anthus rubescens</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x			rd	
122 <i>Seiurus noveboracensis</i>	w	G5, LeC	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	rd
123 <i>Seiurus motacilla</i>	w	Inc, G5, LeC			x	x								rd
124 <i>Geothlypis trichas</i>	w	Dec, G5, LeC			x	x	x	x	x	x	x		x	x
125 <i>Geothlypis beldingi</i>	r	P, End, G1												
126 <i>Geothlypis flavovelata</i>	r	A, End, G3												
127 <i>Geothlypis spectosa</i>	r	P, End, G1												
128 <i>Melospiza mexicana</i>	r	End												
129 <i>Melospiza rivularis</i>	r	End												
130 <i>Melospiza georgiana</i>	r	Inc, G5, LeC											x	x
131 <i>Melospiza melodia</i>	s,w	Dec, G5, LeC											x	x
132 <i>Agelaius gubernator</i>	r	End											x	x

Appendix 1 continued

Species ^a	Map ^b	Conservation status, Endemism ^c	Alaska		Canada	USA	Mexico		Caribbean			South America
							N, NW	Altiplano	Transvolcanic Belt	Gulf	Pacific	Yucatan Peninsula
133 <i>Agelaius phoeniceus</i>	s,w	Dec, G5, LeC		rd	x	x	x	x	x	x	x	
134 <i>Agelaius tricolor</i>	r	G2, G3, LeC				rd						rd

Boldface indicates risk categories. In distributional summaries, x, extensive; rd, restricted distribution in region

^a Taxonomy based on AOU (1998), Banks et al. (2002, 2003, 2004, 2006, 2007), Navarro-Sigüenza and Peterson (2004)

^b Status: r, residents; s, summer; w, winter

^c Conservation status: for Mexico (SEMARNAT 2002; Navarro-Sigüenza and Peterson 2004): P, Endangered; A, Threatened; Pr, Special Protection; End, Endemic; Q, Quasiendemic. For waterfowl in North America (US Fish and Wildlife Service 2007): B/A, Below average (only for those species below their historical average). For shorebirds and waterfowl in America (WCA (Waterbird Conservation for the Americas) 2006; WHSRN 2007): NCR, Not currently at risk; L/C, Low concern; MC, Moderate concern; HC, High concern; HC+, Highest concern. For Breeding Bird Survey of populations in North America (Sauer et al. 2005): Inc, Increasing; Dec, Declining (only those species with significant 1966–2005 population decreases). For the Neotropics and global status (NatureServe 2004, includes the higher of either IUCN and CITES status): G1, Critically endangered; G2, Endangered; G3, Vulnerable; G4, Apparently secure; G5, Secure; GNR, Not Ranked; NT, Near threatened; LeC, Least concern; Apl, Appendix I; AplII, Appendix II; AplIII, Appendix III

Appendix 2

Chi square statistical analysis details for comparison of aquatic bird species presence between GARP niche ecological models and inventories in 44 wetlands

Wetland ^a	Source ^b	GARP Inventory	(a) Correct presence	(d) Correct absence	(c) Omission	(b) Commission	Accuracy	a_exp	b_exp	c_exp	d_exp	X ² total	P	Significant prediction
1	a, b	64	56	45	7	8	0.86	34.7586	29.2414	28.2414	23.7586	63.3782	0.0000	Yes
2	a	60	44	54	2	16	0.84	23.7931	36.2069	22.2069	33.7931	58.9085	0.0000	Yes
3	a	51	20	55	10	31	0.65	13.1897	37.8103	16.8103	48.1897	8.4646	0.0036	Yes
4	a	63	30	50	13	36	0.58	13.7069	39.2931	16.2931	46.7069	1.9649	0.1610	No
5	a	38	15	74	4	23	0.77	6.2241	31.7759	12.7759	65.2241	22.0065	0.0000	Yes
6	a	30	10	80	6	20	0.78	4.1379	25.8621	11.8621	74.1379	12.9938	0.0003	Yes
7	a	46	41	23	18	23	0.65	16.2586	29.7414	24.7414	45.2586	7.1642	0.0074	Yes
8	a	56	20	53	7	43	0.57	9.6552	46.3448	10.3448	49.6552	2.7070	0.0999	No
9	a	41	18	69	6	23	0.75	8.4828	32.5172	15.5172	59.4828	20.8234	0.0000	Yes
10	a	34	30	40	42	4	0.60	21.1034	12.8966	50.8966	31.1034	13.9875	0.0002	Yes
11	a	37	27	41	38	10	0.59	20.7328	16.2672	44.2672	34.7328	6.3272	0.0119	Yes
12	a	63	24	48	5	39	0.62	15.7500	47.2500	13.2500	39.7500	12.6110	0.0004	Yes
13	a, c	85	73	23	8	20	0.76	53.4914	31.5086	19.5086	11.4914	24.9947	0.0000	Yes
14	a	82	77	23	11	16	0.77	54.4310	27.5690	22.5690	11.4310	24.9525	0.0000	Yes
15	a, c	63	51	42	11	23	0.71	27.6983	35.3017	23.3017	29.6983	21.3406	0.0000	Yes
16	a, c	57	32	51	8	33	0.65	15.7241	41.2759	16.2759	42.7241	11.8262	0.0006	Yes
17	a, c	40	28	53	23	12	0.70	17.5862	22.4138	33.4138	42.5862	16.7971	0.0000	Yes
18	a, b, c	87	52	27	3	37	0.66	38.5517	47.4483	13.4483	16.5517	19.8454	0.0000	Yes
19	a, b, c	92	79	18	7	12	0.84	67.4655	23.5345	18.5345	6.4655	35.3809	0.0000	Yes
20	a	77	104	11	29	1	0.74	68.1379	7.8621	35.8621	4.1379	19.3730	0.0000	Yes
21	a	74	42	37	5	32	0.68	29.9828	44.0172	17.0172	24.9828	22.3643	0.0000	Yes
22	a, c	62	41	43	11	21	0.72	27.7931	34.2069	24.2069	29.7931	24.4347	0.0000	Yes
23	a, c	31	49	59	26	8	0.71	13.0948	17.9052	35.9052	49.0948	17.7030	0.0000	Yes

Appendix 2 continued

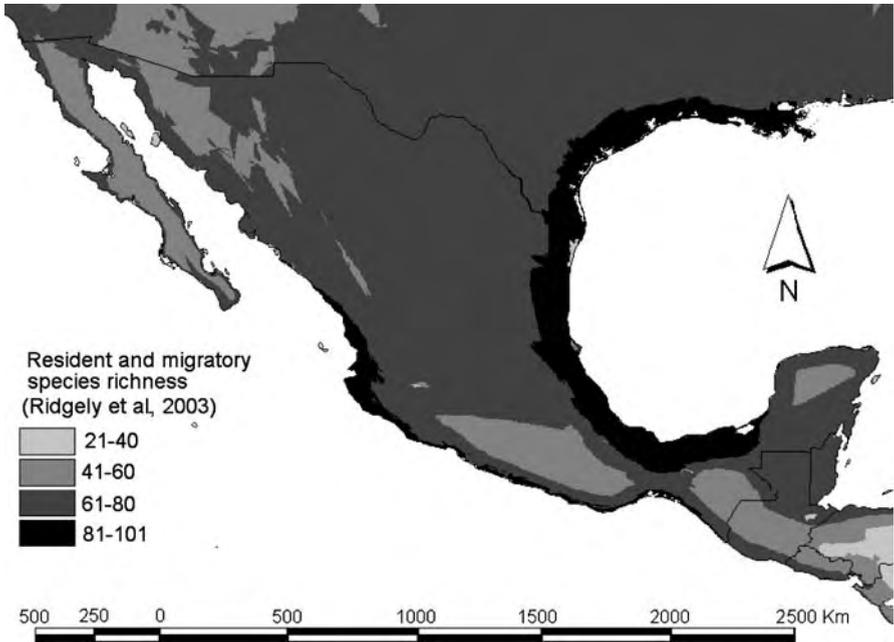
Wetland ^a	Source ^b	GARP Inventory	(a) Correct presence	(d) Correct absence	(c) Omission	(b) Commission	Accuracy	a_exp	b_exp	c_exp	d_exp	X ² total	P	Significant prediction	
24	a	62	51	42	45	9	20	0.75	27.2586	34.7414	23.7414	30.2586	30.5620	0.0000	Yes
25	b, c	54	53	39	48	14	15	0.75	24.6724	29.3276	28.3276	33.6724	28.6628	0.0000	Yes
26	b, c	54	44	36	54	8	18	0.76	20.4828	33.5172	23.5172	38.4828	35.4350	0.0000	Yes
27	b, c	41	29	21	67	8	20	0.76	10.2500	30.7500	18.7500	56.2500	23.2503	0.0000	Yes
28	a, b, c	56	67	49	42	18	7	0.78	32.3448	23.6552	34.6552	25.3448	39.2520	0.0000	Yes
29	a, c	35	59	25	47	34	10	0.62	17.8017	17.1983	41.1983	39.8017	8.4830	0.0036	Yes
30	a	36	40	20	60	16	16	0.69	11.5714	24.4286	24.4286	51.5714	13.3331	0.0003	Yes
31	a, c	84	66	60	27	6	23	0.75	47.2241	35.7759	18.7759	14.2241	28.1870	0.0000	Yes
32	b, c	82	29	29	35	0	52	0.55	20.2500	60.7500	8.7500	26.2500	16.7078	0.0000	Yes
33	a	71	76	63	33	13	7	0.83	45.8621	24.1379	30.1379	15.8621	46.8340	0.0000	Yes
34	a	65	83	62	31	21	2	0.80	45.7931	18.2069	37.2069	14.7931	44.9778	0.0000	Yes
35	a	67	81	64	33	17	2	0.84	46.0862	19.9138	34.9138	15.0862	53.5405	0.0000	Yes
36	a	60	65	47	39	18	12	0.74	33.0603	25.9397	31.9397	25.0603	27.2062	0.0000	Yes
37	a	65	58	46	40	12	18	0.74	32.0000	32.0000	26.0000	26.0000	27.3269	0.0000	Yes
38	a	60	65	47	39	18	12	0.74	33.0603	25.9397	31.9397	25.0603	27.2062	0.0000	Yes
39	a, c	80	43	41	34	2	39	0.65	29.6552	50.3448	13.3448	22.6552	22.2221	0.0000	Yes
40	a, c	80	42	33	28	8	47	0.53	28.2759	51.7241	12.7241	23.2759	3.9335	0.0473	Yes
41	a, c	71	69	45	24	21	26	0.59	40.3966	30.6034	25.6034	19.3966	3.1373	0.0765	No
42	a	70	35	31	42	4	39	0.63	21.1207	48.8793	13.8793	32.1207	16.6885	0.0000	Yes
43	a	63	41	37	49	4	26	0.74	22.2672	40.7328	18.7328	34.2672	32.9975	0.0000	Yes
44	a	43	16	6	64	9	37	0.60	5.56	37.44	9.44	63.56	0.06	0.80	No

^a The Fig. 1 presents the ubication and names of wetlands

^b Source: a = IBA's species list, b = scientific literature, c = unpublished field observations of PRB

Appendix 3

Winter richness of 116 aquatic bird species in Mexico, based on distributions presented in Ridgely et al. (2003). Note coarse spatial resolution and lack of detail relative to Fig. 3.



Appendix 4

Additional detail regarding the results of complementarity analyses from the ResNet program for bird species resident and wintering in wetlands in Mexico. (a) Target 10% of the distributional area of all species; (b) target 10% for species without status and 20% for priority species; (c) target 10% for species without status and 50% priority species; (d) target 10% for species without status and 100% for priority species; (e) target 10% for 35 priority species; (f) target 10% for 8 endemic and quasiendemic species. Priority species are marked with an “*”. T = target, R = result.

Species	Wetlands	(a)		(b)		(c)		(d)		(e)		(f)	
		N = 75, 240,296 ha		N = 141, 264,139 ha		N = 355, 464,950 ha		N = 723, 989,260 ha		N = 69, 52,815 ha		N = 15, 160,700 ha	
	Total 787	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	578	58	59	58	111	58	286	58	578				
<i>Dendrocygna bicolor</i>	571	57	59	57	107	57	281	57	571				

Appendix 4 continued

Species	Wetlands	(a)		(b)		(c)		(d)		(e)		(f)	
		<i>N</i> = 75, 240,296 ha		<i>N</i> = 141, 264,139 ha		<i>N</i> = 355, 464,950 ha		<i>N</i> = 723, 989,260 ha		<i>N</i> = 69, 52,815 ha		<i>N</i> = 15, 160,700 ha	
		T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
	Total 787												
<i>Anser albifrons</i>	264	26	28	26	53	26	121	26	264				
<i>Chen caerulescens</i>	339	34	42	34	80	34	176	34	339				
<i>Branta bernicla</i> *	12	1	1	2	2	6	6	12	12	1	1		
<i>Branta canadensis</i>	164	16	16	16	31	16	85	16	164				
<i>Cygnus columbianus</i> *	10	1	2	1	4	5	7	10	10	1	3		
<i>Cairina moschata</i> *	521	52	61	104	113	261	289	521	521	52	55		
<i>Aix sponsa</i>	254	25	28	25	46	25	124	25	254				
<i>Anas strepera</i>	275	28	29	28	49	28	126	28	275				
<i>Anas americana</i> *	633	63	68	127	127	317	317	633	633	63	64		
<i>Anas platyrhynchos</i>	132	13	13	13	25	13	70	13	132				
<i>Anas diazi</i> *	100	10	11	20	20	50	50	100	100	10	10	10	10
<i>Anas discors</i>	709	71	75	71	136	71	349	71	708				
<i>Anas cyanoptera</i>	422	42	56	42	106	42	250	42	422				
<i>Anas clypeata</i>	615	62	66	62	119	62	304	62	615				
<i>Anas acuta</i> *	534	53	61	107	116	267	285	534	534	53	55		
<i>Anas crecca</i>	229	23	23	23	45	23	113	23	229				
<i>Aythya valisineria</i>	420	42	49	42	92	42	227	42	420				
<i>Aythya americana</i>	528	53	56	53	113	53	266	528	528				
<i>Aythya collaris</i>	359	36	46	36	80	36	206	36	359				
<i>Aythya affinis</i> *	487	49	65	97	116	244	277	487	487	49	62		
<i>Bucephala albeola</i>	230	23	24	23	47	23	114	23	230				
<i>Bucephala clangula</i>	157	16	16	16	34	16	79	16	157				
<i>Lophodytes cucullatus</i>	96	10	16	10	26	10	48	10	96				
<i>Mergus merganser</i>	14	1	1	1	2	1	10	1	14				
<i>Nomonyx dominicus</i> *	272	27	38	54	71	136	178	272	272	27	41		
<i>Oxyura jamaicensis</i>	377	38	51	38	82	38	194	38	377				
<i>Tachybaptus dominicus</i> *	619	62	67	124	124	310	310	619	619	62	62		
<i>Podilymbus podiceps</i>	719	72	75	72	141	72	355	72	718				
<i>Podiceps nigricollis</i>	435	44	51	44	95	44	213	44	434				
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	88	9	11	9	19	9	44	9	88				
<i>Aechmophorus clarkii</i>	50	5	5	5	6	5	17	5	50				
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	623	62	68	62	131	62	322	62	623				
<i>Pelecanus occidentalis</i>	233	23	31	23	54	23	125	23	233				

Appendix 4 continued

Species	Wetlands Total 787	(a) <i>N</i> = 75, 240,296 ha		(b) <i>N</i> = 141, 264,139 ha		(c) <i>N</i> = 355, 464,950 ha		(d) <i>N</i> = 723, 989,260 ha		(e) <i>N</i> = 69, 52,815 ha		(f) <i>N</i> = 15, 160,700 ha	
		T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
		<i>Phalacrocorax brasiliensis</i>	615	62	65	62	121	62	305	62	615		
<i>Anhinga anhinga</i>	562	56	60	56	116	56	287	56	562				
<i>Botaurus pinnatus</i>	648	65	70	65	130	65	340	65	648				
<i>Botaurus lentiginosus*</i>	36	4	6	7	8	18	23	36	36	4	4		
<i>Ixobrychus exilis</i>	654	65	69	65	126	65	322	65	653				
<i>Tigrisoma mexicanum</i>	468	47	47	47	91	47	222	47	468				
<i>Ardea herodias</i>	702	70	74	70	140	70	351	70	702				
<i>Ardea alba</i>	553	55	59	55	118	55	286	55	553				
<i>Egretta thula</i>	593	59	61	59	119	59	292	59	593				
<i>Egretta caerulea</i>	646	65	70	65	131	65	323	65	646				
<i>Egretta tricolor</i>	575	58	59	58	114	58	283	58	575				
<i>Butorides virescens</i>	693	69	74	69	137	69	344	69	692				
<i>Agamia agami*</i>	274	27	33	55	61	137	157	274	274	27	30		
<i>Nycticorax nycticorax</i>	614	61	68	61	127	61	310	61	614				
<i>Cochlearius zeledoni</i>	439	44	50	44	94	44	222	44	439				
<i>Plegadis chihi</i>	61	6	8	6	14	6	36	6	61				
<i>Platalea ajaja</i>	522	52	55	52	111	52	268	52	522				
<i>Jabiru mycteria*</i>	131	13	24	26	43	66	91	131	131	13	27		
<i>Mycteria americana*</i>	556	56	60	111	114	278	283	556	556	56	56		
<i>Pandion haliaetus</i>	649	65	69	65	133	65	331	65	649				
<i>Rostrhamus sociabilis*</i>	365	37	37	73	78	183	192	365	365	37	39		
<i>Haliaeetus leucocephalus*</i>	99	10	14	20	28	50	54	99	99	10	13		
<i>Busarellus nigricollis*</i>	342	34	40	68	77	171	194	342	342	34	40		
<i>Buteogallus anthracinus*</i>	456	46	59	91	96	228	235	456	456	46	46		
<i>Buteogallus subtilis*</i>	6	1	1	1	1	3	5	6	6	1	1		
<i>Buteogallus urubitinga*</i>	440	44	53	88	93	220	232	440	440	44	48		
<i>Coturnicops goldmani*</i>	4	1	1	1	2	2	4	4	4	1	2	1	4
<i>Laterallus ruber</i>	418	42	50	42	90	42	226	42	418				
<i>Laterallus jamaicensis*</i>	30	3	4	6	7	15	18	30	30	3	5		

Appendix 4 continued

Species	Wetlands Total 787	(a) <i>N</i> = 75, 240,296 ha		(b) <i>N</i> = 141, 264,139 ha		(c) <i>N</i> = 355, 464,950 ha		(d) <i>N</i> = 723, 989,260 ha		(e) <i>N</i> = 69, 52,815 ha		(f) <i>N</i> = 15, 160,700 ha	
		T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
		<i>Rallus elegans</i> *	113	11	20	23	35	57	66	113	113	11	22
<i>Rallus limicola</i> *	375	38	47	75	82	188	192	375	375	38	45		
<i>Aramides cajanea</i>	387	39	45	39	82	39	207	39	387				
<i>Amaurolimnas concolor</i> *	146	15	25	29	44	73	85	146	146	15	25		
<i>Porzana carolina</i>	722	72	75	72	141	15	354	72	721				
<i>Porzana flaviventris</i> *	242	24	31	48	56	121	155	242	242	24	31		
<i>Pardirallus maculatus</i>	387	39	45	39	76	39	203	39	387				
<i>Porphyrio martinica</i>	413	41	51	41	95	41	213	41	413				
<i>Gallinula chloropus</i>	708	71	75	71	141	71	351	71	707				
<i>Fulica americana</i>	711	71	74	71	141	71	353	71	711				
<i>Heliornis fulica</i> *	260	26	30	52	59	130	145	260	260	26	30		
<i>Aramus guarauna</i>	394	39	50	39	87	39	217	39	394				
<i>Grus canadensis</i> *	173	17	17	35	38	87	91	173	173	17	18		
<i>Grus americana</i> *	14	1	4	3	5	7	8	14	14	1	1		
<i>Pluvialis dominica</i>	640	64	70	64	126	64	327	64	639				
<i>Charadrius alexandrinus</i>	333	33	40	33	80	33	190	33	333				
<i>Charadrius semipalmatus</i>	462	46	49	46	104	46	242	46	462				
<i>Charadrius vociferus</i>	720	72	75	72	141	72	355	72	720				
<i>Himantopus mexicanus</i>	668	67	72	67	136	67	342	67	668				
<i>Recurvirostra americana</i>	602	60	64	60	123	60	307	60	602				
<i>Jacana spinosa</i>	492	49	58	49	104	49	250	49	492				
<i>Tringa melanoleuca</i>	712	71	74	71	140	71	352	71	712				
<i>Tringa flavipes</i>	676	68	72	68	137	68	340	68	676				
<i>Tringa solitaria</i>	673	67	70	67	130	67	331	67	673				
<i>Actitis macularia</i>	706	71	74	71	140	71	351	71	705				
<i>Bartramia longicauda</i>	275	28	33	28	58	28	128	28	275				
<i>Numenius americanus</i>	616	62	64	62	127	62	311	62	616				
<i>Numenius phaeopus</i>	585	59	59	59	116	59	289	59	585				
<i>Calidris mauri</i>	466	47	55	47	110	47	252	47	466				

