



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

POSGRADO EN RECURSOS BIÓTICOS

MODELAJE ECOLÓGICO DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE  
LA AVIFAUNA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias (Recursos Bióticos)

Presenta

ROBERTO CARLOS ALMAZÁN NÚÑEZ

Santiago de Querétaro, Querétaro.

Marzo 2007



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Ciencias – Recursos Bióticos

**MODELAJE ECOLÓGICO DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA  
AVIFAUNA DEL ESTADO DE QUERÉTARO**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias (Recursos Bióticos)

**Presenta:**

Ecól. Roberto Carlos Almazán Núñez

**Dirigido por:**

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

SINODALES

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Presidente


Dr. Adolfo Gerardo Navarro Sigüenza  
Secretario

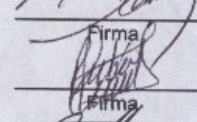
M. en C. Rubén Pineda López  
Vocal

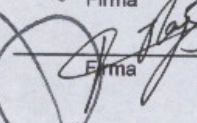
Dr. Carlos Alberto López González  
Suplente

Dr. Octavio Rafael Rojas Soto  
Suplente

Biol. Jaime Angeles Angeles  
Director de la Facultad

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Marzo 2007  
México

## RESUMEN

Los patrones de distribución de la avifauna del Estado de Querétaro estaban poco estudiados, por lo que en este trabajo se reunió y actualizó la información disponible para analizar la distribución de la riqueza, el endemismo y las especies en riesgo con base en la implementación de un modelo de nicho ecológico (GARP) para generar distribuciones potenciales, así como una regionalización biogeográfica del estado con base en su avifauna aplicando el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE). Se obtuvieron datos de presencia (de colecciones científicas, literatura y trabajo de campo) para 362 especies de aves a lo largo del estado, observándose que el esfuerzo de muestreo es heterogéneo, existiendo áreas pobremente inventariadas. Los mapas de distribución potencial de la riqueza, endemismo y especies en alguna categoría de riesgo mostraron una mayor concentración de éstas en la región de la Sierra Madre Oriental. El PAE a partir de los datos potenciales generados con GARP reveló la formación de dos grupos principales de áreas; por un lado, agrupó a las áreas localizadas en la región más norteña de la Sierra Madre Oriental, con orientación hacia el Golfo de México y caracterizadas principalmente por la presencia de ambientes húmedos. El segundo grupo es formado por las áreas que corresponden a la vertiente interna de la Sierra Madre Oriental, la Mesa Central y el Eje Neovolcánico, determinadas por climas secos y templados. Estos resultados sugieren que las relaciones obtenidas en el análisis pueden ser producto de la interacción entre factores históricos y ecológicos. Los resultados sobre las áreas de conservación del estado de Querétaro analizadas a partir de la distribución potencial de las especies, demostraron que muchas de éstas (incluyendo a las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda) no están siendo efectivas en cuanto a la conservación de aves de interés como las endémicas y en riesgo.

*(Palabras clave: distribución de aves, Querétaro, GARP, PAE, conservación).*

## ABSTRACT

The patterns of distribution of the avifauna of the State of Querétaro has been poorly understood. In this work I summarized and analyzed the knowledge for the bird species richness, endemism and the species in risk in the State throughout the application of ecological niche modelling using the Genetic Algorithm for Rule-Set Production (GARP). I also used the potential species distributions for proposing a biogeography regionalization of the state based in the avifauna applying the Parsimony Analysis of Endemicity (PAE). Data of presence were obtained (from scientific collections, literature and field work) for 362 species of birds across the state, noticing that the sampling effort is heterogeneous for most of the species and the existence of poorly inventoried areas. The higher concentration for richness, endemism and threatened species occurs in the Sierra Madre Oriental region. The PAE (using potential distributional data) revealed two major groupings. The first contained areas located in the northern most region of the east slope of the Sierra Madre Oriental and characterized by humid climates. The second group is composed by the areas that correspond to the west slope of the Sierra Madre Oriental, the Mesa Central and the Eje Neovolcánico, characterized by dry and temperate climates. These results suggest an interaction between historical and ecological factors. On the other hand, my results demonstrated that exist areas (including some within the Biosphere Reserve of “Sierra Gorda”) are not covering effectively important areas for the conservation of endemism and threatened birds.

*(Key words: Bird distributions, Querétaro, GARP, PAE, conservation).*

*A mis Padres, con todo mi amor, respeto y gratitud por su apoyo a toda prueba.*

*A mis hermanos, por enseñarme más de lo que yo les pude haber enseñado.*

*A mi abuelita Caya, por ser un aliciente que le da sentido a mi vida.*

*A mis sobrinos, quienes siempre me roban una sonrisa.*

*A mi abuelita Beta<sup>†</sup>, por su valentía ante la vida.*

*A mis tíos y primos, por los buenos ratos.*

*A ti Iris, por ser algo especial.*

## AGRADECIMIENTOS

La consecución de este trabajo no hubiera sido posible sin la participación de varias personas que activa y desinteresadamente, me brindaron su ayuda y aceptaron intervenir en algunas de las fases de este proyecto. Es por esta razón, que de antemano ofrezco una disculpa sincera a aquellas personas que por descuido he olvidado mencionar.