Appendix 4 continued

Species	Wetlands Total 787	(a) <i>N</i> = 75, 240,296 ha		(b) <i>N</i> = 141, 264,139 ha		(c) <i>N</i> = 355, 464,950 ha		(d) <i>N</i> = 723, 989,260 ha		(e) <i>N</i> = 69, 52,815 ha		(f) <i>N</i> = 15, 160,700 ha	
		T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
		<i>Calidris minutilla</i>	700	70	74	70	139	70	349	70	700		
<i>Calidris bairdii</i>	169	17	20	17	39	17	93	17	169				
<i>Calidris melanotos</i>	722	72	75	72	141	72	355	72	721				
<i>Calidris himantopus</i>	616	62	66	62	129	62	316	62	616				
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	626	63	66	63	129	63	315	63	626				
<i>Limnodromus griseus</i>	601	60	63	60	121	60	293	60	601				
<i>Phalaropus tricolor</i>	695	70	74	70	137	70	347	70	694				
<i>Larus atricilla</i>	268	27	27	27	49	27	129	27	268				
<i>Larus pipixcan</i>	633	63	70	63	131	63	326	63	633				
<i>Larus philadelphia</i>	326	33	45	33	86	33	184	33	326				
<i>Larus delawarensis</i>	603	60	62	60	125	60	302	60	603				
<i>Larus argentatus</i>	527	53	54	53	111	53	272	53	527				
<i>Hydroprogne caspia</i>	369	37	45	37	99	37	212	37	369				
<i>Sterna forsteri</i>	617	62	65	62	129	62	310	62	617				
<i>Chlidonias niger</i>	28	3	3	3	8	3	12	3	28				
<i>Ceryle torquatus</i>	534	53	58	53	111	53	274	53	534				
<i>Ceryle alcyon</i>	723	72	75	72	141	72	354	72	722				
<i>Chloroceryle amazona</i>	362	36	41	36	79	36	188	36	362				
<i>Chloroceryle americana</i>	697	70	74	70	139	70	347	70	696				
<i>Chloroceryle aenea</i>	359	36	39	36	73	36	194	36	359				
<i>Sayornis aquatica</i>	17	2	3	2	4	2	13	2	17				
<i>Sayornis nigricans</i>	130	13	16	13	25	13	59	13	129				
<i>Tachycineta bicolor</i>	580	58	59	58	113	58	293	58	580				
<i>Cistothorus elegans</i>	253	25	29	25	52	25	138	25	253				
<i>Cistothorus platensis</i>	29	3	6	3	7	3	18	3	29				
<i>Cistothorus palustris</i>	304	30	34	30	54	30	138	30	303				
<i>Cinclus mexicanus</i> *	36	4	5	7	7	18	18	36	36	4	4		
<i>Anthus rubescens</i>	421	42	48	42	90	42	202	42	420				
<i>Seiurus noveboracensis</i>	561	56	65	56	116	56	274	56	561				
<i>Seiurus motacilla</i>	483	48	58	48	101	48	255	48	482				
<i>Geothlypis trichas</i>	708	71	74	71	140	71	350	71	707				
<i>Geothlypis beldingi</i> *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Appendix 4 continued

Species	Wetlands	(a)		(b)		(c)		(d)		(e)		(f)	
		<i>N</i> = 75, 240,296 ha		<i>N</i> = 141, 264,139 ha		<i>N</i> = 355, 464,950 ha		<i>N</i> = 723, 989,260 ha		<i>N</i> = 69, 52,815 ha		<i>N</i> = 15, 160,700 ha	
	Total 787	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
<i>Geothlypis flavovelata</i> *	42	4	8	8	11	21	25	42	42	4	7	4	4
<i>Geothlypis speciosa</i> *	12	1	2	2	4	6	7	12	12	1	3	1	3
<i>Melospiza mexicana</i> *	40	4	6	8	9	20	21	40	40	4	4	4	9
<i>Melospiza rivularis</i> *	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Melospiza georgiana</i>	161	16	16	16	31	16	85	16	161				
<i>Agelaius gubernator</i> *	68	7	9	14	14	34	34	68	68	7	7	7	9
<i>Agelaius phoeniceus</i>	678	68	71	68	132	68	332	68	678				

References

- Anderson RP, Peterson AT, Gómez-Laverde M (2002) Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos* 98:3–16
- Anderson RP, Lew D, Peterson AT (2003) Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selection optimal models. *Ecol Model* 162:211–232
- AOU (American Ornithologists' Union) (1998) Check-list of North American birds, 7th edn. Allen Press, Washington
- Arita HT, Figueroa F, Frisch A, Rodríguez P, Santos-Del-Prado K (1997) Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conserv Biol* 11(1):92–100
- Arizmendi MC (2003) Estableciendo prioridades para la conservación de las aves. In: Gómez H, Oliveras A (eds) *Conservación de Aves: Experiencias en México*. CIPAMEX, CONABIO, México, pp 133–139
- Arizmendi MC, Márquez-Valdelamar L (eds) (2000) *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México*. CONABIO, México
- Arriaga L, Aguilar C, Espinosa-Organista D, Jiménez-Rosenberg R (1997) Regionalización Ecológica y Biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México
- Arriaga L, Espinoza JM, Aguilar C, Martínez E, Gómez L, Loa E (eds) (2000) *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Arriaga L, Aguilar V, Alcocer J (2002) *Aguas Continentales y Diversidad Biológica de México*. Scale 1: 4,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Arriaga-Cabrera L, Aguilar-Sierra V, Alcocer-Durán J, Jiménez-Rosenberg RE, Muñoz-López E, Vázquez-Domínguez E (eds) (1998) *Regiones Hidrológicas Prioritarias*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Banks RC, Cicero C, Dunn JL, Kratter AW, Rasmussen PC, Remsen JV Jr, Rising JD, Stotz DF (2002) Forty-third supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *Auk* 119:897–906
- Banks RC, Cicero C, Dunn JL, Kratter AW, Rasmussen PC, Remsen JV Jr, Rising JD, Stotz DF (2003) Forty-fourth supplement to the American Ornithologists' Union Check-list of North American Birds. *Auk* 120:923–931

- Banks RC, Cicero C, Dunn JL, Kratter AW, Rasmussen PC, Remsen JV Jr, Rising JD, Stotz DF (2004) Forty-fifth supplement to the American Ornithologists' Union Check-list of North American Birds. *Auk* 121:985–995
- Banks RC, Cicero C, Dunn JL, Kratter AW, Rasmussen PC, Remsen JV Jr, Rising JD, Stotz DF (2006) Forty-seventh supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *Auk* 123:926–936
- Banks RC, Chesser RT, Cicero C, Dunn JL, Kratter AW, Lovette IJ, Rasmussen PC, Remsen JV Jr, Rising JD, Stotz DF (2007) Forty-eighth supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *Auk* 124: 1109–1115
- Bojórquez-Tapia L, Azuara I, Ezcurra E, Flores-Villela O (1995) Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modelling. *Ecol Appl* 5(1):215–231
- Carmona R, Zamora-Orozco EM, Castillo-Guerrero JA (1999) New records of the least grebe (*Tachybaptus dominicus*) and ten records of waterfowls in La Paz bay, Baja California Sur, Mexico. *An Inst Biol Ser Zool* 70(2):191–203
- Carrera E, de la Fuente G (2003) Inventario y Clasificación de Humedales de México. Part I. Ducks Unlimited México, México
- CIPAMEX and CONABIO (1999) Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo Mexicano de Conservación de la Naturaleza, Comisión para la Cooperación Ambiental. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicasmapa.html>. Cited 19 Jan 2006
- CNA (2006) Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
- CONABIO (1999) Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. Escala 1:1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- CONABIO (2002) Acceso a la información de cada AICA por lista. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicaslista.html>. Cited 01 Dec 2006
- CONABIO (2004) Regiones Terrestres Prioritarias. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Scale 1:1,000,000, México
- CONANP (2007) Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. <http://conanp.gob.mx/sig/>. Cited 04 Jan 2007
- De la Lanza EG, García JL (eds) (2002) Lagos y Presas de México. AGT Editor, México
- Escalante-Pliego P, Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT (1993) A geographical, ecological and historical analysis of land bird diversity in Mexico. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (comps) Biological diversity in Mexico: origins and distributions. Oxford University Press, New York, pp 281–308
- ESRI (1999) Arc view GIS ver. 3.2. Environmental Systems Research Inc., USA
- Fa JE, Morales LM (1993) Patterns of mammalian diversity in Mexico. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (comps) Biological diversity in Mexico: origins and distributions. Oxford University Press, New York, pp 319–364
- Feria TP, Peterson AT (2002) Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Divers Distrib* 8:49–56
- Flores-Villela O (1998) Herpetofauna of México: distribution and endemism. In: Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (comps) Biological diversity in Mexico: origins and distributions. Oxford University Press, New York, pp 253–280
- Forcey JM (2002a) Notes on the birds of Central Oaxaca, part I: Podicipedidae to Laridae. *Huitzil* 3(1):1–10
- Forcey JM (2002b) Notes on the birds of Central Oaxaca, part III: Hirundinidae to Fringillidae. *Huitzil* 3(2):43–55
- Fuller T, Munguía M, Mayfield M, Sánchez-Cordero V, Sarkar S (2006) Incorporating connectivity into conservation planning: a multi-criteria case study from central Mexico. *Biol Conserv* 133:131–142
- Fuller T, Sánchez-Cordero V, Illoldi-Rangel P, Linaje M, Sarkar S (2007) The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biol Conserv* 134:593–600
- García A (2006) Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biol Conserv* 130:25–46
- García-Trejo EA, Navarro AG (2004) Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. *Acta Zool* 20(2):167–185
- Garza-Torres HA, Navarro-Sigüenza AG (2003) Breeding records of the Sooty Tern in Tamaulipas and its distribution on the Gulf of Mexico. *Huitzil* 4(2):22–25
- Hawkins BA, Porter EE, Diniz-Filho JAE (2003) Productivity and history as predictors of the latitudinal diversity gradient of terrestrial birds. *Ecology* 84(6):1608–1623

- Hernández-Avilés JS, Galindo SMC, Loera PJ (2002) Bordos o microembalses. In: De la Lanza EG, García CJL (eds) Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo, México, pp 599–619
- Hernández-Baños BE, Peterson AT, Navarro AG, Escalante-Pliego BP (1995) Bird faunas of the humid forest of Mesoamerica: biogeographic patterns and priorities for conservation. *Bird Conserv Int* 5:251–277
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2006) WorldClim v. 1.4. Museum of Vertebrate Zoology University of California Berkeley, Nature Serve, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Rainforest CRC, Berkeley, CA. <http://www.worldclim.org>. Cited 03 Apr 2006
- Hintze J (2001) NCSS 2000 and PASS 2000. NCSS, Kaysville Utah. <http://www.ncss.com>. Cited 20 Jul 2007
- Howell SNG, Prairie LJ (1989) Notable gull records from the Yucatan Peninsula. *Aves Mexicanas* 2:3–4
- Howell SNG, Webb S (1995) A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press, New York
- INEGI, Lugo-Hupb J, Vidal Zepeda R, Fernández-Equiarte A, Gallegos-García A, Zavala HJ (1990) Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México, vol I. Escala 1:4,000,000. Instituto de Geografía, UNAM, México. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>. Cited 03 May 2006
- Lira-Noriega A, Soberón J, Navarro-Sigüenza AG, Nakazawa Y, Peterson AT (2007) Scale dependency of diversity components estimated from primary biodiversity data and distribution maps. *Divers Distrib* 13:185–195
- Loiselle BA, Howell CA, Graham CH, Goerck JM, Brooks T, Smith KG, Williams PH (2003) Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conserv Biol* 17(6):1591–1600
- López-Ornat A, Lynch JF, MacKinnon B (1989) New and noteworthy records of birds from the eastern Yucatan Peninsula. *Wilson Bull* 101(3):390–409
- Medina-Macías MN (2002) Patrones de Distribución de las Aves de la Sierra del Espinazo del Diablo, Sinaloa-Durango. MS Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Mittermeier RA, Goetsch MC (1992) La importancia de la diversidad biológica de México. In: Sarukhán J, Dirzo R (eds) México ante los retos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp 63–73
- Morales-Pérez JE, Navarro SAG (1991) Análisis de la distribución de la avifauna de la Sierra Norte del Estado de Guerrero, México. *An Inst Biol Ser Zool* 62(3):497–510
- Nakasawa Y, Peterson AT, Martínez-Meyer E, Navarro-Sigüenza AG (2004) Seasonal niches of Neartic-Neotropical migratory birds: implication for the evolution of migration. *Auk* 121(2):610–618
- NatureServe (2004) Infonatura: birds, mammals, and amphibians of latin America [web application], version 4.1. NatureServe, Arlington, Virginia (USA). <http://natureserve.org/infonatura>. Cited 21 July 2007
- Navarro AG (1992) Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero. *Mexico Condor* 94:29–39
- Navarro AG (1998) Distribución Geográfica y Ecológica de la Avifauna del Estado de Guerrero, México. PhD Thesis, Facultad de Ciencias. UNAM, México
- Navarro AG, Peterson AT (1999) Extensión del área de distribución de aves en el oeste de Guerrero, México. *An Inst Biol Ser Zool* 70(1):41–50
- Navarro AG, Peterson AT, López-Medrano E, Benítez-Díaz H (2001) Species limits in Mesoamerican *Aulacorhynchus* toucanets. *Wilson Bull* 113(4):363–372
- Navarro AG, Peterson AT, Nakasawa J, Liebig-Fossas I (2003a) Colecciones Biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. In: Morrone JJ, Llorente J (eds) Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. CONABIO-UNAM, Mexico, pp 115–122
- Navarro SAG, Peterson AT, Gordillo-Martínez A (2003b) Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. *Bull Br Ornithol Club* 123:208–225
- Navarro-Sigüenza AG, Peterson AT (2004) An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica* 4:1–32. <http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/fullpaper?bn03504022004+en>. Cited 6 Oct 2006
- Neyra GL, Durand SL (1998) Biodiversidad. La Diversidad biológica de México: Estudio del País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp 62–102
- Olson DM, Dinerstein E (2002) The global 200: priority ecoregions for global conservation. *Ann Missouri Bot Garden* 89:199–224
- Pearson RG, Raxworthy C, Nakamura M, Peterson AT (2006) Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J Biogeogr* 34:102–117
- Pérez-Arteaga A, Gaston KJ (2004) Wildfowl population trends in Mexico, 1961–2000: a basis for conservation planning. *Biol Conserv* 115:343–355

- Pérez-Arteaga A, Gaston KJ, Kershaw M (2002) Undesignated sites in Mexico qualifying as wetlands of international importance. *Biol Conserv* 107:47–57
- Peterson AT (1998) The distribution and type locality of the extinct Slender-billed Grackle, *Quiscalus palustris*. *Bull Br Ornithol Club* 118:119–121
- Peterson AT (2001) Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor* 103:599–605
- Peterson AT (2005) Kansas gap analysis: the importance of validating distributional models before using them. *Southwest Nat* 50:230–236
- Peterson AT, Cohoon KP (1999) Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecol Model* 117:159–164
- Peterson AT, Holt RD (2003) Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecol Lett* 6:774–782
- Peterson AT, Navarro AG (2000) Western Mexico: a significant centre of avian endemism and challenge for conservation action. *Cotinga* 14:42–46
- Peterson AT, Navarro-Sigüenza AG (2006) Hundred-year changes in the avifauna of the Valley of Mexico, Distrito Federal, Mexico. *Huitzil* 7(1):4–14
- Peterson AT, Soberón J, Sánchez-Cordero V (1999) Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285:1265–1267
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Bartley J, Buddmeier RW, Navarro-Sigüenza AG (2001) Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecol Model* 144:21–30
- Peterson AT, Ball LG, Cohoon KP (2002a) Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* 144:E27–E32
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH, Stockwell DRB (2002b) Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416:626–629
- Pressey RL, Possingham HP, Margules CR (1996) Optimality in reserve selection algorithms: when does it matter and how much? *Biol Conserv* 76:259–267
- Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (eds) (1993) *Biological diversity of Mexico: origins and distributions*. Oxford University Press, New York
- Ramírez-Bastida P (2000) *Aves de Humedales en Zonas Urbanas del Noroeste de la Ciudad de México*. MS Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Ramírez-Bastida P, DeSucre-Medrano AE, Navarro AG, Romo PJ, Castro HJ (1994) Winter specimens of the common loon (*Gavia immer*) from the state of Hidalgo, Mexico. *Southwest Nat* 39:394–395
- Ramsar Bureau (2006) The annotated Ramsar list: Mexico. The Ramsar Convention on Wetlands. http://www.ramsar.org/profile/profiles_mexico.htm. Cited 09 Oct 2006
- Ridgely RS, Allnutt TF, Brooks T, McNicol DK, Mehlman DW, Young BE, Zook JR (2003) Digital distribution maps of the birds of the Western Hemisphere, version 1.0. NatureServe, Arlington, Virginia. <http://www.natureserve.org/getData/birdMaps.jsp>. Cited 16 Jun 2006
- Rodríguez-Yañez C, Villalón RM, Navarro SAG (1994) *Bibliografía de Aves de México (1825–1992)*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Rojas-Soto OR, Navarro SAG (1999) New reports on the avifauna in the state of Puebla, Mexico. *An Inst Biol Ser Zool* 70(2):205–213
- Rojas-Soto O, Alcántara-Ayala O, Navarro AG (2003) Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modelling approach. *J Biogeogr* 30:449–461
- Rose PM, Scott DA (1997) *Waterfowl population estimates*. Wetlands International Publication 44, 2nd edn. Wetlands International, Wageningen, The Netherlands
- Sánchez-Cordero V, Cirelli C, Munguía M, Sarkar S (2005a) Place prioritization for biodiversity representation using species' ecological niche modeling. *Biodivers Inf* 2:11–23
- Sánchez-Cordero V, Iloldi-Rangel P, Linaje M, Sarkar S, Peterson AT (2005b) Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biol Conserv* 126:465–473
- Sarkar S, Aggarwal A, Garson J, Margules C, Zeidler J (2002) Place prioritization for biodiversity content. *J Biosci* 27:339–346
- Sarkar S, Pappas C, Garson J, Aggarwal A, Cameron S (2004) Place prioritization form biodiversity conservation using probabilistic surrogate distribution data. *Div Distrib* 10:125–133
- Sauer JR, Hines JE, Fallon J (2005) *The North American breeding bird survey, results and analysis 1966–2005*. USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD. <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/bbs/bbs.html>. Cited 15 Jun 2007

- Schaldach WJ Jr, Escalante BBP, Winker K (1997) Further notes on the avifauna of Oaxaca, Mexico. *An Inst Biol Ser Zool* 68:91–135
- SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, México. 6 March 2002, pp 1–153
- Skagen SK, Sharpe PB, Waltermire RG, Dillon MB (1999) Biogeographical profiles of shorebird migration in Midcontinental North America. U.S. Geological Survey, Fort Collins, CO. Biological Science. Report USGS/BRD/BSR—2000-0003. http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/pub_abstract.asp?PubID=555. Cited 15 Dec 2006
- Soberón J, Peterson AT (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodivers Inf* 2:1–10
- Stockwell DRB, Noble IR (1992) Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of analysis. *Math Comput Simul* 33:385–390
- Stockwell DR, Peters DP (1999) The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Int J Geogr Inf Sci* 13:143–158
- Stockwell DRB, Peterson AT (2002) Effects of sample size in accuracy of species distribution models. *Ecol Model* 148:1–13
- University of Kansas Center for Research (2002) DesktopGarp v. 1.1.3. University of Kansas Biodiversity Research Center. <http://nhm.ku.edu/desktopgarp/index.html>. Cited 10 Feb 2007
- US Fish and Wildlife Service (2007) Waterfowl population status, 2007. US Department of the Interior, Washington
- USGS (2006) Hydro1K data set for North America. US Geological Survey, Center for Earth Resources Observation and Science (EROS). <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/namerica.html>. Cited 9 Dec 2006
- US Shorebird Conservation Plan (2004) High priority shorebirds—2004. Unpublished Report, US Fish and Wildlife Service, 4401 N. Fairfac Dr, MBSP 4107, Arlington, VA, 22203 USA
- UNESCO (2006) Water: a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. World Water Assessment Programme. <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/>. Cited 05 Jun 2007
- Vázquez-Rivera H (2004) Preferencias de Hábitat por la Avifauna Presente en la Laguna Chimaliapan, Ciénagas del Lerma, Estado de México. MS Thesis, Ciencias Biológicas (Biología Ambiental), Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Villaseñor JF (1993) First documented records of the Arctic Tern on the Pacific coast of Mexico. *Wilson Bull* 105:64–365
- Williams P, Gibbons D, Margules CR, Rebelo A, Humphries C, Pressey R (1996) A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conserv Biol* 10:155–174
- WCA (Waterbird Conservation for the Americas) (2006) Waterbird conservation status assessment. <http://www.fws.gov/birds/waterbirds/statusassessment.html>. Cited 1 Jul 2007
- WHSRN (2007) Status of the shorebirds of conservation concern for the Western Hemisphere. Western Hemisphere Shorebird Reserve Network, Manomet, MA. <http://www.whsrn.org/shorebirds/status.html>. Cited 15 Jul 2007

V

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES



Página anterior (en orden descendente):

Lago de Meztitlán; *Thalasseus sandvicensis* y *Larus atricilla*;
Anas clypeata; *Egretta thula*; *Mergus serrator*; *Cochlearius*
cochlearius zeledoni; Vegetación acuática en la Laguna de Altamira

Fotos: P. Ramírez-Bastida

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.

Los estudios que involucran regiones extensas o numerosas especies, presentan ventajas y desventajas, es necesario ser parcial al reconocer unas y otras. En el caso de los ambientes lacustres, al buscar información para relacionar con las aves, se encontraron estudios sobre parámetros fisicoquímicos, geomorfología, plancton, necton, bentos, ficología, vegetación vascular, pesquerías, acuacultura, ecología de poblaciones, importancia para el hombre, diversidad, impacto ambiental, contaminación, dinámica de corrientes, entre otros; pero de alcance geográfico limitado; Maass (2004) señala lo mismo respecto a la información básica para el manejo de cuencas hidrológicas, pocos consideran detalle de información similar para muchos cuerpos de agua, grupos de flora o fauna, o a nivel regional o local (Bocco 2004) y en los que tratan sobre aguas continentales de México, se mencionan vertebrados como peces y anfibios (Arriaga *et al.* 2000), pero muy poco sobre aves. Esto no ocurre solo en México, la falta de investigación interdisciplinaria es reconocida para todas las ciencias acuáticas (Duarte y Piro 2001).

La falta de información limnológica homogénea, fue una limitante para hacer un análisis más detallado de la relación de las aves con características de los ambientes lacustres. Se requiere contar con información como el tipo de ambiente (laguna, lago, área inundable, presa, estero, laguna costera y si son permanentes o temporales). Otros más detallados, como la disponibilidad y preferencia de hábitat, necesitan de datos como perfiles de profundidad, superficie del espejo de agua y composición de la vegetación acuática dominante (Vázquez-Rivera 2004).

El resultado más importante de esta fase, fue obtener el análisis de la superficie de cuerpos de agua costeros y continentales respecto a su distribución en el país, por Estado, altitud y regiones hidrológicas, tanto administrativas como prioritarias. Por lo anterior, es tan importante el proyecto de inventario de humedales que continúa en proceso, para el cual el presente estudio puede contribuir con listados conocidos y potenciales de 151 especies de avifauna lacustre y costera.

Respecto a la información generada para aves acuáticas en México, la situación es similar, los estudios ornitológicos se realizan con enfoques, escalas y periodos muy variados, y para algunas especies la información es muy escasa o no

existe. Aunque hay especies acuáticas bien conocidas, los datos disponibles dificultan superar la etapa de “contabilidad de la naturaleza”, que si bien nos permite obtener los patrones de distribución en México, es insuficiente para pasar a otros niveles de investigación con todas las especies seleccionadas, donde se analicen, por ejemplo variaciones de densidad a gran escala o preferencia de hábitats, como se hace en otros países (Carrascal y Lobo 2003).

La revisión de la literatura producida, permitió señalar especies que requieren mayor investigación. Con los listados de las AICAs (CONABIO 2002) y los datos del Atlas se reconocieron especies de las que hacen falta ejemplares en museos o al menos registros recientes georreferenciados, al igual que sitios del país que no cuentan con datos sobre la presencia de aves acuáticas; aún así, fue posible establecer tendencias latitudinales de riqueza que coincidieron con los sitios donde la superficie de cuerpos de agua es mayor.

Debido a las diferencias en el formato y cantidad de datos, modelar nichos ecológicos con GARP, a partir de ejemplares de museos georreferenciados, fue una opción que no se había probado para aves acuáticas a gran escala, aunque sí con otros grupos de vertebrados y aves terrestres (Peterson 2001, Feria y Peterson 2002, Peterson *et al.* 2002, Rojas-Soto *et al.* 2003, García 2006, Fuller *et al.* 2007).

Se reconoce que los modelos obtenidos por GARP, tienden a sobreestimar la presencia de especies (designada como *error de comisión*, Swenson 2008), esto es una desventaja para especies con distribución bien conocida, pero resulta útil cuando falta representatividad en la información disponible; en tales casos los modelos resultantes compensan una muestra incompleta del área de distribución (Anderson *et al.* 2003). En el presente estudio, varias especies mostraron “sobrepredicción” hacia el centro de México, el sureste, el norte de ambas costas y la península de Yucatán; esta predicción en muchos casos correspondió con registros recientes, más allá del área de distribución reconocida en mapas para América (Ridgely *et al.* 2003), esto ha ocurrido para otros grupos, donde se constata la presencia de especies en áreas de distribución potencial indicadas por los modelos (Anderson 2003, Raxworthy *et al.* 2003).

Estos modelos iniciales, indican áreas donde la información no es suficiente, se pueden dirigir los esfuerzos de muestreo hacia cuerpos de agua donde los modelos señalan la probabilidad de que una o más especies puedan estar presentes; en otros casos revelan distribuciones históricas, que se pueden comprobar separando los registros pasados de los recientes (Raxworthy *et al.* 2003). En este sentido, se mostró

que los registros georreferenciados de ejemplares de museos permiten obtener modelos predictivos para aves acuáticas con distribución diversa.

Pese a su utilidad, la sobrepredicción puede corresponder a un error de comisión (Anderson 2003, Anderson *et al.* 2003), y por tanto estos modelos no podían emplearse para analizar patrones de distribución, puesto que darían una falsa impresión de riqueza específica. Se obtuvieron nuevos modelos con dos variaciones: 1) se redujo la sobreestimación (multiplicando los modelos óptimos para obtener el modelo final y recortando las áreas por barreras fisiográficas o biológicas), con esto quedó únicamente la *distribución nuclear* de cada especie, donde su presencia es más realista; el riesgo entonces es la subestimación por pérdida de áreas de distribución real (Anderson *et al.* 2003), pero al compararlos con los listados conocidos, resultaron estadísticamente más similares que los primeros modelos; 2) se separaron los registros únicos para generar distribución estacional de las especies, obteniendo mapas de riqueza de aves residentes y de residentes-migratorias.

Las especies migratorias en muchos casos mostraron diferencias en su distribución, particularmente los Anseriformes, Gruiformes y Charadriiformes, lo cual indica que al igual que las aves terrestres, pueden cambiar sus hábitats en los sitios donde invernán (Nakasawa *et al.* 2004).

La riqueza de aves acuáticas residentes está muy ligada a los sitios con mayor superficie de cuerpos de agua, tanto costeros como continentales, y refleja de manera indirecta la superficie de ambientes lacustres pequeños en el centro de México, aunque la máxima concentración de especies ocurre en las tierras bajas del Golfo, península de Yucatán y en una franja estrecha de la costa del Pacífico. Cuando se suma la distribución de las aves migratorias, la riqueza prácticamente se duplica y si bien las zonas de mayor concentración son las mismas, la presencia de aves acuáticas se extiende casi por todo el territorio, exceptuando las regiones montañosas de las sierras al norte del país y al sur del Eje Neovolcánico. El análisis por altitud, señala la mayor riqueza por debajo de los 200m, pero se considera que el número de cuerpos de agua está subestimado por arriba de los 1500m

La mayor similitud entre la riqueza de aves acuáticas y la representación de superficie de aguas continentales, se obtuvo con los mapas de gradículas, en cambio hubo muy poca relación con la superficie de cuerpos de agua por Estado o por región hidrológica administrativa. Los mapas de riqueza sugieren además la presencia de cuerpos de agua no incluidos en la cobertura empleada de CONABIO (1999), como el

delta del Río Colorado y humedales menores en el centro de México. Estos mapas también pueden servir para “pronosticar” las aves acuáticas que podrían habitar en nuevos cuerpos de agua que se habilitaran con las condiciones propicias en cada región geográfica, como se ha probado en otros ecosistemas (Feria y Peterson 2002).

Los patrones de riqueza de aves acuáticas obtenidos, son ejemplo de que existen diferencias en la distribución de especies prioritarias y áreas importantes para la conservación, dependiendo del grupo de especies que se trate (Flather *et al.* 1997); respecto a otros estudios de aves, hay coincidencia respecto a la riqueza en tierras bajas de la planicie costera del Golfo y los endemismos en el Eje Neovolcánico, pero difieren en el resto de los sitios con riqueza y endemismo (Long *et al.* 1996, Navarro y Sánchez-González 2003). El Eje Neovolcánico también es importante para mamíferos no voladores y peces (Aguilar 2003, Fuller *et al.* 2006).

Las áreas importantes para aves acuáticas, no coinciden con algunas de las regiones prioritarias reconocidas con alta diversidad (Arriaga *et al.* 2000, Aguilar 2003). Esto es común en un país megadiverso, a nivel global se consideran como importantes para la conservación de la diversidad, los lagos de tierras altas de México (Eje Neovolcánico), selvas, bosques, zonas áridas, grandes y pequeños lagos y ríos, cuencas y deltas- es decir casi todo el país- pero no el sureste (Olson y Dinerstenin 2002). Para las aves acuáticas el sureste y la península de Yucatán sí son relevantes, porque ahí se presentan muchas especies de afinidad tropical, particularmente garzas, cigüeñas, gallaretas y martines pescadores y es sitio de descanso de especies migratorias de larga distancia, sobre todo Charadriiformes (del Hoyo *et al.* 1994, 1996, 2001, Kaufman 1996, A.O.U. 1998).

De las 134 especies seleccionadas para analizar los patrones de distribución, una cuarta parte tienen su límite sur en territorio mexicano (neárticas u holárticas), y otras 20 tienen su límite norte en nuestro país (neotropicales), siete son endémicas; y en conjunto el 67.91% tienen alguna consideración respecto al riesgo de conservación en México y/o a nivel internacional, aunque no aparezcan en la NOM-059 (SEMARNAT 2002); esto hace necesario considerarlas en las políticas de conservación. Es común y lógico que se dé más importancia a los endemismos, pero ya que la distribución de la fauna no reconoce límites políticos, las especies de distribución extensa requieren esfuerzos de conservación integrales, aunque su presencia sea mayor en otros países (Arita *et al.* 1997, Abbitt *et al.* 2000).

Al contrastar los sitios de mayor riqueza de especies acuáticas con las áreas prioritarias y naturales protegidas, se observó la mayor correspondencia con los sitios Ramsar (2008), lo cual era de esperarse por ser humedales importantes, los sitios DUMAC coinciden con regiones del Pacífico, pero al dar más importancia a anátidos, no concuerdan con otras regiones; en las AICAs, Áreas Naturales Protegidas y Regiones Prioritarias hay diferencias, porque consideran además especies terrestres y otros ambientes (CONABIO 1998b, 2002, CONANP 2007).

Se reconoce la utilidad de los modelos de distribución y el uso de SIG basados en especies prioritarias, para planear desarrollos regionales que tomen en cuenta la conservación (Bojórquez-Tapia *et al.* 1995), y que es más conveniente planear áreas de conservación en función de las especies que albergan mediante análisis de complementariedad, que hacer declaratorias de múltiples áreas de conservación por las características propias cada una (Sarkar *et al.* 2002, 2004, Jackson *et al.* 2004, Sánchez-Cordero *et al.* 2005). En el presente caso, los análisis de complementariedad sugieren que para mantener un mínimo de hábitat para las especies acuáticas, es necesario conservar más humedales de los que se tienen ahora considerados y en todas las opciones se observa que las tierras bajas de la costa del Golfo y el Eje Neovolcánico requieren más representación en las áreas prioritarias.

Los sitios biodiversos, al igual que pasa en otras partes del mundo, pueden ser en el futuro altamente vulnerables (de hecho algunas ya lo son), por las altas tasas de crecimiento humano (Abbitt *et al.* 2000). En el Eje Neovolcánico por ejemplo, pese a su alta riqueza faunística y endemismos, se presenta el reto de hacer compatible su mantenimiento a futuro, con las necesidades de desarrollo regional de una población humana de más de 40 millones (Fuller *et al.* 2006). A nivel global, se debe reconocer la necesidad de planear de manera integral el desarrollo, ahora que el humano usa más del 50% de los ecosistemas (Iñigo-Elías y Enkerlin 2003).

Retrasar la toma de decisiones que integren metas realistas de conservación, hace que cada vez se requieran más recursos materiales para su implementación (Fuller *et al.* 2007). Esta necesidad se convierte en urgencia, porque se trata de mantener hábitats propicios para fauna que depende de la presencia de agua superficial, y estos hábitats, pese a los servicios ambientales que brindan, actualmente enfrentan múltiples amenazas derivadas del uso y extracción de sus recursos,

aunados a los problemas ambientales que enfrentan todos los ecosistemas, y de los cuales en muchas ocasiones las aguas continentales funcionan como sumideros: destrucción de hábitat, erosión, sedimentación, incendios, precipitación ácida, contaminación, prácticas ilegales, introducción de especies exóticas, entre otros (Arriaga *et al.* 2000) y de los cuales se ilustró la influencia territorial de la ganadería, agricultura y densidad humana.

En síntesis, se pudo obtener el análisis de la distribución, extensión y relación con la altitud de 787 cuerpos de agua de más de 25 hectáreas, la situación del conocimiento de 151 aves acuáticas, indicando cuáles requieren más investigación. Se obtuvieron modelos de distribución para 117 especies de las cuales se señalan sitios de distribución potencial fuera del área reconocida, de los cuales muchos se sustentan en observaciones y datos de presencia. Al final se obtuvieron modelos de distribución nuclear y estacional de 134 especies y a partir de ellas se analizaron los patrones de distribución, comparándolos con áreas prioritarias para la conservación. Se espera que esta información sea de utilidad para la planeación de estrategias de desarrollo que involucren el uso de ambientes acuáticos continentales y costeros, a fin de tomar en cuenta la viabilidad del hábitat de las aves acuáticas, tanto residentes como migratorias y de esta manera se estará dando la relevancia que tiene este componente de la biodiversidad de México.

VI

LITERATURA CITADA

-
- A.O.U. (American Ornithologists' Union). 1998. Check-List of North American Birds. 7th ed. Allen Press. U.S.A.
 - Abbitt R.J.F., J.M. Scott, D.S. Wilcove. 2000. The Geography of vulnerability: incorporating species geography and human development patterns into conservation planning. *Biological Conservation*. 96:169-175.
 - Aguilar V. 2003. Aguas Continentales y diversidad biológica de México: un recuento actual. *Biodiversitas*. 8:1-15.
 - Alcocer J., M. Chávez, E. Escobar. 1996. Limnological regionalization of Mexico. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. 2:55-69.
 - Almada-Villela P., D.W. Anderson, E.W. Gustafson, A. López-Ornat, R. Migoya, A.C. Rogel-Bahena, N.J. Scott Jr, E. Valles. 1986. Capítulo México. pp 374-403. En: Scott D.A. y M. Carbonell (comps.). *Inventario de Humedales de la región neotropical*. IWRB Slimbridge y UICN Cambridge.
 - Anderson R.P. 2003. Real vs artefactual absences in species distributions: test for *Oryzomys albigularis* (Rodentia: Muridae) in Venezuela. *Journal of Biogeography*. 30:591-605.
 - Anderson R.P., D. Lew, A.T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selection optimal models. *Ecological Modelling*. 162:211-232.
 - Arizmendi, M.C. 2003. Estableciendo prioridades para la conservación de las aves. Pp. 133-149. En: Gómez H. y A. Oliveras (eds.) *Conservación de Aves experiencias en México*. CIPAMEX, CONABIO. México.
 - Arizmendi M.C., L. Márquez-Valdelamar (eds.). 2000. *Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México: Fichas técnicas y mapa (escala 1:4,000,000)*. CONABIO, México.
 - Arriaga L., C. Aguilar, D. Espinosa-Organista, R. Jiménez-Rosenberg. 1997. *Regionalización Ecológica y Biogeográfica de México*. Manuscrito inédito. CONABIO, México. 142 pp.
 - Arriaga L., V. Aguilar, J. Alcocer. 2000. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
 - Arriaga L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, E. Loa (Coords.). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
 - Arriaga-Cabrera L., V. Aguilar-Sierra, J. Alcocer-Durán, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López, E. Vázquez-Domínguez (Coords.). 1998. *Regiones hidrológicas prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1:4,000,000)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
 - Banks R.C., C. Cicero, J.L. Dunn, A.W. Kratter, P.C. Rasmussen, J.V. Remsen Jr, J.D. Rising, D.F. Stotz, 2002. Forty-third supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *The Auk*. 119:897-906.