Agradezco al Dr. Luis Hernández quién aceptó el reto de dirigirme y apoyarme durante mi estancia en el Posgrado, siempre dispuesto a colaborar en el buen desarrollo del proyecto.

Mención especial merece sin duda el Dr. Adolfo Navarro, quién desde ya hace algunos años me abrió las puertas del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, y me brindó su apoyo y confianza, siendo muy paciente ante mis constantes “rebeldías” y mis continuos errores. Por fungir y apoyar en la co-dirección de este trabajo, pero sobre todo por brindarme su amistad, además de facilitarme y confiarme los datos de las aves de Querétaro contenidos en la base del Atlas de las Aves de México. Todo lo que pueda expresar se resume en un sincero “muchas gracias Adolfo”.

A mi amigo el Dr. Octavio Rojas, por apoyarme desinteresadamente y por lo que he podido aprender de él académicamente, además de que se ha convertido en mi “revisor oficial” de casi todo lo que escribo, a pesar de sus múltiples actividades. Gracias Octavio, sabes que cuentas también con un buen amigo y en lo poco o mucho tienes mi apoyo.

A mis sinodales, los Drs. Luis Hernández, Adolfo Navarro, Carlos López, Octavio Rojas y el M. en C. Rubén Pineda por los comentarios y observaciones que mejoraron sustancialmente este trabajo.

A mis amigos del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, especialmente a César Ríos Muñoz quién con toda la amabilidad siempre dio respuesta a mis múltiples dudas y preguntas relacionadas con varios aspectos del modelaje distribucional, además de revisar el manuscrito. A Luis Sánchez González (Howell), que me ha dado siempre muestras de gentileza y que aportó observaciones valiosas que sirvieron para mejorar el trabajo. A Fernando Puebla y Hernán Vázquez que cuando les solicité ayuda siempre me la brindaron. A Samuel López quién aportó información sobre las aves de Querétaro y ayudó en el diseño de la base de datos, así como a Gaby Deras por ser una excelente persona. A Alejandro Gordillo, Vicente Rodríguez, Erick García y Roberto Sosa (mampo), por su buena camaradería y por su apoyo brindado en toda ocasión.

Al Dr. Juan José Morrone porque cuando me le acerqué para preguntarle aspectos relacionados con el PAE, con toda la sencillez del mundo resolvió mis dudas. Al M. en C. Othón

Alcántara que me explicó con paciencia varios cuestionamientos que le hice sobre el PAE. Al Dr. Valentino Sorani de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por explicarme algunas de sus ideas relacionadas con el modelaje distribucional. Al geógrafo René Mendoza por proporcionarme información sobre la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.

A mis amigos los “ornis” y “mastos” guerrerenses, Oscar Nova, Alberto Almazán (El Pariante), Elida Moreno, J. Carmen Mendoza, Guillermo Brito (El Pedagogo), Samuel García, Marcos Clemente, Alejandro Taboada, Leobardo Sánchez, Ezequiel Guerrero (Changoleón) y Fernando Ruiz, por compartir salidas y experiencias en el campo, además de los excelentes ratos en nuestros de repente largos viajes a diferentes sitios del bello estado de Guerrero, de donde soy orgullosamente nativo.

A Rubén Pineda y Alejandro Arellano, por compartir algunas salidas al campo y facilitarme datos inéditos sobre las aves de Querétaro, así como a la bióloga Judith Sánchez por apoyar en las salidas.

A mis amigos del Posgrado, especialmente a Lía, Lucero, Oscar y Rosa Elena, por los buenos momentos que hicieron más placentera mi estancia en la bella ciudad de Querétaro. ¡Lía, sinceramente gracias por tu paciencia y aguantar la loca idea de entender mis necesidades!.

A Fernando Urbina, Claudia Romo, César Piedragil, Jill Deppe y Antonio Celis, quienes me apoyaron en mis inicios en el campo de la ornitología y me guiaron pacientemente.

A mis buenos amigos, César Azúcar, Jarib Yasser, Carolina Gutiérrez, Carlos Díaz, Rodolfo Nava y Adasol Rodríguez, por no permitir en innumerables ocasiones que mi ánimo decayera, tendiéndome la mano cuando lo necesité. A Jorge Magaña y Blanca Carreto por la compañía dentro del Instituto de Investigación de Ciencias Naturales de la UAG.

A los curadores de las colecciones citadas en el Apéndice 3, por facilitar el acceso a sus acervos que sirvieron para conformar el Atlas de las Aves de México, de donde se obtuvo la mayor parte de los datos para realizar este trabajo.

Al CONACyT por la beca otorgada para el desarrollo de mis estudios de Posgrado.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro la oportunidad que me brindó de culminar mis estudios de Posgrado, así como a la Universidad Autónoma de Guerrero por sentar las bases en mi desarrollo profesional.