- Banks R.C., C. Cicero, J.L. Dunn, A.W. Kratter, P.C. Rasmussen, J.V. Remsen Jr., J.D. Rising, D.F. Stotz, 2003. Forty-fourth supplement to the American Ornithologists' Union Check-list of North American Birds. *The Auk*. 120: 923-931.
- Banks R.C., C. Cicero, J.L. Dunn, A.W. Kratter, P.C. Rasmussen, J.V. Remsen Jr., J.D. Rising, D.F. Stotz, 2004. Forty-fifth supplement to the American Ornithologists' Union Check-list of North American Birds. *The Auk*. 121:985-995.
- Banks R.C., C. Cicero, J.L. Dunn, A.W. Kratter, P.C. Rasmussen, J.V. Remsen Jr., J.D. Rising, D.F. Stotz, 2006. Forty-seventh supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *The Auk*. 123: 926-936.
- Banks R.C., R.T. Chesser, C. Cicero, J.L. Dunn, A.W. Kratter, I.J. Lovette, P.C. Rasmussen, J.V., Remsen Jr., J.D., Rising, D.F. Stotz, 2007. Forty-eighth supplement to American Ornithologists' Union check-list of North American birds. *The Auk*. 124:1109-1115.
- Berlanga-Robles C.A., A. Ruíz-Luna. 2004. Análisis Comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales. INE (Instituto Nacional de Ecología) y Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., México. 71 pp.
- Bocco G. 2004. Cartografía y sistemas de información geográfica en el manejo de cuencas. Pp. 41-46. En: Cotler H. (Comp.). El manejo integras de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Bojórquez-Tapia L., I. Azuara, E. Ezcurra, O. Flores-Villela. 1995. Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modelling. *Ecological Applications*. 5:215-231.
- Carmona R., E.M. Zamora-Orozco, J.A. Castillo-Guerrero. 1999. New records of the least grebe (*Tachybaptus dominicus*) and ten records of waterfowls in La Paz bay, Baja California Sur, Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoológica*. 70:191-203.
- Carrascal L.M., J. Lobo. 2003. Respuestas a viejas preguntas con nuevos datos: estudio de los patrones de distribución de la avifauna española y su aplicación en conservación. pp 651-668. En: Martí, R. y J.C. Del Moral. 2003. Atlas de las aves nificantes de España. Sociedad Española de Ornitología. Madrid.
- Carrera E., G. de la Fuente. 2003. Inventario y Clasificación de Humedales de México. Parte I. Ducks Unlimited de México, A. C. México. 239 pp
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2001. Compendio Básico del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Planeación Hidráulica. 96 pp.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. Escala 1: 1,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2002. Acceso a la información de cada AICA por lista. [En línea]: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicaslista.html>. Fecha de acceso: enero 2006.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2004. Población total e indígena y sus características a nivel municipal 2002. Datos de Serrano, C.E., O.A. Embriz, H.P. Fernández. (Coords.). Indicadores socioeconómicos de los pueblos indígenas de México 2002. INI, PNUD y CONAPO. México, D.F. Escala 1:250 000.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2006. aVerAves versión 2. [En línea]: http://conabio.gob.mx/conocimiento/monitoreo_especies/doctos/averaves.html. Fecha de acceso: octubre 2007.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 1998a. Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250 000. México. Información digitalizada por CONABIO [En línea]: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>. Fecha de acceso: enero 2006.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 1998b. Regiones Hidrológicas de México. Escala 1:1 000 000. México. Información digitalizada por CONABIO [En línea]: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>. Fecha de acceso: enero 2006.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2001. Compendio Básico del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Planeación Hidráulica. 96 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Estadísticas del Agua en México. CONAGUA, SEMARNAT, México. 184 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2007. Estadísticas del Agua en México. Edición 2007. CONAGUA, SEMARNAT, México. 252 pp.
- CONANP (Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas). 2007. Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas, México. [En línea]: <http://conanp.gob.mx/sig>. Fecha de acceso: enero 2007.
- Contreras F. 1985. Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca, México. D.F.
- Daniel W. W. 2003. Bioestadística: Bases para la aplicación a las ciencias de la Salud. 4ª ed. Limusa.
- De la Lanza E.G., J.L. García C. (comps.). 2002. Lagos y Presas de México. AGT Editor. México. 680 pp.
- De la Lanza E.G., J.L. García C. (comps.). 1995. Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo. México. 320 pp.
- del Hoyo J., A. Elliot, J. Sargatal (eds.). 1994. Handbook of the Birds of the World. Vol. 2. New World Vultures to Guinafowl. Lynx Editions, Barcelona.
- del Hoyo J., A. Elliot, J. Sargatal (eds.). 1996. Handbook of the Birds of the World. Vol 3. Hoatzin to Auks. Lynx Editions, Barcelona.
- del Hoyo J., A. Elliot, J. Sargatal (eds.). 2001. Handbook of the Birds of the World. Vol. 6. Mousebirds to Hornbills. Lynx Editions, Barcelona.
- DeSante D.F., J.F. Saracco, C. Romo de Vivar, S. Morales. 2006. Manual MoSI 2007-08. Instrucciones para el establecimiento y manejo de estaciones de anillamiento de aves del programa MoSI (Monitoreo de Sobrevivencia Invernal). [En línea]: <http://www.birdpop.org/DownloadDocuments/MoSI/MoSIManual0708Esp.pdf> . Fecha de acceso: febrero 2008.
- Duarte C.M., O. Piro. 2001. Interdisciplinary challenges and bottlenecks in the aquatic sciences. Limnology and Oceanography Bulletin. 10:57-61.
- Eng, R.L. 1985. Waterfowl. Montana State University. pp 371-385.

- Escalante P., A.G. Navarro, A.T. Peterson. 1993. A geographical, ecological and historical analysis of land bird diversity in Mexico. Pp 281-308. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, J. Fa and E. Lot (eds.). Biological diversity in Mexico: origins and distributions. Oxford University Press. New York.
- ESRI. 1999. Arc View GIS ver. 3.2. Environmental Systems Research Inc., USA.
- FEA (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental), CEMDA (Centro Mexicano de Derecho Ambiental), Presencia Ciudadana Mexicana. 2006. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. FEA, A.C., CEMDA A.C. y Presencia Ciudadana Mexicana A.C., México. 96 pp.
- Feria T.P., A.T. Peterson. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions*. 8:49-56.
- Fielding A.H., J. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*. 24:38-49.
- Flather C.H., K.R. Wilson, D.J. Dean, W.C. McComb. 1997. Identifying Gaps in Conservation Networks: Of Indicators and Uncertainty in Geographic-Based Analyses. *Ecological Applications*. 7:531-542.
- Forcey J.M. 2002a. Notes on the Birds of Central Oaxaca, Part I: Podicipedidae to Laridae. *Huitzil*. 3:1-10.
- Forcey J.M. 2002b. Notes on the Birds of Central Oaxaca, Part III: Hirundinidae to Fringillidae. *Huitzil*. 3:43-55
- Fuller T., M. Munguía, M. Mayfield, V. Sánchez-Cordero, S. Sarkar. 2006. Incorporating conectivity into conservation planning: A multi-criteria case study from central Mexico. *Biological Conservation*. 133:131-142
- Fuller T., V. Sánchez-Cordero, P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar. 2007. The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation*. 134:593-600.
- García A. 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biological Conservation*. 130:25-46.
- García-Trejo E.A., A.G. Navarro. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. *Acta Zoológica Mexicana*. 20: 167-185.
- Garza-Torres H.A., Navarro-S., A.G. 2003. Breeding records of the Sooty Tern in Tamaulipas and its distribution on the Gulf of Mexico. *Huitzil*. 4:22-25.
- González-Bernal M.C., J.A. Castillo-Guerrero, C.R. Hernández-Celis, X. Vega. 2006. Primer registro del Rascón Pinto (*Pardirallus maculatus*) en Sinaloa, México. *Huitzil*. 7:35-36.
- Gordillo-Martínez A. 2002. Modelling distributions of mexican Odontophoridae: Implications in conservation. Proceedings of 7th International Galliformes symposium. Katmandu, Nepal.
- Hawkins B.A., E.E. Porter, J.A. F. Diniz-Filho. 2003a. Productivity and history as predictors of the latitudinal diversity gradient of terrestrial birds. *Ecology*. 84:1608-1623.
- Hawkins B.A., R. Field, H.V. Cornell, D.J. Currie, J-F Guégan, D.M. Kaufman, J.T. Kerr, G.G. Mittelbach, T. Oberdorff, E.M. O'Brien, E.E. Porter, J.R.G. Turner. 2003b. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*. 84:3105-3117.
- Hernández-Avilés J.S., M. del C. Galindo de S., J. Loera P. 1995. Bordos o Microembalses. pp 291-308. En: De la Lanza E. G. y J. L. García C. (comps.). Lagos y Presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo. México

- Hernández-Baños B.E., A.T. Peterson, A.G. Navarro, B.P. Escalante-Pliego. 1995. Bird Faunas of the Humid Forest of Mesoamerica: Biogeographic Patterns and Priorities for Conservation. *Bird Conservation International*. 5: 251-277.
- Hijmans R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones, A. Jarvis. 2006. WorldClim v. 1.4. Museum of Vertebrate Zoology University of California Berkeley, Nature Serve, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Rainforest CRC. [En línea]: <http://www.worldclim.org>. Fecha de acceso: septiembre 2006.
- Howell S.N.G., L.J. Prairie. 1989. Notable Gull Records from the Yucatan Peninsula. *Aves Mexicanas* 2. 89-2:3-4.
- Howell S.N.G., S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and northern Central America. Oxford University Press, Nueva York.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2004. Memoria del Taller con los sectores científico y académico para la discusión y selección de una definición operativa de "humedal", y de una propuesta de sistema de clasificación de humedales en México. 29 de noviembre. INE. México. 36 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), J. Lugo-Hupb, R. Vidal-Zepeda, A. Fernández-Equiarte, A. Gallegos-García, J. Zavala-H. y otros. 1990. Hipsometría y Batimetría I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4,000,000. Instituto de Geografía, UNAM. México
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. II Censo de Población y Vivienda 2005. INEGI. http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general_ver3/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=7247. Fecha de acceso: mayo 2007.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. Información Hidrológica. [En línea]: http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/regiones_hidrologicas.cfm?c=519. Fecha de acceso: octubre 2006.
- Iñigo-Elías E.E., H.E.C. Enkerlin. 2003. Amenazas, estrategias e instrumentos para la conservación. pp 86-132. En: Gómez, S.H., A. Oliveras (eds.). *Conservación de Aves experiencias en México*. CIPAMEX, CONABIO, México.
- Jackson S.F., M. Kershaw, K.J. Gaston. 2004. The performance of procedures for selecting conservation areas: waterbirds in the UK. *Biological Conservation*. 118:261-270.
- Kaufman K. 1996. *Lives of North American Birds*. Peterson Natural History Companions. Houghton Mifflin Co. USA. 675 pp.
- Lira-Noriega A., J. Soberón, A.G. Navarro Sigüenza, Y. Nakasawa, A.T. Peterson. 2007. Scale dependency of diversity components estimated from primary biodiversity data and distribution maps. *Diversity and Distributions*. 13:185-195.
- Loiselle E.A., C.A. Howell, C.H. Graham, J.M. Goerck, T. Brooks, K.G. Smith, P.H. Williams. 2003. Avoiding Pitfalls of Using Species Distribution Models in Conservation Planning. *Conservation Biology*. 17:1591-1600.
- Long A.J., M.J. Crosby, A.J. Stattersfield. 1996. Towards a Global Map of Biodiversity: Patterns in the Distribution of Restricted-Range Birds. *Global Ecology and Biogeography Letters*. 5: 281-304.
- López-Ornat A., J.F. Lynch, B. MacKinnon de Montes. 1989. New and noteworthy records of birds from the eastern Yucatan Peninsula. *Wilson Bulletin*. 101:390-409.

- Maass J.M. 2004. La investigación de procesos hidrológicos y el manejo integrado de cuencas hidrográficas: un análisis del problema de escala. Pp. 49-62. En: Cotler H. (comp.). El manejo integrado de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Mayr E. 1988. The contributions of birds to evolutionary theory. Pp. 2718-2723. In Ouellet, H. (ed.). Acta XIX Congr. Intern. Ornithol. Ottawa. Canada.
- McAleece N., P.J.D. Lamshead, G.L.J. Paterson, J.D. Gage. 1997. Biodiversity Pro: Free Statistics Software for Ecology. The Scottish Association for Marine Sciences. [En línea]: <http://www.sams.ac.uk/research/software>. Fecha de acceso: febrero 2008.
- Medina-Macías M.N. 2002. Patrones de distribución de las aves de la Sierra del Espinazo del Diablo, Sinaloa-Durango. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.
- Microsoft. 2003a. Microsoft Office Access. Parte de Microsoft Office Professional Edition 2003.
- Microsoft. 2003b. Microsoft Office Excel. Parte de Microsoft Office Professional Edition 2003.
- Mittermeier R.A., C. Goettsch de M. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. Pp. 63-73. En: México ante los retos de la biodiversidad. J. Sarukhán, R. Dirzo (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Morales-Pérez J.E., A.G. Navarro S. 1992. Análisis de la distribución de la avifauna de la Sierra Norte del Estado de Guerrero, México. Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología. 58: 373-388.
- Nakazawa Y., A.T. Peterson, E. Martínez-Meyer, A.G. Navarro-Sigüenza. 2004. Seasonal niches of nearctic-neotropical migratory birds: Implication for the evolution of migration. The Auk. 121:610-618.
- National Geographic Society. 2000. Field Guide to the Birds of North America. Third Edition. National Geographic Society. Washington. U.S.A. 480 pp.
- Navarro A.G. 1992. Altitudinal distribution of birds in the Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. Condor . 94:29-39.
- Navarro A.G. 1998. Distribución Geográfica y ecológica de la avifauna del estado de Guerrero, México. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias. UNAM. México.
- Navarro S. A.G., A.T. Peterson, E. López-Medrano, H. Benítez-Díaz. 2001. Species limits in Mesoamerican *Aulacorhynchus* toucanets. Wilson Bulletin. 113: 363-372.
- Navarro S. A.G., H. Benítez. 1993. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. Revista Ciencias, Número Especial. 7:45-54.
- Navarro, A.G., A. T. Peterson & A. Gordillo-Martínez. 2003a. Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. Pp. 207-225 In: Collar, N., C. Fisher, and C. Feare (eds.). Why museums matter: avian archives in an age of extinction. Bulletin British Ornithologists' Club Supplement 123A
- Navarro S.A.G., A.T. Peterson, Y.J. Nakasawa, I. Liebig-Fossas. 2003b. Colecciones Biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. Pp 115-122. In: Morrone, J.J. & J. Lorente (eds.) Una perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. CONABIO-UNAM, México.
- Navarro S.A.G., A.T. Peterson. 1999. Extensión del área de distribución de aves en el oeste de Guerrero, México. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoológica 70:41-50.

- Navarro S.A.G., A.T. Peterson, A. Gordillo-Martínez. 2002 A Mexican case study on a centralised database from world natural history museums. CODATA Data Science Journal 1:45-53. [En línea]: <http://www.jstage.jst.go.jp/article/dsj/1/0/45/pdf> . Fecha de acceso: abril 2008.
- Navarro-Sigüenza A.G., A.T. Peterson. 2004. An Alternative Species Taxonomy of the Birds of Mexico. Biota Neotropica. 4,1-32 [En línea]: <http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/fullpaper?bn03504022004+en>. Fecha de acceso: junio 2005.
- Navarro S.A.G. y L.A. Sánchez-González. 2003. La diversidad de las aves. Pp. 24-85. En: Gómez H. y A. Oliveras (eds.). Conservación de Aves, experiencias en México. CIPAMEX, CONABIO. México
- Olmsted I. 1993. Wetlands of Mexico. Pp. 637-678. En: Whigham D.F., D. Dykyjová, S. Hejný (eds.). Wetlands of the World I. Inventory, Ecology and Management. Handbook of Vegetation Science. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Olson D.M., E. Dinerstein. 2002. The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. Annals of the Missouri Botanical Garden. 89:199-224.
- Palomera-García C., S. Contreras-Martínez, B.Y. Cruz-Rivera, B. Villa-Bonilla, J. Cruz Gómez-Llamas. 2006. Registros adicionales del Carrao (*Aramus guarauna*) en el Estado de Jalisco. Huitzil 7:23-26.
- Paynter R.A. Jr. 1955. The Ornithogeography of the Yucatan Peninsula. Peabody Mus. Nat. Hist. Bull. 9.
- Peña-Jiménez A., L. Neyra-González. 1998. Capítulo 5. Amenazas de la Biodiversidad. Pp 156-181. En: CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). La diversidad biológica de México: Estudio del País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Pérez-Arteaga A., K.J. Gaston, M. Kershaw. 2002. Undesignated sites in Mexico qualifying as wetlands of international importance. Biological Conservation. 107: 47-57.
- Peterson A.T. 1998. The distribution and type locality of the extinct Slender-billed Grackle, *Quiscalus palustris*. Bulletin of the British Ornithologists' Club. 118:119-121.
- Peterson A.T. 2001. Predicting Species' Geographic Distributions based on Ecological Niche Modeling. Condor. 103: 599-605.
- Peterson A.T., A.G. Navarro-Sigüenza. 2006. Hundred-year changes in the avifauna of the Valley of Mexico, Distrito Federal, Mexico. Huitzil. 7:4-14.
- Peterson A.T., D.A. Kluza. 2003. New distributional modeling approaches for gap analysis. Animal Conservation. 6:47-54.
- Peterson A.T., J. Soberón, V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time. Science. 285:1265-1267.
- Peterson A.T., L.G. Ball, K.P. Cohoon. 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. Ibis 144. [En línea]: E27-E32. <http://www.blackwell-synergy.com/toc/ibi/144/1>. Fecha de acceso: Abril 2008.
- Peterson A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R.H. Buddemeier, D.R.B. Stockwell. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. Nature 416:626-629.
- Peterson A.T., R.D. Holt. 2003. Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. Ecology Letters. 6: 774-782.

- Peterson A.T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R.W. Buddmeier, A.G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling*. 144:21-30.
- Peterson R.T., E.L. Chalif. 1999. Mexican Birds. Peterson Field Guides. Houghton Mifflin. New York, U.S.A. 298 pp.
- Ramamoorthy T.P., R. Bye, A. Lot, J. Fa. (eds.). 1993. Biological diversity of Mexico: origins and distributions. Oxford University Press, Nueva York.
- Ramírez-Bastida. P., A.E. DeSucre-Medrano, A.G. Navarro-S., P.J. Romo, H.J. Castro. 1994. Winter specimens of the common loon (*Gavia immer*) from the state of Hidalgo, Mexico. *Southwestern Naturalist*. 39:394-395.
- RAMSAR, 1971. Definición de "humedales" y Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de la Convención de Ramsar. Ramsar, Irán. [En línea]: http://ramsar.org/ris/key_ris_types_s.htm. Fecha de acceso: octubre de 2006.
- Ramsar. 2006. The Annotated Ramsar List: Mexico. The Ramsar Convention on Wetlands. [En línea]: http://www.ramsar.org/profile/profiles_mexico.htm. Fecha de acceso: octubre 2006.
- Ramsar. 2007. Día Mundial de los Humedales – México. [En línea]: http://www.ramsar.org/wwd/7/wwd2007_rpts_mexico_centla.htm. Fecha de acceso: diciembre 2007.
- Ramsar. 2008. The List of Wetlands of International Importance. [En línea]: <http://www.ramsar.org/sitelist.pdf>. Fecha de acceso: abril 2008.
- Raxworthy C.J., E. Martinez-Meyer, N. Horning, R.A. Nussbaum, G.E. Schneider, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*. 42:837-841.
- Real Academia Española. 2001. Diccionario de la Real Academia Española. 22ª ed. [En línea]: <http://buscon.rae.es/drae/> Fecha de acceso: septiembre 2007.
- Ridgely R.S., T.F. Allnutt, T. Brooks, D.K. McNicol, D.W. Mehlman, B.E. Young, J.R. Zook. 2003. Digital Distribution Maps of the Birds of the Western Hemisphere, version 1.0. NatureServe, Arlington, Virginia, USA. [En línea]: <http://www.natureserve.org/getData/birdMaps.jsp>. Fecha de acceso: junio 2005.
- Rodríguez-Yañez C., R.M. Villalón C., A.G. Navarro S. 1994. Bibliografía de Aves de México (1825-1992). Fac. de Ciencias. UNAM. 146 pp.
- Rojas-Soto O., O. Alcántara-Ayala, A.G. Navarro. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modelling approach. *Journal of Biogeography*. 30: 449-461.
- Rojas-Soto O.R., A.G. Navarro-S. 1999. New reports on the avifauna in the state of Puebla, Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología* 70:205-213.
- Rose P. M., D.A. Scott. 1997. Waterfowl Population Estimates. Wetlands International Publication 44. Second Edition. 106 pp.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005a. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). http://www.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp. Fecha de acceso 10 julio 2005.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005b. Población ganadera, avícola y apícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de acceso 10 julio 2005.
- Sánchez-Cordero V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje. S. Sarkar, A.T. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*. 126:465-473.
- Sarkar S., A. Aggarwal, J. Garson, C. Margules, J. Zeidler. 2002. Place prioritization for biodiversity content. *Journal of Bioscience*. 27:339-346.
- Sarkar S., C. Pappas, J. Garson, A. Aggarwal, S. Cameron. 2004. Place prioritization form biodiversity conservation using probabilistic surrogate distribution data. *Diversity and Distribution*. 10:125–133
- SAS INSTITUTE. 1995. JMP (Jump) ver 3.1.6.2. 1989 – 1996 SAS Institute Inc.
- Schaldach W.J. Jr., B.P. Escalante-P, K. Winker. 1997. Further notes on the Avifauna of Oaxaca, Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoológica* 68:91-135.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. México. 6 Marzo 2002:1-153.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Compendio de Estadísticas Ambientales 2002. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. UMA con Tasas de Aprovechamiento de Aves Acuáticas Autorizadas. Temporada de Aprovechamiento 2005-2006. [En línea]: http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/vidasilvestre/Aprovechamientos/tasas_aves_acua_05-06.pdf . Fecha de acceso: enero 2008.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y en el mundo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 202 pp.
- Skagen S. , P.B. Sharpe, R.G. Waltermire, M.B. Dillon. 2002. Biogeographical Profiles of Shorebird Migration in Midcontinental North America. Midcontinental Ecological Science Center, U. S. Geological Center. [En línea]: <http://www.mesc.usgs.gov/products/pubs/555/sppaccts/sppaccts.html>. Fecha de acceso: marzo 2006.
- StatSoft, Inc. 2000. STATISTICA for Windows v.5.5 [Computer program manual]. StatSoft, Inc. Tulsa OK.
- Stockwell D.R.B., A.T. Peterson. 2002. Effects of sample size in accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*. 148:1-13.
- Stockwell D.R.B., D.P. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems*. 13:2 143-15.
- Stockwell D.R.B., I.R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*. 33: 385-390.
- Swenson N.G. 2008. The past and future influence of geographic information system on hybrid zone, phylogeographic and speciation research. *Journal of Evolutionary Biology*. 21:421-434.
- U. S. Fish and Wildlife Service. 2007. Waterfowl population status, 2007. U. S. Department of the Interior, Washington, D.C., U.S.A 50 pp.

- U.S. Geological Survey (USGS). 2006. Hydro 1K data set for North America. U.S. Geological Survey, Center for Earth Resources Observation and Science (EROS). [En línea]: <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/namerica.html>. Fecha de acceso: septiembre 2006.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. Synthesis GEO-3 Global Environment Outlook 3. P, present and future perspectives. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenia. 410 pp.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2003. Agua para todos agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. UNESCO, World Water Assessment Programme. Resumen. UNESCO/Mundi Prensa. 36 pp.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2007. El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. UNESCO, World Water Assessment Programme. 587 pp.
- University of Kansas Center for Research. 2002. Desktop GARP. [En línea]: <http://www.lifemapper.org/desktopgarp/Default.asp?Item=1&Lang=1>. Fecha de acceso: diciembre 2006.
- Vázquez-Rivera H. 2004. Preferencias de hábitat por la avifauna presente en la Laguna Chimaliapan, Ciénagas del Lerma, Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). UNAM. México. 131 pp.
- Villaseñor J.F. 1993. First documented records of the Arctic tern on the Pacific coast of Mexico. The Wilson Bulletin 105:364-365.
- Weber W.C., J.B. Thenerge. 1977. Breeding Bird Survey Counts as related to Habitat and Date. Wilson Bulletin 89: 543-561.
- Wetlands International. 2005. Ramsar Sites Information Service. [En línea]: <http://www.wetlands.org/RSIS/COP9Directory/ES/Default.htm>. Fecha de acceso: octubre 2005.
- Wilson E.O. 1988. Biodiversity. Washington, D.C. National Academy Press.

VII

APÉNDICES



Página anterior (en orden descendente):

Mycteria americana, *Phalacrocorax brasilianus* y *Coragyps atratus*;
Fulica americana juveniles; *Egretta thula* y *Bubulcus ibis*; *Plegadis chihi*
Pelecanus occidentalis y *Larus atricilla*; *Tigrisoma mexicanum* juvenil;
Pelecanus erythrorhynchos

Fotos: P. Ramírez-Bastida

Apéndice 2.1. Relación de ejemplares por especie por década de colecta.

ESPECIE	1853-1860	1861-1870	1871-1880	1881-1890	1891-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	sin año	Total
	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2002	sin año	
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	1	1		12	4	3	2	2	20	20	25	15	9	12	46	1	8	181
<i>Dendrocygna bicolor</i>				2				2	5		2			1	6		5	23
<i>Anser albifrons</i>					2	1			7	5				1	30	2		48
<i>Chen caerulescens</i>					2			4		1				1	24	6		38
<i>Chen hyperborea</i>										1								1
<i>Branta bernicla</i>									1									1
<i>Branta canadensis</i>															4			4
<i>Branta hutchinsii</i>									1									1
<i>Branta leucopareia</i>																	2	2
<i>Branta minima</i>									1									1
<i>Cygnus buccinator</i>						1												1
<i>Cygnus columbianus</i>								2		1		1						4
<i>Cairina moschata</i>		1		1	2	3	1		17	11	2	9	1	1	9	1	3	62
<i>Aix sponsa</i>											1		1		2			4
<i>Anas strepera</i>				3	3	2	1	2	8	10	6		1	2	10		7	55
<i>Anas americana</i>					1	6	1	1	1	7	9	1	4	6	55	2	6	100
<i>Anas platyrhynchos</i>				1				2	1		3		6	1	20		1	35
<i>Anas platyrhynchos diazi</i>				1	1	15			9	17	16	3	6	2		1		71
<i>Anas discors</i>				1		3	2	5	16	23	28	2	14	22	97	1	12	226
<i>Anas cyanoptera</i>	1				9	6	4	3	5	20	8		1	9	12		5	83
<i>Anas clypeata</i>				3	2	9		1	4	15	4	5	2	11	53	21	4	134
<i>Anas acuta</i>				1	2	6		5	4	9	7	1	2	8	125	10	7	187
<i>Anas crecca</i>	1		1	6	6	9		6	6	11	4	2	6	9	29	4	5	105
<i>Aythya valisineria</i>						7				6	1			3	8		8	33
<i>Aythya americana</i>				1		2	1		1	4		4		2	181	5	9	210
<i>Aythya collaris</i>				1							1	1	1	9	3		2	18
<i>Aythya marila</i>						1			2									3
<i>Aythya affinis</i>				2	3	3			10	9	10	5	7	2	31	20	5	107
<i>Bucephala albeola</i>						3		2		9	6		1	1	26		1	49
<i>Bucephala clangula</i>									1	2	6							9
<i>Lophodytes cucullatus</i>															7		2	9
<i>Mergus merganser</i>						4												4
<i>Nomonyx dominicus</i>						1	1			2							1	5

ESPECIE	1853-	1861-	1871-	1881-	1891-	1901-	1911-	1921-	1931-	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-	Total	
	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2002		sin año
<i>Oxyura jamaicensis</i>				2	1	1		2	6	17	10	4	10	11	44		3	111
<i>Tachybaptus dominicus</i>	1	1		12	6	4	5	3	63	31	37	75	7	7	33	2	6	293
<i>Podilymbus podiceps</i>				1	3	12		5	3	35	13	81	5	12	58	5	5	238
<i>Podiceps nigricollis</i>				1		6	7	3	6	4	18	25	6	8	19	4	2	109
<i>Aechmophorus occidentalis</i>				1		1			2	3	3	35	10	1		1	5	62
<i>Aechmophorus clarkii</i>										1	2	3						6
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>						1	1			3	7		2	3	113	11	3	144
<i>Pelecanus occidentalis</i>				6	16	12	16	6	12	3	8	14	43	4	180	24	10	354
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>				1	7	12	2		28	21	17	19	21	14	62	5	10	219
<i>Anhinga anhinga</i>		4		2	3	5			14	12	5	16	3	2	7	3	7	83
<i>Botaurus pinnatus</i>											5	8	1					14
<i>Botaurus lentiginosus</i>				1	4	1	2	2	2	11	7	8	2		18	1	5	64
<i>Ixobrychus exilis</i>			1	13		4	1	12	2	4	39	68	9	4			4	161
<i>Tigrisoma mexicanum</i>		1		1		6		2	25	20	19	19	7	3	10	1	12	126
<i>Ardea herodias</i>				2	5	2	2	12	8	11	9	35	5	6	182	24	9	312
<i>Ardea occidentalis</i>					1			1	2									4
<i>Ardea alba</i>			1	1	4	1			8	9	11	18	15	14	167	20	7	276
<i>Egretta thula</i>				4	1	14	8	21	20	20	18	37	16	16	219	16	3	413
<i>Egretta caerulea</i>				7	16	9	7	13	4	18	7	43	12	6	105	12	9	268
<i>Egretta tricolor</i>		1		8	8	8	4	21	9	28	8	41	6	6	157	5	10	320
<i>Butorides virescens</i>		1	2	27	4	63	25	66	45	64	43	104	22	20	40	12	13	551
<i>Agamia agami</i>								2	5	1	29				1			38
<i>Nycticorax nycticorax</i>				4	5	6	3	8	8	8	2	6	5	4	71	5	12	147
<i>Cochlearius cochlearius zeledoni</i>			1	15	1	9		1	14	13	22	74	5	2	1	6	9	173
<i>Plegadis chihi</i>				3	14	10	2	2	2	9	7		1	13	70		16	149
<i>Platalea ajaja</i>				3	1	7	2	8	42	8	6	5	4	3	111	4	10	214
<i>Jabiru mycteria</i>										2		1		1	1			5
<i>Mycteria americana</i>		1		2	6			4	4	6	5	7	3		55	5	5	103
<i>Pandion haliaetus</i>	2			4		9	8	11	7	13	10	9	35	21	122	16	1	268
<i>Rostrhamus sociabilis</i>					1				4		25	17			3			50
<i>Haliaeetus leucocephalus</i>					2				1	1								4
<i>Busarellus nigricollis</i>		1					2		3	2	6	1			3	1	2	21
<i>Buteogallus anthracinus</i>		2	3	21	6	20	3	2	59	38	29	23	7	3	20	7	13	256
<i>Buteogallus subtilis</i>									1		1		2				1	5
<i>Buteogallus urubitinga</i>		1	2	7	4	2	1	1	12	17	32	19	2		10	1	6	117

ESPECIE	1853-	1861-	1871-	1881-	1891-	1901-	1911-	1921-	1931-	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-	Total	
	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2002		sin año
<i>Coturnicops noveboracensis</i>						1						10					11	
<i>goldmani</i>																		
<i>Laterallus ruber</i>				3				1	4	7	16	64	6	1	2	1	3	108
<i>Laterallus jamaicensis</i>								1			2	3			2			8
<i>Rallus elegans</i>						3	5	6		4	21	31	3	1			1	75
<i>Rallus limicola</i>			1		4	20		6	4	1	19	39	4	2			1	101
<i>Aramides cajanea</i>				8	2	7			14	25	26	41	9		11		4	147
<i>Amaurolimnas concolor</i>										23	2	21						46
<i>Porzana carolina</i>				4	3	40	1	9	6	29	34	17	13	8	21		4	189
<i>Porzana flaviventer</i>											15	17	2					34
<i>Pardirallus maculatus</i>											11	22	3	1				37
<i>Porphyrio martinica</i>						4		1	20	2	16	25			2		2	72
<i>Gallinula chloropus</i>				9	2	8	1	13	3	5	11	39	5	12	14		5	127
<i>Fulica americana</i>				13	4	16		7	3	15	30	6	17	16	115	7	6	255
<i>Heliornis fulica</i>						5			4	5	8	17	3		2	2		46
<i>Eurypyga helias</i>								1										1
<i>Aramus guarauna</i>		2				1			3	9	15	14	1		18	1		64
<i>Grus canadensis</i>													2	1	9	2		14
<i>Grus americana</i>											1							1
<i>Pluvialis dominica</i>	1						5	3	9		6	3	2	2	4			35
<i>Pluvialis fulva</i>					1													1
<i>Charadrius alexandrinus</i>		2		15	15	13	2	18	4	16	22	30	8	1	7		1	154
<i>Charadrius hiaticula</i>									2		1							3
<i>Charadrius semipalmatus</i>		3		14	7	1	2	7	10	5	4	10	12	1	97	1	1	175
<i>Charadrius vociferus</i>	5	5		37	14	31	10	7	23	35	19	6	12	26	118		9	357
<i>Himantopus mexicanus</i>	6	3	1	9	26	10	3	10	6	17	21	13	15	22	138	9	17	326
<i>Recurvirostra americana</i>				2	17	16	15	3	6	14	9	1	7	4	93	1	5	193
<i>Jacana spinosa</i>		6	1	37	40	90	5	8	77	71	49	32	15	16	8		30	485
<i>Tringa melanoleuca</i>	3	3	1	3	7	17	11	16	11	7	10	8	6	4	108	1	5	221
<i>Tringa flavipes</i>		3	1	15	13	3	8	4	14	14	10		2	9	55		3	154
<i>Tringa solitaria</i>	1	7	1	9	4	3	3	7	18	12	10	20	3	9	5		6	118
<i>Actitis macularia</i>		6		37	8	10	9	6	19	46	27	52	34	73	113	7	11	458
<i>Bartramia longicauda</i>				7	7	4	3	1			1	7	1		2		5	38
<i>Numerius americanus</i>		1		6	12	10	6	9	7	12	20	10	3	4	119	5	8	232
<i>Numerius phaeopus</i>	2	1	1	2	1	13	5	5	2	6	6	7	1	2	23	5	3	85

ESPECIE	1853-	1861-	1871-	1881-	1891-	1901-	1911-	1921-	1931-	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-	Total	
	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2002		sin año
<i>Calidris mauri</i>		3		23	33	9	12	23	5	13	22	22	38	13	102	1	4	323
<i>Calidris minutilla</i>		5		33	35	13	8	14	14	47	30	56	74	132	183	2	7	653
<i>Calidris bairdii</i>				6		3		1	14	6	5	7	3	4			3	52
<i>Calidris melanotos</i>		2		10	1	2	2	4	8	7	5	8	5				4	58
<i>Calidris himantopus</i>		2		3	11				6	2	9	9	1	4	12			59
<i>Limnodromus griseus</i>		3		20		1		5	3	14	10	14	7	2	27		7	113
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	1	4		1	22	5		8	5	8	21	11	8	22	65		7	188
<i>Gallinago delicata</i>	1		1	5	16	11	4	10	8	8	8	14	9	15	19	1	8	138
<i>Phalaropus tricolor</i>				13		3		2	2	1	6	7	4	2	18		3	61
<i>Larus atricilla</i>		7		10	5	1		6	29	16	23	5	41	10	252	15	15	435
<i>Larus pipixcan</i>				1		2	1		10	4	5	6	9	2	13	4	2	59
<i>Larus philadelphia</i>			1			9	5	3	8		5	2		7	2		2	44
<i>Larus delawarensis</i>		1	1	4	5	8	2	1	2	1	4	4	5	6	123	8	8	183
<i>Larus argentatus</i>					2			2	1	1		2	2	3	52	6		71
<i>Hydroprogne caspia</i>								2	3		5	3	3	4	114	10	1	145
<i>Sterna forsteri</i>		3	2	4	1	16		2	1	3	6	13	4	3	90	1	4	153
<i>Chlidonias niger</i>	1	2		2	1	1	2	4	10	17	3	6	18	2	25		1	95
<i>Megaceryle torquata</i>		2		47	5	24	3	3	23	24	29	24	5	1	60	7	13	270
<i>Megaceryle alcyon</i>		1	2	36	13	18	10	9	13	17	19	7	5	16	45	6	11	228
<i>Chloroceryle amazona</i>		3		12	12	4		2	24	19	21	21	2		32	3	10	165
<i>Chloroceryle americana</i>		12	2	114	48	52	18	26	150	129	96	104	32	46	84	10	48	971
<i>Chloroceryle aenea</i>		2	2	4	3	9			15	32	30	42	27	5	8	4	1	184
<i>Sayornis aquatica</i>					1				1	7	10	4						23
<i>Sayornis nigricans</i>				60	14	23	1	131	114	137	74	48	91	16	30	1	14	754
<i>Tachycineta bicolor</i>	1	1		3		4	12	11	8	7	18	10	6	2				83
<i>Cistothorus platensis</i>									4			13						17
<i>Cistothorus stellaris</i>										1		1						2
<i>Cistothorus elegans</i>				4	3				7	7	38	77	1				1	138
<i>Cistothorus palustris</i>				3		18	1	13	2	19	92	40	7	33		2	1	231
<i>Cinclus mexicanus</i>				23	2			3	9	9	11	23	2	11	5		1	99
<i>Anthus cervinus</i>										1								1
<i>Anthus rubescens</i>				33	1	28	2	10	9	20	37	15	16	5	3			179
<i>Seiurus noveboracensis</i>				1	7	4	6	12	7	13	15	89	75	24	46	9	1	309
<i>Seiurus motacilla</i>				15	3	3		1	6	34	29	34	38	44	13	4	6	230
<i>Geothlypis trichas</i>			3	85	12	41	16	114	34	125	112	174	80	150	43	9	11	1009

ESPECIE	1853-	1861-	1871-	1881-	1891-	1901-	1911-	1921-	1931-	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-	Total	
	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2002		sin año
<i>Geothlypis modesta</i>				2	3	2		2	2	1							12	
<i>Geothlypis chapalensis</i>												13		34			2	49
<i>Geothlypis melanops</i>				14				7		1		1	9	9	1			42
<i>Geothlypis beldingi</i>				27	20	17	51	108						56			2	281
<i>Geothlypis flavovelata</i>					1					27	11	1		9				49
<i>Geothlypis speciosa</i>						110		2		30	13	49		81	1		5	291
<i>Melospiza mexicana</i>				22		19	1	17	31	56	484	19	19	68	1			737
<i>Melospiza rivularis</i>				11	50	141	15	171	26	8	46	5	4	18				495
<i>Melospiza goldmani</i>					2					5	19		2	1				29
<i>Melospiza melodia</i>						5		36	12	1	17	1						72
<i>Melospiza georgiana</i>						4				5	10	8	21	2		2		52
<i>Agelaius gubernator</i>				22	6	63			91	103	66	345	7	33			10	746
<i>Agelaius phoeniceus</i>			1	30	26	49	14	104	84	98	86	349	21	6	87	2	12	969
<i>Agelaius tricolor</i>					1	1												2
Total	28	110	33	1117	708	1359	394	1260	1609	2084	2563	3164	1218	1403	5302	415	645	23412

Apéndice 2.2. Relación de ejemplares por especie por museo.