## ÍNDICE

Resumen	i
Abstract	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	vi
Índice de figuras	vii
Índice de cuadros	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
Historia del conocimiento avifaunístico de Querétaro	4
Modelos predictivos y análisis de regionalización	6
III. OBJETIVOS	12
IV. ÁREA DE ESTUDIO	13
V. MÉTODOS	26
VI. RESULTADOS	38
VII. DISCUSIÓN	58
Registros de distribución	58
Modelaje distribucional con GARP	60
Regionalización con PAE	64
Evaluación de áreas de conservación	68
VIII. CONCLUSIONES	73
IX. LITERATURA CITADA	75
APÉNDICE 1. Lista sistemática de las aves de Querétaro	90
APÉNDICE 2. Lista de especies hipotéticas	100
APÉNDICE 3. Lista de colecciones científicas utilizadas	103



## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

1. Localización geográfica del estado de Querétaro y sus divisiones municipales	13
2. Regiones fisiográficas del estado de Querétaro	15
3. Regiones climáticas presentes en el estado de Querétaro	18
4. Tipos de vegetación del estado de Querétaro	25
5. Ejemplo del procedimiento seguido para la obtención de los mapas únicos por especie con GARP (Ej. <i>Sittasomus griseicapillus</i> )	33
6. División del estado de Querétaro en una gradilla de 86 cuadrículas de 8' x 8' cada una, utilizada para construir las matrices de presencia/ausencia con datos puntuales de las especies en el área	35
7. División del estado de Querétaro sobre un buffer con una equidistancia de 50 km alrededor de la región de estudio en una gradilla de 267 cuadrículas de 8' x 8' cada una, utilizada para construir las matrices de presencia/ausencia con datos potenciales de las especies en el área	36
8. Localidades únicas de registro de las aves de Querétaro	39
9. Distribución geográfica del muestreo de aves en Querétaro	40
10. Riqueza estacional de la avifauna del estado de Querétaro	42
11. Modelos de acumulación de especies de la avifauna del estado de Querétaro	44
12. Regiones con mayor de riqueza de especies	45
13. Regiones con mayor acumulación de especies endémicas	46
14. Regiones con mayor acumulación de especies bajo alguna categoría de riesgo	47
15. Cladograma de consenso estricto y correspondencia geográfica obtenido del análisis de datos puntuales aplicado a una gradilla de 8' x 8' en el estado de Querétaro	49
16. Cladograma de consenso estricto obtenido del análisis de datos potenciales aplicado a una gradilla de 8' x 8' en un buffer de 50 km de equidistancia sobre el estado de Querétaro	50
17. Construcción de la regionalización de la avifauna del estado de Querétaro basada en el cladograma de áreas	51
18. Sobreposición de las zonas con mayor acumulación de riqueza, endemismo y especies en riesgo, con las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICAs).	56
19. Sobreposición de las zonas con mayor acumulación de riqueza, endemismo y especies en riesgo, con las Áreas Naturales Protegidas (ANPs).	57

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1. Localidades de muestreo efectuado en este trabajo en el estado de Querétaro 28
2. Coberturas geográficas utilizadas para la generación de los modelos de distribución 31
3. Especies que sostienen a los clados (sinapomorfías) en el cladograma de regionalización 54

## I. INTRODUCCIÓN

La distribución de las especies ha sido el objeto de estudio de la biogeografía bajo los enfoques ecológico e histórico misma que fue reconocida por de Candolle desde principios del siglo XIX (Espinosa-Organista y Llorente 1993). La primera se basa en las asociaciones existentes entre las diferentes especies así como en sus adaptaciones al medio ambiente para explicar su distribución mientras que la segunda, explica la distribución de las especies a partir de eventos históricos, es decir, aquellos que ya no intervienen en la actualidad (Morrone 2001a, Espinosa-Organista *et al.* 2002). Sin embargo, dada la existencia de un gradiente espacio-temporal, podemos asumir que la distinción entre ambas biogeografías no es natural (Morrone 2001a, 2004).

El elemento básico de todo estudio biogeográfico es el área de distribución de los organismos (Zunino y Zullini 2003). Sin embargo, el definir o trazar las áreas de distribución de una especie no es una tarea fácil, sino sumamente compleja, sobre todo cuando es bien conocido que su distribución no es estable en tiempo ni espacio (Rapoport y Monjeau 2003). Esto ocasiona a menudo que el trazo y la interpretación de las áreas “reales” de distribución corran el riesgo de caer en simplificaciones, o por el contrario en sobreestimaciones (Espinosa-Organista *et al.* 2002). Además, la falta de conocimiento de la ecología de las especies así como de factores metodológicos apropiados para la delimitación de las áreas de distribución, han acentuado aún más estas ambigüedades.

Este problema sobre la distribución geográfica de los organismos ha sido abordado recientemente con el desarrollo e implementación de los algoritmos genéticos, los cuales son una herramienta muy valiosa en la generación de modelos que representan los nichos fundamentales de las especies estudiadas y a través de los cuales se pueden predecir sus distribuciones (Lindenmayer *et al.* 1991, Stockwell y Noble 1992). En este sentido, el avance tecnológico mediante herramientas de cómputo –*bases de datos disponibles en páginas electrónicas y Sistemas de Información Geográfica*– permiten la posibilidad de construir mapas más precisos de la distribución de las especies, llenando huecos de conocimiento y muestreo, lo que aumenta enormemente las potencialidades de análisis e interpretación en biogeografía (Shaw y

Atkinson 1990, Anderson *et al.* 2003, Navarro *et al.* 2003b).