ESPECIE	ND	AMNH	ANSP	BELL	BMUK	CARN	CAS	CMN	CORNE	DENV	DVINH	FHSC	FINNH	EA-U	IOWA	KU	LACM	LEID	LSUMZ	MGZ	MILZ	MMSU	MINHM	MINHP	MYZ	MZFC	NEBR	ROM	SDNHM	SWC	TCWC	UJAZ	UBCMZ	UCLA	UFMNH	UMMZ	UMSNH	USNM	WFVZ	YPMNH	TOTAL	
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	53		2	19	16		2		2				8		1	6	4		9		18			1	4		1	1		4				1	3	11	4	10	1	181		
<i>Dendrocygna bicolor</i>	9	1	1		2												1		1	1	10						1											3	1		23	
<i>Anser albifrons</i>	33					2													1	1	10																				48	
<i>Chen caerulescens</i>	32					2																												4							38	
<i>Chen hyperborea</i>	1																																								1	
<i>Branta bernicla</i>	0						1																																		1	
<i>Branta canadensis</i>	4																																								4	
<i>Branta hutchinsii</i>	1																																								1	
<i>Branta leucopareia</i>	2																																								2	
<i>Branta minima</i>	0																																								1	
<i>Cygnus buccinator</i>	0																			1										1											1	
<i>Cygnus columbianus</i>	0										1																			3											4	
<i>Cairina moschata</i>	14	3		3	2	2			2	2		6							1	1	18														1				7		62	
<i>Aix sponsa</i>	3										1																														4	
<i>Anas strepera</i>	18	1		2	6	3				2		2				1	1		2	2	10												1			2	1	1			55	
<i>Anas americana</i>	41			1	4	1	1			2				28			4		2	5	2				1	1							1			5			1		100	
<i>Anas platyrhynchos</i>	22				1					1					1	6	2												1												35	
<i>Anas platyrhynchos diazi</i>	1			12	1	4	1				3		7						3		21						1	2							1	1	13				71	
<i>Anas discors</i>	79		1	2	2	1			1	3		3	35	14	3				7	12	17			1	9									9	17		3	7		226		
<i>Anas cyanoptera</i>	22	2		5	5	7			3	3		2					4				16				2	2		1					2			6	1			83		
<i>Anas clypeata</i>	56	2		1	7	2			1					27			2		1	7	12					3			2		2				5		2	1		134		
<i>Anas acuta</i>	72			2	3	2	1			2				72			1		2	12	6					4		3		2				2					1	187		
<i>Anas crecca</i>	34	2			10	5	3			3	2	8				1		2	10	6					5			4							4					105		
<i>Aythya valisineria</i>	14	1		1	5		1		2	2										3	2															2				33		
<i>Aythya americana</i>	71	1			2		1			1			124				4			4												2								210		
<i>Aythya collaris</i>	7		1																2																	8				18		
<i>Aythya marila</i>	0																			1	2																			3		
<i>Aythya affinis</i>	30	2	1		2		1		1	2				27			9		4	8	2					5		1	1				1	1	2			3	2		107	
<i>Bucephala albeola</i>	30								1	1		1					1		3	3	6											1							2		49	
<i>Bucephala clangula</i>	5																1				2																		1		9	
<i>Lophodytes cucullatus</i>	9																																								9	
<i>Mergus merganser</i>	0											1								2																					4	
<i>Nomonyx dominicus</i>	0	1																		1	2																				5	
<i>Oxyura jamaicensis</i>	39		1	2	1	1			1	4		5	16			3			3	1	15					1											17		1		111	
<i>Tachybaptus dominicus</i>	38	8	2	23	15	5			2	5	2					9			26	8	70			1	5					3		1			1	20	3	4	38	4	293	
<i>Podilymbus podiceps</i>	69	1	1	52		4			26	5	3	9			2				3	4	24			1	4		1	2			1				4	9	6	4	3	238		
<i>Podiceps nigricollis</i>	26	7		18	2		2		4	1	3						12		8	6	4					2		4	1				1			4	3	1		109		
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	2	4		20		3			10	1	3						2			1	4			1	1	1	2	1								7				62		
<i>Aechmophorus clarkii</i>	0	2							1										2																	1				6		
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	137			1																				1	1													1	3		144	
<i>Pelecanus occidentalis</i>	194	2		3		11	13		2	2	1		5	13		3	33			1						4		5	10					1	2	2	1	39	5	2	354	
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	75			4	1	9	1		1	6		1				3	2	6	5	2	25			1	12		7	1				5	2	1	1	17	12	11	6	2	219	
<i>Anhinga anhinga</i>	11	4	1	6	3	4					1					4	1		2	9					4		2						2	2		2	6			11	8	83
<i>Botaurus pinnatus</i>	0	1				1				4									2									1													1	14
<i>Botaurus lentiginosus</i>	23	1		8	1	4			1	1		3	6				2				8														1	1	1	2		1	64	
<i>Ixobrychus exilis</i>	10	11	1	51	16				24	11		2							2	1	2					5		9	1					1	3	2	6	1	2		161	
<i>Tigrisoma mexicanum</i>	14	3		12		1			3	4		5				6	3		9	7	20			1	6		2		1		2		2		7	1	4	13		126		
<i>Ardea herodias</i>	211	11		14	4	2	1		11	1		2	11		3	2		3	1	4				1	5			3					3	7		1		5	6		312	
<i>Ardea occidentalis</i>	0	1										3																													4	
<i>Ardea alba</i>	203	1		17	5				3			3					3	1	3	4	4					15			1				3			2	2	3	2	1		276
<i>Egretta thula</i>	222	8		21	6	6			11	2		1	16				4		2	15	33				23		1	19				1	10	1			9		2	413		
<i>Egretta caerulea</i>	122	4		21	11	10	8		16	3		6			7	4	3	5	5					1		9	1		7				3	1		5	5		8	3	268	
<i>Egretta tricolor</i>	158	15	1	16	8	7	7		13	2		6	19				4	3	2	6	5	8				4	2	14				1	1	2		3	2		9	6	320	
<i>Butorides virescens</i>	72	21	3	76	28	5	8		14	8		19			11	2		7	70	86				6		17		2	34	1		1	9	12	4		10	2	19	4	551	

ESPECIE	ND	AMNH	ANSP	BELL	BMUK	CARN	CAS	GMN	CORNE	DENV	DMNH	FHSC	FMNH	IEA-U	IOWA	KU	LACM	LEID	LSUMZ	MCZ	MLZ	MMSU	MNHM	MNHNP	MVZ	MZFC	NEBR	ROM	SDNHM	SWC	TCWC	UAZ	UBCMZ	UCLA	UFMNH	UMMZ	UMSNH	USNM	WFZ	YPMNH	TOTAL					
<i>Agamia agami</i>	1	2	10		5			2		3					1			1	4																								38			
<i>Nycticorax nycticorax</i>	78	4	4	4	4	5	1		3				2				3		2	4	12			3	7	2	6		1							2		6						147		
<i>Cochlearius cochlearius zeledoni</i>	9	14	20	17	5	1		33		1		6			4			8	6	8					2	1	1					6		2	9	1	4	14	1				173			
<i>Plegadis chihi</i>	71	2	1	2	1	16	4			4		4	8		1			1		3	8			1	2	1										8	11						149			
<i>Platalea ajaja</i>	117	3		4			2		2	1		2	5		2	2			3	3	37				1	5	4				1		2		5	1	3	8	1				214			
<i>Jabiru mycteria</i>	3																								1	1																		5		
<i>Mycteria americana</i>	63			3	1	2	2		1				1			1	1		3	1	5				1	1	1			2				1	5			5	3				103			
<i>Pandion haliaetus</i>	138	2	1		3	2	11			1		3	3				13		3	2	2				5			55			2	4	1	1	1	1	1	6	7	1				268		
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	4	1	2						1	1		1				5	1		11	1							1								3						17	1		50		
<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	2					2																																						4		
<i>Busarellus nigricollis</i>	5	1			1											2			1		1						1								1	5			1	2				21		
<i>Buteogallus anthracinus</i>	37	18		8	20	2	7		5	4		10			7	4		13	15	44				1	2		2	1	2			2	3	3	13	2	6	24	1				256			
<i>Buteogallus subtilis</i>	1																1									2										1								5		
<i>Buteogallus urubitinga</i>	12	3		3	8	1	1		1	6		2				3			17	13	15									3					3	5			1	16	4			117		
<i>Coturnicops noveboracensis goldmani</i>	3			5					1	1												1																						11		
<i>Laterallus ruber</i>	13	4		23	3	1		11	15		4				3			3	6	2					1		1		7		1				3	2				4	1			108		
<i>Laterallus jamaicensis</i>	5																		2										1															8		
<i>Rallus elegans</i>	1			32	1	3		10	3		11										4						1										3	2	4					75		
<i>Rallus limicola</i>	5	5		40	1		1	4	2						1	1		1	17	10					1	1	5										2	3	1				101			
<i>Aramides cajanea</i>	12	4		18	8	3		2	1		15				4			11	9	18					1		2						1		3	14		1	16	3				147		
<i>Amaurolimnas concolor</i>	12	4		5								4	3								10								1			3				1			1	2				46		
<i>Porzana carolina</i>	19	6		9	2	2		2	6		6	17			2	2		7	44	22			1	3	5			3					3		1	15			7	5				189		
<i>Porzana flaviventer</i>	11			15				4	3																																			34		
<i>Pardirallus maculatus</i>	14	1		4		1		3	4										7							1										1	1							37		
<i>Porphyrio martinica</i>	7			16			1	6	4		1				2			3		18							1									2			4	2				72		
<i>Gallinula chloropus</i>	20			29	9	3			4								1		2	9	10					6			1	1					12		2	6	8	1	2				127	
<i>Fulica americana</i>	104	5	1	5	14	3	4		1	4		5	41		3		1	4	6	10				1	6									3		6	19	3	5	1				255		
<i>Heliornis fulica</i>	4			10	4								2			6			1	2	3								4		1				2	3								46		
<i>Eurypyga helias</i>	0																							1																					1	
<i>Aramus guarauna</i>	20			9	1	2		2								7				3	4						1	1							1	7					5	1			64	
<i>Grus canadensis</i>	14																																												14	
<i>Grus americana</i>	1																																												1	
<i>Pluvialis dominica</i>	11			2				3								1	1		2	3	2																							35		
<i>Pluvialis fulva</i>	0					1																																							1	
<i>Charadrius alexandrinus</i>	8	4		13		4	2	2			7		13			5	12		10	13									6				9	8					1	25	3	9			154	
<i>Charadrius hiaticula</i>	1																																													3
<i>Charadrius semipalmatus</i>	90	3		8	3	7		1		3	1	4	16				2		1	4	6					3			3			3	3					2	11						175	
<i>Charadrius vociferus</i>	98	8	1	3	32	2	5		3	7		5	30		6	2		9	18	37	1		2		5	1	1						6		18	22	30	5						357		
<i>Himantopus mexicanus</i>	133	4	3	12	10	3			5	3		25	8	1	2	11	2							1	3	2							11	5	7	23	38	8	5					326		
<i>Recurvirostra americana</i>	91	2	1	5	1	5	1					5	8		2	1			5	9	16					2							2	1					5	31					193	
<i>Jacana spinosa</i>	15	29	7	14	43	18	5		6	17		47			8		1	14	20	109				1	10		5	2	1		3	1		4	38	10	43	13	1					485		
<i>Tringa melanoleuca</i>	65	12			6	3			4		8	50			1	5			3	12	9					1	1		1	1	4	1	3	1	2	5	18	3	2					221		
<i>Tringa flavipes</i>	66	1	1	2	15	11	1	1		2									3	8	5						1	1						2	2		8	4	8	6	6				154	
<i>Tringa solitaria</i>	13	2	1	16	9	1	1	2	3		4		3				2		7	6	10			2		1	1						3	1	6	8	13	3						118		
<i>Actitis macularia</i>	111	9	1	29	34		3	1	2	11		7	23		7	8	3	13	15	21				7	13		1	2	1	4	3	9	4	1	9	71	19	15	1					458		
<i>Bartramia longicauda</i>	6	6	1	1	9				2										3	1								1																38		
<i>Numenius americanus</i>	133	2	3	4	7	13	2		1	2		3			6	2	1	5	10	9									1		5	4	1		1	1	12	3	1						232	
<i>Numenius phaeopus</i>	32	2		3	3	1	2	1				4					2		1	10	1					1		1			1	7	1	1					10	1				85		
<i>Calidris mauri</i>	60	7		15	11	13	1	2		10		5	47		10	20		7	8	5					16			17			7		3				12	43	1	3				323		
<i>Calidris minutilla</i>	121	7		50	24	11	5	2	1	18		8	74		7	4		6	4	28				1	32			5		1	11	8		7	148	51	12	7					653			
<i>Calidris bairdii</i>	4		1	4	7		3	4		2		1							3	13						2										3	2	2						52		
<i>Calidris melanotos</i>	3	1	1	6	12																																									

ESPECIE	ND	AMNH	ANSP	BELL	BMKU	CARN	CAS	CMN	CORNE	DENV	DMNH	FHSC	FMNH	IEA-U	IOWA	KU	LACM	LEID	LSUMZ	MCZ	MLZ	MMSU	MNHMN	MNHNP	MVZ	MZFC	NEBR	ROM	SDNHM	SWC	TCWC	UAZ	UBCMZ	UCLA	UFMNH	UMMZ	UMSNH	USNM	WFVZ	YPMNH	TOTAL	
<i>Gallinago delicata</i>	26		1	2	5	6	1				10	5				1		3	11	12			2	8			2	1			4	6	8	18	4	2	138					
<i>Phalaropus tricolor</i>	20		4	15				3			2					3	3		1						2	2					2	2	1	3					61			
<i>Larus atricilla</i>	185	1		18	12				1		2	2	95		1	6		18	1	18			2	2			15			10	4		10	15	10	7			435			
<i>Larus pipixcan</i>	23			2	2		2	1	1		1							5	1	1					4		1	7					4		1	3			59			
<i>Larus philadelphia</i>	4	6	1							1			1			6	1	2	8	2					6						1		2				1		44			
<i>Larus delawarensis</i>	100				2	1					2			40				1	2	8	2			1				1		3	1			6	13			183				
<i>Larus argentatus</i>	51											1	13																		2					2			71			
<i>Hydroprogne caspia</i>	124			1		1	1				1			4		1	2		2		1					1				2						3			145			
<i>Sterna forsteri</i>	87		1		1	2					3	1	8			2	2	3	13	4								2			11		1				10	2		153		
<i>Chlidonias niger</i>	23	1		2		2	1		1		3	2	8					7	3	6					4			9						3	14		2	4		95		
<i>Megaceryle torquatus</i>	61	14	3	12	49			1	6				10					15	10	16					3	11		1		2	1		2		1	14		18	14	2	270	
<i>Megaceryle alcyon</i>	63	7	2	2	37	1	4					4			3	4		10	18	16				4	8	6		1	1	1	4	1		1	6	17	4	3		228		
<i>Chloroceryle amazona</i>	36	10	3	3	18	2			1			3			2	1	1	17	5	19				1		1			1	2			1	12	1	13	12			165		
<i>Chloroceryle americana</i>	104	49	7	11	102	26	8	14	17		1		43		36	7	4	58	76	127	2		11	13	57	1	5	4	17	12	7	2	10	3	40	11	41	35	10	971		
<i>Chloroceryle aenea</i>	16	10		22	6	3	1		7			8			8			21	5	24				7		13	1	2		3			1	5		12	6	3		184		
<i>Sayornis aquatica</i>	0	1	1							2	2	2				1		3	1																			3	9		23	
<i>Sayornis nigricans</i>	30	16	6	2	46	13	10	6	4		113	1	7			22	1	27	33	158	5		2	114	16		4	32	1	3	3		33	2	17	9	2	15	1	754		
<i>Tachycineta bicolor</i>	2		1	4	7	1					2					3		9	6						8	1			4	1	5		2	18	3		5	1		83		
<i>Cistothorus elegans</i>	3	16		36	4	4		1	11		26	1			8	1		16	1	1																		3		138		
<i>Cistothorus platensis</i>	0								11																															17		
<i>Cistothorus palustris</i>	11	6	4	72	1	2	2	10	6		32	4						27	13							20			6	3			1		6		3	2		231		
<i>Cistothorus stellaris</i>	0	1									1																													2		
<i>Cinclus mexicanus</i>	0	4	1	6	11		2	1			9		4			4		2	16		1			2	11				4		1			1	5	5		9		99		
<i>Anthus cervinus</i>	1																																								1	
<i>Anthus rubescens</i>	5	8		12	27	8	2	8	1		16	7			7	1		31	19							1			4	1			3	11		1	2		4		179	
<i>Seiurus noveboracensis</i>	48	4		91		2	2		5		35	14	9				4	13	10	1				5	19		2		3		4	5	1		7	14		6	5	309		
<i>Seiurus motacilla</i>	21	1	1	31	18	1	2	3	4		24	14				6	3	23	5					2	40			1	2	3	1	1		5	11		7			230		
<i>Geothlypis trichas</i>	51	72	8	80	73	17	10	9	59		111	40	16		14	12		107	53	3			8	75		2	28	4	1	7	1	34	1	20	59		20	14		1009		
<i>Geothlypis modesta</i>	0	3			2												2		1	2																					12	
<i>Geothlypis chapalensis</i>	0	34						12										1																							49	
<i>Geothlypis melanops</i>	0	16		1	14											1																							10		42	
<i>Geothlypis beldingi</i>	1	58	14		9	10	15						45				7		34						29		1	27					20		7		2	2		281		
<i>Geothlypis flavovelata</i>	1	3	3	3		1		1			12	2						17								4												1		49		
<i>Geothlypis speciosa</i>	15	43	4	26		8	2		16		31	1			2	1		3	90	1				39							3		2				4		291			
<i>Melospiza mexicana</i>	1	50	5	389	22	42		46			11				26	1		3	6	64					52		4				6				8				1	737		
<i>Melospiza rivularis</i>	0	43	5	9		46		9		7	29	34			2	25		4	127	1					9		1	107	2			1	31					3		495		
<i>Melospiza goldmani</i>	8			8							4									9																					29	
<i>Melospiza melodia</i>	0						38		17																													17		72		
<i>Melospiza georgiana</i>	5	5		3				1			24																														52	
<i>Agelaius gubernator</i>	0	211	1	103	26	6		6			19	14			1	2		19	56	220					34		1				2			6			3	3	13		746	
<i>Agelaius phoeniceus</i>	86	133	10	103	33	27	15	31	71		38	32	15		16	8		59	62	55						3	7	57			1		24	3	56			5	19		969	
<i>Agelaius tricolor</i>						1																																				2
Total general	5437	1125	122	1956	1056	511	243	186	511	13	823	1	607	1018	16	362	313	31	882	1202	1775	9	1	89	149	759	3	98	552	75	33	131	136	322	56	581	745	736	570	177	23412	

ACRÓNIMOS de los museos. **AMNH**: American Museum of Natural History; **ANSP**: Academy of Natural Sciences of Philadelphia; **BELL**: Bell Museum of Natural History, University of Minnesota; **BMKU**: British Museum of Natural History; **CARN**: Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh; **CAS**: California Academy of Sciences; **CMN**: Canadian Museum of Natural History; **CORNE**: Cornell University Museum or Vertebrates; **DENV**: Denver Museum of Natural History; **DMNH**: Delaware Museum of Natural History; **FHSC**: Fort Hays State College; **FMNH**: Field Museum of Natural History; **IEA-U**: Instituto de Ecología y Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas; **IOWA**: Iowa State University; **KU**: University of Kansas Natural History Museum; **LACM**: Los Angeles County Museum of Natural History; **LEID**: Natuurhistorische Museum; **LSUMZ**: Louisiana State University Museum of Zoology; **MCZ**: Museum of Comparative Zoology, Harvard University; **MLZ**: Moore Laboratory of Zoology, Occidental College, California; **MMSU**: Museum Michigan State University; **MNHMN**: Museo Nacional de Historia Natural; **MNHNP**: Museum Nationale d'histoire Naturelle, Paris; **MVZ**: Museum of Vertebrate Zoology, Berkeley; **MZFC**: Museo de Zoología; Facultad de Ciencias, UNAM, Mexico; **NEBR**: University of Nebraska; **ROM**: Royal Ontario Museum, Toronto; **SDNHM**: San Diego Natural History Museum; **SWC**: Southwestern College, Winfield, Kansas; **TCWC**: Texas Cooperative Wildlife Collections; **UAZ**: University of Arizona; **UBCMZ**: University of British Columbia Museum of Zoology, Vancouver; **UCLA**: University of California Los Angeles; **UFMNH**: Florida Museum of Natural History; **UMMZ**: University of Michigan, Museum of Zoology; **UMSNH**: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia; **USNM**: United States National Museum of Natural History, Washington; **WFVZ**: Western Foundation of Vertebrate Zoology, Camarillo, California; **YPMNH**: Peabody Museum, Yale University.