Un grupo taxonómico interesante para estudios biogeográficos son las aves, debido a que es uno de los mejor estudiados y entendidos en términos de distribución y diversidad (Peterson y Sánchez-Cordero 1994), por lo que se les ha utilizado como modelo de estudio para el desarrollo de nuevas teorías en biología (Mayr 1988). Esta distinción la han ganado debido a que son relativamente fáciles de estudiar para obtener registros distribucionales. Algunos estados del país cuentan con inventarios relativamente detallados con datos sobre la distribución de su avifauna, en la que ocasionalmente muestran aspectos de la ecología y estacionalidad de las especies, por ejemplo, Chiapas (Álvarez del Toro 1980), Oaxaca (Binford 1989), Querétaro (Navarro *et al.* 1993), Guerrero (Navarro 1998), Puebla (Rojas-Soto 1995), Colima (Schaldach 1969), Nayarit (Escalante 1988), Sinaloa (Liebig-Fossas 2004) y Morelos (Urbina 2005), entre otros. No obstante, Rojas-Soto *et al.* (2002) expresaron que el conocimiento de la avifauna mexicana aún tiene grandes vacíos que no permiten un entendimiento íntegro de sus patrones de distribución. Ante este panorama, es de esperarse que los intentos por conocer, describir y analizar con detalle los patrones biogeográficos de la avifauna del país aún sean escasos.

El aumento de estudios avifaunísticos a escalas regionales ha llevado a reconocer de mejor manera los patrones generales de la distribución de las especies (Navarro y Benítez 1993), que son el punto inicial para la realización de análisis biogeográficos. La avifauna del estado de Querétaro se encuentra entre las menos conocidas a un nivel nacional (Navarro *et al.* 1993), como lo demuestran las publicaciones recientes en las que se mencionan varios nuevos registros para el estado (Eitniear *et al.* 2000, Rojas-Soto *et al.* 2001, González-García *et al.* 2004). Desde el punto de vista biogeográfico, el estado de Querétaro es un área interesante debido a que dentro de sus límites confluyen tres importantes regiones fisiográficas: la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Mesa Central. Esto produce cambios importantes en cuanto a la composición de su avifauna, por la existencia de zonas secas-áridas, templadas y húmedas de montaña.

En el presente estudio se analizan los patrones de distribución geográfica de la avifauna del estado de Querétaro, partiendo de la utilización de nuevos métodos de

análisis como el Algoritmo Genético para la Producción de Juegos de Reglas (GARP, por sus siglas en inglés), y el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE, por sus siglas en inglés), con el fin de generar hipótesis que expliquen dichos patrones, así como enfocar los mismos al terreno de la conservación.

## II. ANTECEDENTES

### ***Historia del conocimiento avifaunístico de Querétaro.***

El conocimiento generado sobre la avifauna queretana comenzó con la visita de la comisión científica exploradora de Alejandro Malaspina a finales del siglo XVIII (González-Claverán 1989). El coronel Antonio Pineda fue comisionado para reconocer los recursos biológicos de la Nueva España, sus recorridos incluyeron algunas localidades de Querétaro, como San Juan del Río y Tequisquiapan. A su paso, los expedicionarios tomaron nota de cuanta ave encontraban casualmente, y muchas de ellas fueron descritas y disecadas.

Sin embargo, no fue sino hasta principios del siglo XX que surgieron algunos trabajos generales sobre la distribución de la avifauna del país, en la que se incluyeron algunos registros más precisos para las aves del estado de Querétaro (e. g. Ridgway y Friedmann 1901-1945, Blake 1953). Destacan por su importancia los trabajos de Friedmann *et al.* (1950) y Miller *et al.* (1957), quienes integraron el conocimiento taxonómico y distribucional de las especies y subespecies de aves de México. Además, se cuenta con registros escasos obtenidos por Nelson y Goldman a su paso por el estado (Goldman 1951).

Varias recolectas de aves fueron llevadas a cabo por herpetólogos y mastozoólogos de manera incidental, mismas que están alojadas en la colección ornitológica de la Texas Cooperative Wildlife Collections, en la Texas A&M University, además de trabajo de campo efectuado por el Dr. Keith Arnold (Navarro *et al.* 1993).

Es notable la existencia de un gran vacío en cuanto a estudios avifaunísticos en Querétaro durante las décadas de 1960 y 1970. No fue sino hasta el período de 1983-1986, que el personal de la colección de mamíferos del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, recolectó incidentalmente algunos ejemplares en la región noreste del estado. Dichos ejemplares se encuentran alojados en la colección de aves de la misma institución, algunos de los cuales fueron nuevos registros para Querétaro (Navarro *et al.* 1991).

Ante la ausencia de una monografía de las aves del estado, Navarro *et al.* (1993)

sintetizaron la información existente obtenida a partir de bases de datos de campo, literatura y colecciones científicas. Obtuvieron registros para 232 especies, señalando que las regiones más ricas avifaunísticamente son la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico. En la región de Santa Inés-Tangojé municipio de Landa de Matamoros, Arellano-Sanaphre (1997) analizó la distribución altitudinal y la composición de la avifauna en los diferentes tipos de vegetación dentro del gradiente.

Algunos otros estudios han sido más puntuales, aportando información sobre registros nuevos para el estado y en los cuales se puede notar el desconocimiento que aún existe sobre la avifauna queretana. Por ejemplo, Eitniear *et al.* (2000) obtuvieron registros de la codorniz *Dendrortyx barbatus* en algunas localidades de la región noreste. Mientras que Rojas-Soto *et al.* (2001) encontraron 57 nuevos registros para Querétaro, además de la ampliación del área de distribución de algunas especies más. Gómez de Silva (2002) publicó algunos registros sobresalientes para el estado (*Micrathene whitneyi*, *Stelgidopteryx serripennis* e *Icterus cucullatus*), aumentando el conocimiento sobre su distribución estacional.

Paralelamente, los trabajos faunísticos se intensificaron de manera muy reciente principalmente en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, decretada en el año de 1997 (Carabias-Lillo *et al.* 1999). Algunos ejemplos de estos trabajos son el de Jiménez-Espinosa (2001), quién llevó a cabo un análisis comparativo entre la avifauna de dos bosques de encino-pino con diferente grado de alteración, el de González-Salazar (2001), que elaboró un inventario en algunas localidades de la región, obteniendo algunos registros nuevos para el estado, como *Wilsonia canadensis*, *Cistothorus palustris*, *Thamnophilus doliatus* y *Contopus cooperi*, y el de Gutiérrez-Pérez (2002), quien analizó la avifauna en sitios conservados y perturbados de tres hábitat (bosque de pino-encino, bosque mesófilo y bosque tropical caducifolio), donde obtuvo que los sitios perturbados resultaron más ricos que sus contrapartes conservadas.

Gómez de Silva y Medellín (2002) probaron algunas predicciones sobre los ensamblajes de aves en varias localidades del país, incluyendo en su análisis algunas de Querétaro. López de Aquino (2003) y Sahagún-Sánchez (2003) actualizaron aún más la información concerniente a las aves del estado. El primero analizó la distribución de las aves endémicas y bajo alguna categoría de riesgo por intervalo altitudinal, tipo de

vegetación y región fisiográfica. El segundo, enfocó su análisis a aspectos de ecología del paisaje, llevando a cabo una caracterización en unidades ambientales de las zonas estudiadas mediante el sistema de clasificación geomorfológico del International Training Center (ITC). Ambos autores registraron un total de 294 especies para Querétaro.

Recientemente, González-García *et al.* (2004) publicaron una lista de 29 registros nuevos para el estado, aumentando en casi 10% la riqueza conocida para un total de 323 especies. Además de éstos, otros trabajos (e. g. Sánchez-González 2002, García-Deras 2003, Ortega-Huerta y Peterson 2004, Navarro *et al.* 2004a) involucran parcialmente información de aves de Querétaro como parte de estudios amplios de genética, distribución y conservación de la avifauna de México y Mesoamérica.

A pesar de que en los últimos años los estudios ornitológicos se han incrementado y diversificado, el inventario parece estar lejos de completarse, ya que frecuentemente se llevan a cabo nuevos registros de especies a lo largo del estado (Pineda-López *et al.* en prep.) demostrando la falta de conocimiento que aún existe sobre la distribución detallada de su avifauna.

### ***Modelos predictivos y análisis de regionalización.***

Los métodos descritos para reconocer áreas de distribución de un taxón, consistieron inicialmente en trazar un polígono alrededor de los puntos de registro más externos de la especie estudiada. Actualmente, el surgimiento de modelos predictivos ha permitido estimar la distribución geográfica de las especies de una manera mucho más precisa (Nix 1986, Carpenter *et al.* 1993, Sánchez-Cordero *et al.* 2001, Anderson *et al.* 2003). Estos modelos permiten determinar las áreas donde se encuentran las condiciones ambientales más adecuadas para que la especie prospere, en función de parámetros ambientales que son obtenidos a partir de la correlación con localidades de registro.

Algunos de estos modelos utilizan métodos estadísticos, siendo los más comunes los Modelos Lineales Generalizados (GLIM, Guisan *et al.* 1999) y las redes neuronales (Olden 2003), así como Sistemas de Información Geográfica como los análisis de discrepancias (GAP Analysis, Scott *et al.* 1993). Otros modelos se



fundamentan en la relación nicho ecológico-distribución, entre los que se encuentran el programa BIOCLIM, que utiliza los registros de especies en conjunto con información ambiental para generar perfiles bioclimáticos (Nix 1986, Villaseñor y Téllez-Valdés 2004).

Otro método que permite correlacionar los factores ambientales con los datos biológicos (puntos de ocurrencia conocidos de una especie), es el Algoritmo Genético para la Producción de Juegos de Reglas (GARP). Este algoritmo, basado en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson (1957), combina grupos de reglas para construir la más apropiada predicción para una región determinada, utilizando diferentes variables ecológicas (Stockwell y Noble 1992, Stockwell y Peters 1999).

Las reglas o condiciones ambientales en GARP se refieren a la relación que tienen las localidades de recolecta con las variables ambientales, tales como precipitación, temperatura, elevación sobre el nivel del mar, geología, entre otras (Anderson *et al.* 2003). El modelo funciona determinando aquellas zonas con características semejantes a las existentes en las localidades de colecta de la especie en cuestión; estas zonas se buscan en un área de estudio utilizando información espacial de las variables ambientales indicadas como primordiales para su distribución.