Apéndice 3.1. Características de las especies incluidas en el estudio. Dist. – Distribución: R- residente, M- migratoria; Registros únicos (combinación de especie/localidad). Resumen de los registros con distribución fuera del área reconocida en la literatura, se indica la distancia mínima y máxima de esos ejemplares al área más cercana de la distribución reconocida (Ridgely *et al.* 2003) y el número de registros recientes (colecta posterior a 1960).

TAXA	Dist.	Datos	Georef.	Registros únicos	Fuera de área	Ejemplares	Distancia mínima (km)	Distancia máxima (km)	Ejemplares anteriores a 1960	Ejemplares posteriores a 1960	Modelo GARP
1 <i>Dendrocygna autumnalis</i>	R, M	200	181	67	5	11	27.15	111.88	5	10	*
2 <i>Dendrocygna bicolor</i>	R	35	23	10	4	8	5.86	137.93			*
3 <i>Anser albifrons</i>	M	55	48	11	3	9	20.94	95.65			*
4 <i>Chen caerulescens</i>	M	48	38	7	1	2	360.81	360.81			*
5 <i>Chen hyperborea</i>	M	2	1	a1							
6 <i>Branta canadensis</i>	M	12	4	1							
7 <i>Branta hutchinsii</i>	M	2	1	a1							
8 <i>Branta leucopareia</i>	M	2	2	2	1	1	315.02	315.02			
9 <i>Branta minima</i>	M	1	1	a1							
10 <i>Cygnus buccinator</i>	M	1	1	a1	1	1	32.07	32.07			
11 <i>Cygnus columbianus</i>	M	4	4	3	3	3	19.78	836.55	1	1	
12 <i>Cairina moschata</i>	R	73	62	34	6	11	3.91	130.06	1	4	*
13 <i>Aix sponsa</i>	M	4	4	3							
14 <i>Anas strepera</i>	M	69	55	31							*
15 <i>Anas americana</i>	M	118	100	29	1	1	221.1	221.1			*
16 <i>Anas platyrhynchos</i>	M	72	35	17	2	2	1.01	50.19			*
17 <i>Anas platyrhynchos diazi</i>	R	113	71	34	1	1	19.57	19.57	1	1	*
18 <i>Anas discors</i>	M	247	226	71							*
19 <i>Anas cyanoptera</i>	R, M	101	83	38	1	1	145.5	145.5	1	1	*
20 <i>Anas clypeata</i>	R	162	134	44							*
21 <i>Anas acuta</i>	M	215	187	31							*
22 <i>Anas crecca</i>	M	141	105	51	1	1	206.62	206.62			*
23 <i>Aythya valisineria</i>	M	40	33	16	1	1	20.58	20.58			*
24 <i>Aythya americana</i>	R, M	232	210	25							*
25 <i>Aythya collaris</i>	M	22	18	12	1	1	23.35	23.35	1	1	*
26 <i>Aythya marila</i>	M	3	3	a2	1	2	744.56	746.17			
27 <i>Aythya affinis</i>	M	119	107	37							*

TAXA	Dist.	Datos	Georef.	Registros únicos	Fuera de área	Ejemplares	Distancia mínima (km)	Distancia máxima (km)	Ejemplares anteriores a 1960	Ejemplares posteriores a 1960	Modelo GARP
28 <i>Bucephala albeola</i>	M	54	49	16							*
29 <i>Bucephala clangula</i>	M	13	9	5	4	7	51.59	277.7			*
30 <i>Lophodytes cucullatus</i>	M	10	9	5	5	5	105.65	941.36	1	3	*
31 <i>Mergus merganser</i>	M	4	4	3	1	1	261.85	261.85			
32 <i>Nomonyx dominicus</i>	R	8	5	4							
33 <i>Oxyura jamaicensis</i>	R, M	143	111	48	1	1	46.51	46.51			*
34 <i>Tachybaptus dominicus</i>	R	333	293	121	10	13	26.36	166.18	4	4	*
35 <i>Podilymbus podiceps</i>	R, M	269	238	103							*
36 <i>Podiceps nigricollis</i>	M	129	109	46							*
37 <i>Aechmophorus occidentalis</i>	R	72	62	25	9	14	3.51	623.56	7	11	*
38 <i>Aechmophorus clarkii</i>	R	6	6	6							
39 <i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	M	167	144	27	4	4	4.97	27.6			*
40 <i>Phalacrocorax brasilianus</i>	R	237	219	94	9	10	5.44	56.84	3	3	*
41 <i>Anhinga anhinga</i>	R	93	83	48	7	13	12.41	358.84	1	3	*
42 <i>Botaurus pinnatus</i>	R	14	14	8	1	1	238.18	238.18	1	1	*
43 <i>Botaurus lentiginosus</i>	R, M	79	64	30	1	1	88.24	88.24	1	1	*
44 <i>Ixobrychus exilis</i>	R, M	184	161	64							*
45 <i>Tigrisoma mexicanum</i>	R	147	126	83	13	18	7.45	106.17	4	5	*
46 <i>Ardea occidentalis</i>	R	4	4	a3							
47 <i>Ardea herodias</i>	R, M	387	312	105							*
48 <i>Ardea alba</i>	R, M	323	276	91							*
49 <i>Egretta thula</i>	R, M	455	413	106							*
50 <i>Egretta caerulea</i>	R, M	298	268	98	1	3	7.79	7.79	1	3	*
51 <i>Egretta tricolor</i>	R, M	361	320	83	3	6	1.71	46.81			*
52 <i>Butorides virescens</i>	R, M	631	540	211							*
53 <i>Agamia agami</i>	R	44	38	17	4	8	3.33	196.08	2	6	*
54 <i>Nycticorax nycticorax</i>	R, M	194	147	53							*
55 <i>Cochlearius cochlearius zeledoni</i>	R	201	173	81	4	12	8.06	180.5	1	9	*
56 <i>Plegadis chihi</i>	R, M	194	149	39	1	1	154.57	154.57			*
57 <i>Platalea ajaja</i>	R, M	252	214	45	5	5	2.49	159.1			*
58 <i>Jabiru mycteria</i>	R	5	5	5	4	4	82.88	331	2	2	*
59 <i>Mycteria americana</i>	R, M	111	103	43	8	12	57.32	462.75	1	2	*

TAXA	Dist.	Datos	Georef.	Registros únicos	Fuera de área	Ejemplares	Distancia mínima (km)	Distancia máxima (km)	Ejemplares anteriores a 1960	Ejemplares posteriores a 1960	Modelo GARP
60 <i>Pandion haliaetus</i>	M	295	268	72							*
61 <i>Rostrhamus sociabilis</i>	R	58	50	34	1	1	40.43	40.43	1	1	*
62 <i>Haliaeetus leucocephalus</i>	M	8	4	3	1	1	287.89	287.89			*
63 <i>Busarellus nigricollis</i>	R	27	21	19	5	5	11.38	33.15	1	1	*
64 <i>Buteogallus anthracinus</i>	R, M	308	256	154	23	30	1.34	199.91	2	2	*
65 <i>Buteogallus subtilis</i>	R	6	5	4	1	1	12.07	12.07			
66 <i>Buteogallus urubitinga</i>	R	141	117	88	8	9	3.65	60.51	2	2	*
67 <i>Coturnicops noveboracensis</i> <i>goldmani</i>	R	17	11	7	7	11	34.95	44.09	3	10	*
68 <i>Laterallus ruber</i>	R	122	108	43	6	17	9.59	88.67	1	9	*
69 <i>Laterallus jamaicensis</i>	R, M	9	8	5	1	3			1	3	*
70 <i>Rallus elegans</i>	R	104	75	34	8	25	1.87	635.88	3	10	*
71 <i>Rallus limicola</i>	R, M	113	101	36	8	19	9.33	623.56	5	12	*
72 <i>Aramides cajanea</i>	R	175	147	76	12	41	0.19	480.34	6	28	*
73 <i>Amaurolimnas concolor</i>	R	49	46	16	5	30	4.28	133.04	3	6	*
74 <i>Porzana carolina</i>	M	219	189	77							*
75 <i>Porzana flaviventer</i>	R	36	34	13	3	3	87.88	345.05	1	2	*
76 <i>Pardirallus maculatus</i>	R	37	37	14	8	28	2.61	25.17	5	20	*
77 <i>Porphyrio martinica</i>	R	80	72	36	13	34	3.96	582.36	2	7	*
78 <i>Gallinula chloropus</i>	R, M	156	127	53							*
79 <i>Fulica americana</i>	R, M	289	255	89							*
80 <i>Heliornis fulica</i>	R	50	46	27	3	5	14.93	147.72	3	5	*
81 <i>Eurypyga helias</i>	R	1	1	a1	1	1	95.05	95.05			
82 <i>Aramus guarana</i>	R	74	64	37	6	8	2.11	325.38	3	7	*
83 <i>Grus canadensis</i>	M	19	14	4	2	3	124.16	200.6	2	3	
84 <i>Grus americana</i>	M	1	1	1	1	1	372.83	372.83			
85 <i>Pluvialis fulva</i>	M	1	1	a1							
86 <i>Pluvialis dominica</i>	M	35	35	18							*
87 <i>Charadrius alexandrinus</i>	R, M	162	154	50							*
88 <i>Charadrius hiaticula</i>	M	3	3	3	3	3	5643.38	5876.36			
89 <i>Charadrius semipalmatus</i>	M	203	175	49	4	6	5.17	173.43			*
90 <i>Charadrius vociferus</i>	R, M	405	357	158							*
91 <i>Himantopus mexicanus</i>	R, M	349	326	99							*

TAXA	Dist.	Datos	Georef.	Registros únicos	Fuera de área	Ejemplares	Distancia mínima (km)	Distancia máxima (km)	Ejemplares anteriores a 1960	Ejemplares posteriores a 1960	Modelo GARP
92 <i>Recurvirostra americana</i>	R, M	225	193	49	2	3	7.11	46.83			*
93 <i>Jacana spinosa</i>	R	524	485	151	15	53	1.11	224.48	5	7	*
94 <i>Tringa melanoleuca</i>	M	228	221	71							*
95 <i>Tringa flavipes</i>	M	172	154	54							*
96 <i>Tringa solitaria</i>	M	132	118	80							*
97 <i>Actitis macularius</i>	M	480	458	197							*
98 <i>Bartramia longicauda</i>	M	43	38	21	2	5	63.57	295.6	1	2	*
99 <i>Numenius americanus</i>	M	269	232	63	2	2	181.46	188.67			*
100 <i>Numenius phaeopus</i>	M	90	85	41	5	5	7.53	352.31	1	1	*
101 <i>Calidris mauri</i>	M	338	323	75							*
102 <i>Calidris minutilla</i>	M	697	653	141							*
103 <i>Calidris bairdii</i>	M	59	52	34							*
104 <i>Calidris melanotos</i>	M	59	58	42							*
105 <i>Calidris himantopus</i>	M	59	59	27	2	5	0.79	142.55	1	1	*
106 <i>Limnodromus griseus</i>	M	117	113	35	8	16	3.62	326.67	1	1	*
107 <i>Limnodromus scolopaceus</i>	M	196	188	59							*
108 <i>Gallinago delicata</i>	M	156	138	88							*
109 <i>Phalaropus tricolor</i>	M	80	61	25							*
110 <i>Larus atricilla</i>	R, M	495	435	89	14	29	10.48	163.94	1	1	*
111 <i>Larus pipixcan</i>	M	66	59	35	5	7	24.2	575.28	2	4	*
112 <i>Larus philadelphia</i>	M	50	44	28	13	14	7.16	650.32	3	3	*
113 <i>Larus delawarensis</i>	M	204	183	40	2	3	8.09	46.56	1	2	*
114 <i>Larus argentatus</i>	M	81	71	13							*
115 <i>Hydroprogne caspia</i>	M	182	145	28	4	4	2.01	47.27	2	2	*
116 <i>Sterna forsteri</i>	M	184	153	32							*
117 <i>Chlidonias niger</i>	M	114	95	35	4	11	82.96	153.61			*
118 <i>Megaceryle torquatus</i>	R	280	270	128	14	22	1.63	91.28			*
119 <i>Megaceryle alcyon</i>	M	247	228	123							*
120 <i>Chloroceryle amazona</i>	R	173	165	98	10	21	7.35	73.9	3	9	*
121 <i>Chloroceryle americana</i>	R	1076	971	406	13	26	0.61	189.9	2	2	*
122 <i>Chloroceryle aenea</i>	R	189	184	94	11	16	4.22	389.08	1	1	*
123 <i>Sayornis aquatica</i>	R	24	23	12							*

TAXA	Dist.	Datos	Georef.	Registros únicos	Fuera de área	Ejemplares	Distancia mínima (km)	Distancia máxima (km)	Ejemplares anteriores a 1960	Ejemplares posteriores a 1960	Modelo GARP
124 <i>Sayornis nigricans</i>	R	810	754	342	9	9	5.33	106.02	2	2	*
125 <i>Tachycineta bicolor</i>	M	87	83	47							*
126 <i>Cistothorus platensis</i>	M	18	17	15	24	61	1.82	159.39	5	43	*
127 <i>Cistothorus stellaris</i>	R	3	2	a2							
128 <i>Cistothorus elegans</i>	R	147	138	61							
129 <i>Cistothorus palustris</i>	R, M	240	231	85							*
130 <i>Cinclus mexicanus</i>	R	111	99	42	13	35	3.2	69.2	3	8	*
131 <i>Anthus cervinus</i>	M	1	1	a1							
132 <i>Anthus rubescens</i>	M	195	179	92							*
133 <i>Seiurus noveboracensis</i>	M	324	309	114							*
134 <i>Seiurus motacilla</i>	M	242	230	127	32	44	2.48	320.64	9	20	*
135 <i>Geothlypis trichas</i>	R, M	1045	1009	353							*
136 <i>Geothlypis modesta</i>	R	13	12	a9							
137 <i>Geothlypis chapalensis</i>	R	49	49	a13							
138 <i>Geothlypis melanops</i>	R	52	42	a15							
139 <i>Geothlypis beldingi</i>	R	287	281	20	2	30	7.69	34.05			*
140 <i>Geothlypis flavovelata</i>	R	49	49	20	1	1	15.37	15.37			*
141 <i>Geothlypis speciosa</i>	R	295	291	45	8	140	1.35	56.74	6	22	*
142 <i>Melospiza mexicana</i>	R	817	737	150	33	193	0.16	365.17	4	18	
143 <i>Melospiza rivularis</i>	R	537	495	62							
144 <i>Melospiza goldmani</i>	R	30	29	a12							
145 <i>Melospiza melodia</i>	M	74	72	16							*
146 <i>Melospiza georgiana</i>	M	52	52	23	4	5	122.44	320.23			*
147 <i>Agelaius gubernator</i>	R	865	746	122	1	19	51.01	51.01			
148 <i>Agelaius phoeniceus</i>	R, M	1162	969	236	20	59	0.97	112.68	4	22	*
149 <i>Agelaius tricolor</i>	R	2	2	2	1	1	17.33	17.33			
Total		25863	23046	8057	488	1249			129	349	117

Apéndice 3.2. Resumen de los resultados por especie al comparar los modelos GARP contra listados conocidos en 49 localidades. X² = valor de chi cuadrada (G.L. = 1, p = 0.05); p probabilidad, el asterisco y los números en negritas indican similitud significativa. Notas: D= Comisión probablemente debida a una distribución mayor, apoyada por registros, L= Especies con 30 registros únicos o menos, S= Especies discretas o de baja abundancia.

TAXA	Número de sitios		% Exactitud	% Omisión	% Comisión	χ ²	p	Notas
	Presencia compartida	Ausencia compartida						
1 <i>Dendrocygna autumnalis</i>	24	13	75.5102	16.3265	8.1633	0.69	0.4069 *	D
2 <i>Dendrocygna bicolor</i>	14	13	55.1020	14.2857	30.6122	2.61	0.106 *	L
3 <i>Anser albifrons</i>	11	16	55.1020	10.2041	34.6939	5.94	0.0148	L
4 <i>Chen caerulescens</i>	8	16	48.9796	10.2041	40.8163	9.44	0.0021	L
5 <i>Cairina moschata</i>	17	14	63.2653	10.2041	26.5306	2.62	0.1054 *	D
6 <i>Anas strepera</i>	16	10	53.0612	6.1224	40.8163	11.98	0.0005	S
7 <i>Anas americana</i>	31	2	67.3469	4.0816	28.5714	9.05	0.0026	L
8 <i>Anas platyrhynchos</i>	21	5	53.0612	8.1633	38.7755	10.28	0.0013	L
9 <i>Anas platyrhynchos diazi</i>	9	23	65.3061	18.3673	16.3265	0.04	0.833 *	D
10 <i>Anas discors</i>	26	6	65.3061	26.5306	8.1633	3.97	0.0464	
11 <i>Anas cyanoptera</i>	24	6	61.2245	16.3265	22.4490	0.42	0.5146 *	D
12 <i>Anas clypeata</i>	30	0	61.2245	16.3265	22.4490	0.59	0.4434 *	
13 <i>Anas acuta</i>	32	0	65.3061	6.1224	28.5714	8.61	0.0033	
14 <i>Anas crecca</i>	21	9	61.2245	12.2449	26.5306	2.13	0.1447 *	S
15 <i>Aythya valisineria</i>	14	7	42.8571	10.2041	46.9388	13.5	0.0002	L, S
16 <i>Aythya americana</i>	14	9	46.9388	10.2041	42.8571	10.56	0.0013	L, S
17 <i>Aythya collaris</i>	17	14	63.2653	16.3265	20.4082	0.16	0.6856 *	L, S
18 <i>Aythya affinis</i>	23	6	59.1837	8.1633	32.6531	6.68	0.0097	S
19 <i>Bucephala albeola</i>	12	12	48.9796	4.0816	46.9388	18	0	L, S
20 <i>Bucephala clangula</i>	1	22	46.9388	2.0408	51.0204	28.8	0	L, S
21 <i>Lophodytes cucullatus</i>	0	32	65.3061	2.0408	32.6531	16.01	0.0001	L, S
22 <i>Oxyura jamaicensis</i>	14	10	48.9796	22.4490	28.5714	0.37	0.5431 *	S
23 <i>Tachybaptus dominicus</i>	21	11	65.3061	14.2857	20.4082	0.38	0.5358 *	D
24 <i>Podilymbus podiceps</i>	23	6	59.1837	28.5714	12.2449	2.97	0.0848 *	
25 <i>Podiceps nigricollis</i>	19	3	44.8980	10.2041	44.8980	13.2	0.0003	S
26 <i>Aechmophorus occidentalis</i>	7	22	59.1837	8.1633	32.6531	6.49	0.0109	D, L, S
27 <i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	23	8	63.2653	20.4082	16.3265	0.18	0.6712 *	L
28 <i>Phalacrocorax brasilianus</i>	27	7	69.3878	16.3265	14.2857	0.05	0.8249 *	D
29 <i>Anhinga anhinga</i>	16	13	59.1837	18.3673	22.4490	0.16	0.6856 *	D, S
30 <i>Botaurus pinnatus</i>	2	35	75.5102	14.2857	10.2041	0.3	0.5847 *	D, L, S
31 <i>Botaurus lentiginosus</i>	11	16	55.1020	18.3673	26.5306	0.66	0.4166 *	D, S
32 <i>Ixobrychus exilis</i>	18	6	48.9796	6.1224	44.8980	15.67	0.0001	S
33 <i>Tigrisoma mexicanum</i>	19	13	65.3061	12.2449	22.4490	1.04	0.3088 *	D, S
34 <i>Ardea herodias</i>	40	2	85.7143	6.1224	8.1633	0.1	0.749 *	
35 <i>Ardea alba</i>	35	1	73.4694	18.3673	8.1633	1.97	0.1607 *	
36 <i>Egretta thula</i>	36	1	75.5102	12.2449	12.2449	0	1 *	
37 <i>Egretta caerulea</i>	30	3	67.3469	12.2449	20.4082	0.94	0.3329 *	D
38 <i>Egretta tricolor</i>	31	2	67.3469	4.0816	28.5714	9.05	0.0026	
39 <i>Butorides virescens</i>	39	0	79.5918	2.0408	18.3673	7.13	0.0076	
40 <i>Agamia agami</i>	3	32	71.4286	8.1633	20.4082	2.26	0.1326 *	D, L, S
41 <i>Nycticorax nycticorax</i> <i>Cochlearius cochlearius</i>	35	2	75.5102	4.0816	20.4082	4.78	0.088	S
42 <i>zeledoni</i>	18	14	65.3061	8.1633	26.5306	3.33	0.0681 *	S
43 <i>Plegadis chihi</i>	15	14	59.1837	24.4898	16.3265	0.65	0.4189 *	
44 <i>Platalea ajaja</i>	14	16	61.2245	12.2449	26.5306	2	0.157 *	
45 <i>Jabiru mycteria</i>	10	25	71.4286	4.0816	24.4898	4.5	0.0338	D, L
46 <i>Mycteria americana</i>	25	12	75.5102	6.1224	18.3673	1.58	0.2087 *	D
47 <i>Pandion haliaetus</i>	25	7	65.3061	24.4898	10.2041	2.31	0.1284 *	
48 <i>Rostrhamus sociabilis</i>	10	18	57.1429	8.1633	34.6939	7.09	0.0078	D, S
49 <i>Busarellus nigricollis</i>	3	29	65.3061	8.1633	26.5306	4.6	0.0319	L, S
50 <i>Buteogallus anthracinus</i>	18	11	59.1837	14.2857	26.5306	1.5	0.2207 *	D