Una vez introducidos ambos tipos de información, GARP sigue una rutina de producción, evaluación, modificación e integración de reglas para formar sus modelos (Sánchez-Cordero *et al.* 2001, Anderson *et al.* 2003). Es decir, produce reglas de forma aleatoria basándose en cuatro tipos fundamentales (Reglas BIOCLIM, Reglas Logit, Reglas Atómicas y Reglas de Rango). Estas reglas o condicionantes ambientales son evaluadas para determinar cuales de ellas presentan mejor precisión para predecir la distribución de la especie. De manera general, el algoritmo GARP busca correlaciones azarosas entre la presencia y ausencia de la especie y los valores de los parámetros ambientales, utilizando diferentes tipos de reglas (Sánchez-Cordero *et al.* 2001). Cada regla consiste en un método diferente para construir una predicción de la distribución de la especie (modelo de nicho ecológico).

Este algoritmo ha mostrado ventajas sustantivas con relación a otros modelos de distribución. De acuerdo con Peterson y Cohoon (1999) y Sánchez-Cordero *et al.* (2000), algunas de las ventajas que presenta este algoritmo son: 1) resuelve la

restricción de falta de uniformidad de datos obtenidos directamente de las colecciones científicas al uniformizarlos, seleccionando al azar puntos geográficos de la cobertura geográfica inicial, para corroborar su presencia y ausencia, 2) incluye variables ambientales heterogéneas y no sólo climáticas (e. g. BIOCLIM), 3) empieza la iteración de selección de reglas a partir de los métodos tradicionales como los de estadística uni y multivariada y BIOCLIM, y 4) puede producir predicciones de distribución potencial de las especies más adecudamente, presentando errores de predicción de las distribuciones menores al de otros métodos, entre algunas otras.

Sin embargo, este sistema de modelado presenta también ciertas desventajas que deben ser consideradas, entre las más importantes destacan: 1) el modelo genera pseudo-ausencias y no acepta puntos de ausencia, sin embargo, si los datos de presencia suelen ser escasos en algunas regiones, los datos de ausencia son aún más raros de obtener (Soberón y Peterson 2005), 2) existe una cierta tendencia para cometer errores de comisión, aunque ésto incluso en algunas ocasiones puede o no ser considerado como un error, ya que la especie pudo extinguirse de determinada área, o bien no existe suficiente esfuerzo de muestreo que permita registrar a la especie, por lo que la comisión no se considera como un error “grave”, y 3) dada su naturaleza estocástica presenta diferentes soluciones (modelos) a un problema, incluso usando los mismos datos de entrada (Anderson *et al.* 2003).

Esta herramienta ha sido aplicada en una amplia gama de disciplinas con diferentes y variados enfoques (ver Navarro *et al.* 2003b). Algunas publicaciones han proporcionado valiosa información sobre la evolución de los nichos ecológicos de algunas especies de aves (e. g. Rice *et al.* 2003, Martínez-Meyer *et al.* 2004, Nakazawa *et al.* 2004), en la predicción de la composición de comunidades de aves (Feria-Arroyo y Peterson 2002), sobre los efectos del cambio climático en la biodiversidad (e. g. Peterson *et al.* 2002b, Peterson 2003), en la planeación e implicaciones para la conservación (e. g. Peterson *et al.* 2000, Peterson y Robins 2003, Loiselle *et al.* 2003) e incluso en aspectos relacionados con la salud pública (e. g. Peterson *et al.* 2002a).

Asimismo, recientemente han surgido algunas aplicaciones que han explorado y utilizado los datos potenciales de distribución generados por los modelos predictivos, en combinación con métodos analíticos dentro de la biogeografía histórica, como el

Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE; e. g. Rojas-Soto *et al.* 2003, Espadas-Manrique *et al.* 2003, Rovito *et al.* 2004). Esto ha dado como resultado alternativas interesantes para el desarrollo de estudios biogeográficos y mejores hipótesis de regionalización, particularmente en áreas donde la falta de información distribucional de las especies ha limitado su aplicación.

El análisis de parsimonia de endemismos (recibe otros nombres dependiendo del autor, ver Morrone 2004), es un método analítico recientemente propuesto para delimitar unidades de estudio en la biogeografía histórica y generar hipótesis a partir de las distribuciones de los taxa (Crisci *et al.* 2000, Escalante y Morrone 2003); utilizando para ello, los taxones que se comparten de acuerdo con la solución más parsimoniosa (Rosen 1988). Con el uso de algoritmos de parsimonia cladística y analogando las áreas o localidades a taxa y la presencia/ausencia de taxa a caracteres, se construye un cladograma de áreas (Morrone 1994, Morrone y Crisci 1995). El cladograma resultante representa un conjunto de áreas anidadas que comparten taxa en común, donde las dicotomías terminales representan los cambios bióticos más recientes (Morrone y Crisci 1995).

Este método ha sido utilizado por varios autores para identificar áreas de endemismo (Pizarro-Araya y Jeréz 2004), obtener trazos generalizados para análisis panbiogeográficos (Luna-Vega *et al.* 2000, Morrone y Márquez 2001), determinar áreas prioritarias para la conservación (Cavieres *et al.* 2001, Escalante 2003) y para el establecimiento de relaciones entre diferentes áreas o unidades biogeográficas (Espinosa-Organista *et al.* 2000, Trejo-Torres y Ackerman 2001, Aguilar-Aguilar *et al.* 2003, García-Trejo y Navarro 2004). Sin embargo, existen algunos autores que han cuestionado este método como parte de la biogeografía histórica (e. g. Humphries y Parenti 1999, Brooks y van Meller 2003, Santos 2005). Las principales críticas por las cuales se argumenta que el PAE arroja resultados biogeográficos poco informativos son: 1) No usa las relaciones filogenéticas de los taxones, y por consecuencia no resuelve las relaciones entre las áreas en caso de correspondencia entre la historia de las áreas y la diversificación filogenética, 2) puede agrupar áreas con base en eventos de una dispersión post-especiación, y 3) el PAE es considerado como un método *a priori* debido a que predetermina un supuesto acerca de la naturaleza de la especiación

o la extinción.