Número de sitios

TAXA	Presencia compartida	Ausencia compartida	% Exactitud	% Omisión	% Comisión	χ^2	p	Notas
51 <i>Buteogallus urubitinga</i> <i>Coturnicops noveboracensis</i>	13	21	69.3878	10.2041	20.4082	1.05	0.3059 *	D
52 <i>goldmani</i>	1	43	89.7959	6.1224	4.0816	0.15	0.6949 *	D, L
53 <i>Laterallus ruber</i>	8	25	67.3469	16.3265	16.3265	0	1 *	D, S
54 <i>Laterallus jamaicensis</i>	1	25	53.0612	4.0816	42.8571	19.39	0	D, L, S
55 <i>Rallus elegans</i>	4	25	59.1837	14.2857	26.5306	1.8	0.1797 *	D, S
56 <i>Rallus limicola</i>	5	21	53.0612	12.2449	34.6939	5.53	0.0187	D, S
57 <i>Aramides cajanea</i>	10	20	61.2245	8.1633	30.6122	5.15	0.0232	D, S
58 <i>Amaurolimnas concolor</i>	2	26	57.1429	2.0408	40.8163	19.39	0	D, L, S
59 <i>Porzana carolina</i>	21	6	55.1020	2.0408	42.8571	18.01	0	S
60 <i>Porzana flaviventer</i>	3	35	77.5510	2.0408	20.4082	5.76	0.0164	D, L, S
61 <i>Pardirallus maculatus</i>	7	31	77.5510	2.0408	20.4082	4.35	0.037	D, L, S
62 <i>Porphyrio martinica</i>	11	15	53.0612	16.3265	30.6122	2.01	0.1559 *	D, S
63 <i>Gallinula chloropus</i>	22	12	69.3878	18.3673	12.2449	0.38	0.5358 *	
64 <i>Fulica americana</i>	36	3	79.5918	10.2041	10.2041	0	1 *	
65 <i>Heliornis fulica</i>	5	30	71.4286	12.2449	16.3265	0.22	0.6385 *	D, L, S
66 <i>Aramus guarauna</i>	15	17	65.3061	10.2041	24.4898	2	0.157 *	D
67 <i>Pluvialis dominica</i>	14	14	57.1429	8.1633	34.6939	6.9	0.0086	L, S
68 <i>Charadrius alexandrinus</i>	13	15	57.1429	10.2041	32.6531	4.95	0.0261	
69 <i>Charadrius semipalmatus</i>	15	17	65.3061	14.2857	20.4082	0.37	0.5441 *	
70 <i>Charadrius vociferus</i>	36	0	73.4694	6.1224	20.4082	4.35	0.0371	
71 <i>Himantopus mexicanus</i>	36	1	75.5102	2.0408	22.4490	8.33	0.0039	
72 <i>Recurvirostra americana</i>	26	5	63.2653	2.0408	34.6939	12.8	0.0003	
73 <i>Jacana spinosa</i>	20	11	63.2653	20.4082	16.3265	0.17	0.681 *	D
74 <i>Tringa melanoleuca</i>	29	7	73.4694	0.0000	26.5306	8.64	0.0033	S
75 <i>Tringa flavipes</i>	27	4	63.2653	8.1633	28.5714	5.24	0.0221	S
76 <i>Tringa solitaria</i>	20	9	59.1837	2.0408	38.7755	13.93	0.0002	S
77 <i>Actitis macularius</i>	37	5	85.7143	2.0408	12.2449	1.78	0.1823 *	
78 <i>Bartramia longicauda</i>	3	24	55.1020	16.3265	28.5714	1.8	0.1797 *	D, L, S
79 <i>Numenius americanus</i>	20	2	44.8980	8.1633	46.9388	17.03	0	S
80 <i>Numenius phaeopus</i>	14	13	55.1020	6.1224	38.7755	10.45	0.0012	D, S
81 <i>Calidris mauri</i>	25	0	51.0204	0.0000	48.9796	31.78	0	S
82 <i>Calidris minutilla</i>	31	0	63.2653	0.0000	36.7347	22.05	0	S
83 <i>Calidris bairdii</i>	12	7	38.7755	2.0408	59.1837	32.34	0	S
84 <i>Calidris melanotos</i>	10	6	32.6531	18.3673	48.9796	9.25	0.0024	S
85 <i>Calidris himantopus</i>	12	6	36.7347	2.0408	61.2245	34.85	0	D, L, S
86 <i>Limnodromus griseus</i>	13	5	36.7347	0.0000	63.2653	40.3	0	D, S
87 <i>Limnodromus scolopaceus</i>	21	6	55.1020	0.0000	44.8980	21.8	0	S
88 <i>Gallinago delicata</i>	31	6	75.5102	2.0408	22.4490	5.52	0.0188	
89 <i>Phalaropus tricolor</i>	16	2	36.7347	6.1224	57.1429	27.78	0	L, S
90 <i>Larus atricilla</i>	26	4	61.2245	12.2449	26.5306	2.5	0.1135 *	D, S
91 <i>Larus pipixcan</i>	10	12	44.8980	10.2041	44.8980	11.82	0.0006	D, S
92 <i>Larus philadelphia</i>	6	21	55.1020	2.0408	42.8571	18.01	0	D, L, S
93 <i>Larus delawarensis</i>	13	15	57.1429	8.1633	34.6939	6.91	0.0086	D, S
94 <i>Larus argentatus</i>	9	20	59.1837	10.2041	30.6122	4.3	0.0382	L, S
95 <i>Hydroprogne caspia</i>	21	10	63.2653	8.1633	28.5714	4.3	0.0382	D, L, S
96 <i>Sterna forsteri</i>	19	1	40.8163	0.0000	59.1837	39.68	0	S
97 <i>Chlidonias niger</i>	15	7	44.8980	6.1224	48.9796	18.49	0	S
98 <i>Megaceryle torquatus</i>	19	14	67.3469	12.2449	20.4082	0.66	0.4166 *	
99 <i>Megaceryle alcyon</i>	37	2	79.5918	6.1224	14.2857	1.32	0.2482 *	
100 <i>Chloroceryle amazona</i>	6	28	69.3878	4.0816	26.5306	6.19	0.0129	D, S
101 <i>Chloroceryle americana</i>	22	6	57.1429	8.1633	34.6939	7.72	0.0055	D, S
102 <i>Chloroceryle aenea</i>	12	20	65.3061	8.1633	26.5306	3.4	0.0653 *	D, S
103 <i>Sayornis nigricans</i>	19	4	46.9388	2.0408	51.0204	25.94	0	D
104 <i>Tachycineta bicolor</i>	28	2	61.2245	4.0816	34.6939	12.78	0.0004	
105 <i>Cistothorus platensis</i>	3	19	44.8980	6.1224	48.9796	20.15	0	D, L, S

Número de sitios

TAXA	Presencia compartida	Ausencia compartida	% Exactitud	% Omisión	% Comisión	χ^2	p	Notas
106 <i>Cistothorus palustris</i>	18	9	55.1020	0.0000	44.8980	20.44	0	S
107 <i>Cinclus mexicanus</i>	0	35	71.4286	4.0816	24.4898	8.33	0.0039	D, S
108 <i>Anthus rubescens</i>	19	7	53.0612	2.0408	44.8980	19.15	0	S
109 <i>Seiurus noveboracensis</i>	14	8	44.8980	12.2449	42.8571	9.32	0.0023	S
110 <i>Seiurus motacilla</i>	11	17	57.1429	10.2041	32.6531	5.01	0.0252	D, S
111 <i>Geothlypis trichas</i>	38	0	77.5510	0.0000	22.4490	12.39	0.0004	S
112 <i>Geothlypis beldingi</i>	0	31	63.2653	0.0000	36.7347	22.05	0	L
113 <i>Geothlypis flavovelata</i>	1	38	79.5918	2.0408	18.3673	6.08	0.0137	L, S
114 <i>Geothlypis speciosa</i>	2	32	69.3878	6.1224	24.4898	5.29	0.0215	D, S
115 <i>Melospiza melodia</i>	21	9	61.2245	6.1224	32.6531	7.34	0.0068	L, S
116 <i>Melospiza georgiana</i>	2	23	51.0204	8.1633	40.8163	12.8	0.0003	L, S
117 <i>Agelaius phoeniceus</i>	39	0	79.5918	2.0408	18.3673	7.13	0.0076	D

Apéndice 3.3. Características de los 49 cuerpos de agua empleados para contrastar los modelos y resultados de la comparación. Fuente a= listado de AICAs, b= otra fuente bibliográfica, c= trabajo de campo

Area	Nombre	Tipo	Coordenadas	Categoría de conservación	Fuente	Modelo	Lista	Presencia correcta	Ausencia Correcta	% Exactitud	% Omisión	% Comisión	X ²	p	Predicción significativa
1	Delta Río Colorado	marisma	31.84° N, 114.95° W	AICA, RHP	a,b	58	65	38	33	60.68	22.22	17.09	0.62	0.4324 *	*
2	San Ignacio	laguna costera	26.91° N, 113.14° W	AICA, RHP	a	76	46	40	36	64.96	5.13	29.91	14.39	0.0001	
3	s/n	pantano, humedal	20.49° N, 90.41° W	AICA, RHP	a	79	77	60	23	70.94	14.53	14.53	0.00	1*	*
4	Términos	laguna costera	18.63° N, 91.53° W	AICA, RHP	a, b	110	54	50	6	47.86	3.42	48.72	55.93	0.0000	
5	Sabancuy	estuario	19° N, 91.15° W	AICA, RHP	b, c	91	29	28	26	46.15	0.85	52.99	63.63	0.0000	
6	Los Petenes	marisma, humedal	21.35° N, 89.08° W	AICA, RHP	a	90	86	71	21	78.63	8.55	12.82	0.52	0.4696 *	*
7	Netzahualcóyotl	presa	17.18° N, 93.67° W	AICA, RHP	a	102	35	29	17	39.32	5.13	55.56	60.14	0.0000	
8	Miramar	laguna	16.41° N, 91.26° W	AICA, RHP	a	52	41	14	40	46.15	23.08	30.77	1.46	0.2275 *	*
9	Montebello	laguna	16.11° N, 91.7° W	AICA, RHP	a	95	16	14	29	36.75	0.85	62.39	90.10	0.0000	
10	Pampa el Cabildo	laguna temporal	14.75° N, 92.45° W	AICA, RHP	a	56	42	33	53	73.50	6.84	19.66	3.96	0.0465	
11	Bustillos	laguna temporal	28.56° N, 106.76° W	AICA, RHP	a	67	19	10	42	44.44	7.69	47.86	40.81	0.0000	
12	Los Mexicanos	laguna, humedal	28.17° N, 106.94° W	AICA, RHP	a	97	16	14	23	31.62	1.71	66.67	99.32	0.0000	
13	Sabinas river basin	humedal	28.56° N, 102.65° W	AICA, RHP	a	57	42	27	47	63.25	12.82	23.93	2.98	0.0845 *	*
14	Venustiano Carranza	presa	27.48° N, 100.65° W	AICA, RHP	a	54	20	10	55	55.56	8.55	35.90	20.54	0.0000	
15	El Tulillo	presa	25.66° N, 101.45° W	AICA	a	59	73	47	35	70.09	22.22	7.69	4.99	0.0255	
16	Cuatro Ciénegas	marisma, humedal	26.97° N, 101.59° W	AICA, RHP	a	56	26	18	57	64.10	5.98	29.91	15.08	0.0001	
17	Tláhuac	urban humedal	19.24° N, 99.08° W	AICA, RHP	a, c	71	60	50	39	76.07	8.55	15.38	1.10	0.2934 *	*
18	Yuriria	laguna	20.24° N, 101.13° W	AICA, RHP	a, c	64	33	19	39	49.57	11.97	38.46	16.92	0.0000	
19	Infiernillo	presa	18.57° N, 101.85° W	AICA, RHP	a, c	48	50	24	45	58.97	22.22	18.80	0.28	0.595 *	*
20	Coyuca , Tres Palos, Chautengo	laguna costera	16.59° N, 99.05° W to 16.59° N, 100.07° W	AICA, RHP	a, c	80	43	41	36	65.81	1.71	32.48	22.19	0.0000	
21	Tecomulco	laguna	19.86° N, 98.4° W	AICA, RHP	a	66	40	31	46	65.81	7.69	26.50	8.41	0.0037	
22	Chapala	laguna	20.24° N, 103.05° W	AICA, RHP	a, c	82	52	41	25	56.41	9.40	34.19	14.65	0.0001	
23	Antonio Alzate	presa	19.45° N, 99.67° W	AICA, RHP	a	48	52	26	43	58.97	22.22	18.80	0.28	0.5971 *	*
24	Vaso Carretas	marisma urbanal	19.52° N, 99.17° W	RHP	b, c	71	24	24	49	62.39	0.00	37.61	34.68	0.0000	
25	Vaso de Cristo	marisma urbanal	19.49° N, 99.22° W	RHP	b, c	71	25	24	48	61.54	0.85	37.61	33.00	0.0000	
26	Lago de Guadalupe	presa	19.63° N, 99.26° W	RHP	b, c	77	51	47	40	74.36	3.42	22.22	8.30	0.0040	
27	Lago de Texcoco	humedal	19.45° N, 99.04° W	AICA, RHP	a, b, c	70	68	55	37	78.63	11.11	10.26	0.02	0.8947 *	*
28	Zumpango	presa	19.78° N, 99.14° W	RHP	b, c	71	45	40	44	71.79	4.27	23.93	9.05	0.0026	

Area	Nombre	Tipo	Coordenadas	Categoría de conservación	Fuente	Modelo	Lista	Presencia correcta	Ausencia Correcta	% Exactitud	% Omisión	% Comisión	X ²	p	Predicción significativa
29	Cuitzeo	laguna	19.93° N, 101.08° W	AICA, RHP	a, c	102	53	50	21	60.68	1.71	37.61	32.13	0.0000	
30	Pátzcuaro	laguna	19.61° N, 101.64° W	AICA, RHP	a, c	92	53	51	28	67.52	1.71	30.77	20.56	0.0000	
31	Miguel Alemán	presa	18.25° N, 96.53° W	AICA, RHP	a	65	47	35	41	64.96	10.26	24.79	4.95	0.0260	
32	San José Manialtepec	laguna temporal	15.94° N, 97.18° W	AICA, RHP	a, c	71	69	50	32	70.09	13.68	16.24	0.16	0.6914 *	*
33	Chacahua	laguna costera	15.98° N, 97.7° W	AICA, RHP	a, c	76	41	32	36	58.12	6.84	35.04	18.64	0.0000	
34	Conil	laguna	21.47° N, 87.24° W	AICA, RHP	a	119	82	82	3	72.65	0.00	27.35	32.17	0.0000	
35	Sian Ka'an	pantano	19.42° N, 87.77° W	AICA, RHP	a	48	66	27	32	50.43	33.33	16.24	6.85	0.0089	
36	Canan	humedal	19.14° N, 89.71° W	AICA, RHP	a	103	66	64	13	65.81	1.71	32.48	27.35	0.0000	
37	Yo Aktun	humedal	19.09° N, 89.25° W	AICA, RHP	a	68	59	38	29	57.26	17.95	24.79	1.10	0.2942 *	*
38	Marismas Nacionales	marisma	22.12° N, 105.4° W	AICA, RHP	a	92	78	77	25	87.18	0.85	11.97	3.60	0.0578 *	*
39	Plutarco Elías Calles	presa	29.16° N, 109.67° W	AICA, RHP	a	82	31	30	35	55.56	0.85	43.59	42.81	0.0000	
40	Álvaro Obregón	presa	27.84° N, 109.84° W	AICA, RHP	a	94	31	27	20	40.17	3.42	56.41	65.95	0.0000	
41	Pantanos de Centla	pantano	18.24° N, 92.46° W	AICA	a, c	111	67	66	9	64.10	0.85	35.04	35.86	0.0000	
42	Vicente Guerrero	presa	23.94° N, 98.72° W	AICA, RHP	a	59	30	16	44	51.28	11.97	36.75	15.25	0.0001	
43	La Escondida	laguna temporal	22.77° N, 99.59° W	AICA, RHP	a	81	66	51	22	62.39	12.82	24.79	3.57	0.0589 *	*
44	Pueblo Viejo, Chairel, Champayan	laguna	22.52° N, 98.2° W to 22.08° N, 97.84° W	AICA	a, c	110	73	71	7	66.67	1.71	31.62	29.88	0.0000	
45	Catemaco	laguna	18.4° N, 95.07° W	AICA, RHP	a	79	105	74	9	70.94	26.50	2.56	19.38	0.0000	
46	Alvarado	laguna costera	18.85° N, 95.92° W	AICA, RHP	a, b, c	98	87	80	13	79.49	5.98	14.53	2.54	0.1108 *	*
47	Tecolutla	estuario	20.5° N, 97.06° W	AICA, RHP	a, b, c	105	53	52	12	54.70	0.85	44.44	50.35	0.0000	
48	Ria Lagartos	estuario	21.56° N, 87.92° W	AICA, RHP	a	77	82	48	11	50.43	29.06	20.51	1.90	0.1682 *	*
49	Ria Celestun	estuario	20.95° N, 90.25° W	AICA, RHP	a	99	84	81	16	82.91	2.56	14.53	4.85	0.0277	