Sin embargo, recientemente Nihei (2006) advirtió que la mayor parte de las críticas se derivan de la confusión entre el PAE estático y dinámico. Es decir, una interpretación estática (no histórica) está basada en datos derivados de biotas localizadas dentro de un solo horizonte geológico, excluyendo el componente temporal. Por el contrario, una interpretación dinámica (histórica) está basada en la comparación de dos o más horizontes geológicos, conduciendo de esta manera a un análisis de la biota a través del tiempo y el espacio. De esta forma, al usar diferentes niveles o jerarquías taxonómicas es posible interpretar la historia en la que se ocupó el espacio por los diferentes linajes, a través del tiempo geológico (Porzecanski y Cracraft 2005). Además, Nihei (2006) resaltó que la biogeografía histórica no debe restringir el conocimiento de eventos biogeográficos pasados, únicamente a patrones con filogenia; pues el fundamento analítico en este tipo de biogeografía sería *“la vida infiriendo la historia de la tierra”*. Esto sin duda violaría el postulado que formuló Croizat (1964), en el sentido de que *“la vida y la tierra evolucionan juntas”*. Es entonces, que la restricción de la biogeografía histórica a métodos estrictamente basados en la filogenia, evitarían nuevos procedimientos metodológicos y desarrollos teóricos, como por ejemplo la panbiogeografía y el PAE.

Diferentes análisis de parsimonia de endemismos han sido efectuados en niveles geográficos completamente distintos, en busca del reconocimiento de las relaciones entre áreas y como consecuencia la regionalización. Éstos se han generado considerando como unidades de estudio a las regiones naturales, como las provincias bióticas, ecorregiones y tipos de vegetación, entre otros (Espinosa-Organista *et al.* 2000, Luna-Vega y Alcántara 2003, Navarro *et al.* 2004a). Sin embargo, el uso de cuadrantes análogos a Unidades Geográficas Operacionales (OGU's por sus siglas en inglés), han tenido bastante aceptación en los últimos años (Escalante *et al.* 2003). En este sentido, Morrone y Ruggiero (2000) sugieren que en caso de no contar con una delimitación de unidades naturales, se puede basar el estudio en unidades operacionales definidas de manera arbitraria, y luego del análisis, delimitar unidades naturales.

Es claro que el criterio para determinar el tamaño de las cuadrículas es arbitrario,

pues no existe un método muy preciso que respalde su división en diferentes unidades; sin embargo, la superficie del área de estudio y el tipo de organismos que se esté analizando, pueden ayudar en la decisión del tamaño del cuadro. Además, es posible utilizar cuadrículas de diferentes dimensiones que permitan obtener distintos cladogramas, mismos que son comparados para elegir el cladograma con la mejor resolución (Morrone *com. pers.*).

Como se indicó anteriormente, algunos estudios han llevado a cabo análisis de parsimonia de endemismos en combinación con modelos predictivos. Rojas-Soto *et al.* (2003) utilizaron el análisis de parsimonia de endemismos para regionalizar la Península de Baja California con base en su avifauna en una gradilla de 30' x 30'. Primeramente, realizaron un PAE con los registros puntuales de distribución y posteriormente con los registros potenciales producidos por GARP para comparar la eficacia de ambos tipos de datos. Encontraron que los datos potenciales generaron una regionalización mucho más clara y coincidente con las propuestas para otros grupos. Resultados similares obtuvieron Espadas-Manrique *et al.* (2003) en la Península de Yucatán, utilizando a las plantas endémicas como base para la regionalización y usando DOMAIN como modelo predictivo. Los análisis se basaron en una gradilla de 15' x 15' e identificaron aquellas áreas que comparten actualmente características ambientales y una historia paleoclimática en común. Además, concluyeron que la distribución potencial puede eliminar la falta de resolución en los análisis biogeográficos causados por la falta de datos de distribución. Rovito *et al.* (2004) identificaron áreas de endemismo y regionalizaron un área del centro de Chile con base en especies de plantas del género *Senecio*, de amplia distribución en la región y con una gran cantidad de especies endémicas. Los análisis los llevaron a cabo con datos puntuales y potenciales, concluyendo que las regiones florísticas identificadas mediante el modelaje distribucional se corresponden con algunos resultados de estudios previos, apoyando las hipótesis biogeográficas para el centro de Chile.

### III. OBJETIVOS

#### **General**

- ⇒ Describir y analizar los patrones de distribución geográfica de la avifauna del Estado de Querétaro, mediante el uso de modelos del nicho ecológico de las especies.

#### **Particulares**

- ⇒ Actualizar el listado de aves del estado con base en la literatura, colecciones científicas y trabajo de campo, así como describir su estatus estacional.
- ⇒ Determinar los patrones de distribución geográfica de las especies (riqueza total, endémicas y en riesgo) con base en mapas obtenidos mediante modelaje distribucional con GARP.
- ⇒ Generar una regionalización biogeográfica del estado con base en la avifauna aplicando el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE).
- ⇒ Evaluar las áreas propuestas para la conservación en Querétaro comparando los patrones de distribución geográfica obtenidos de la riqueza de especies, endémicas y en riesgo con la ubicación de las ANP's y AICA's.

## IV. ÁREA DE ESTUDIO

### Localización

El Estado de Querétaro se encuentra localizado en el centro-este de México, entre los paralelos 20°01'02" y 21°37'17" de latitud norte y los meridianos 99°00'46" y 100°35'46" de longitud oeste. Limita al norte y noreste con San Luis Potosí, al este con Hidalgo, al sur con Michoacán, al sureste con el estado de México y al oeste con Guanajuato. Es uno de los Estados de la República con menor extensión territorial, ocupando una superficie de 11,270 km<sup>2</sup> (INEGI 1986; Fig. 1).

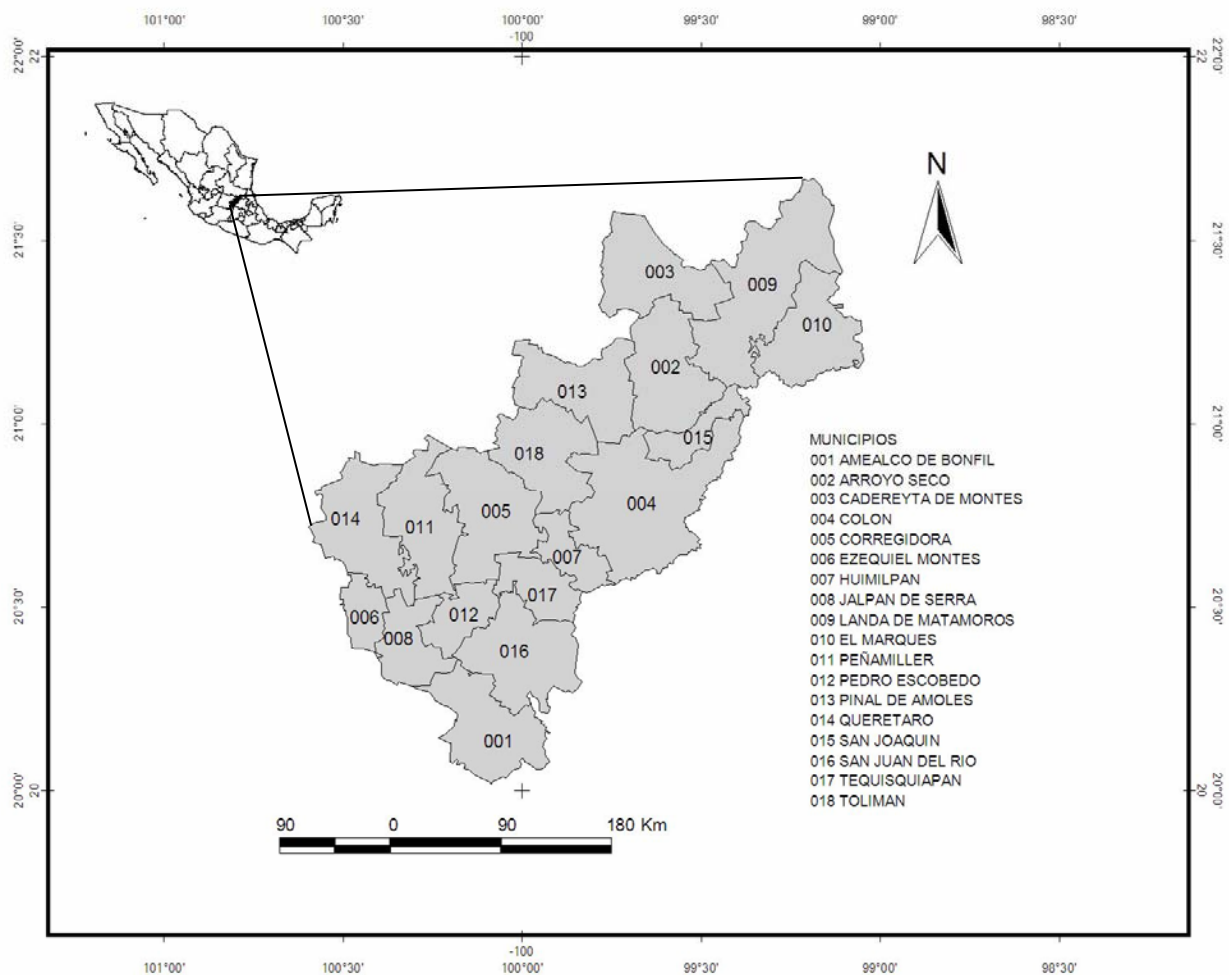


Figura 1. Localización geográfica del Estado de Querétaro y sus divisiones municipales.

## ***Geología y fisiografía***

El contexto geológico del estado de Querétaro está constituido por tres regiones claramente definidas (Fig. 2). La primera de ellas, conocida como Eje Neovolcánico, ocupa las porciones centro y sur de la entidad, con una superficie de 5,190 km<sup>2</sup>. Presenta un paisaje típicamente volcánico con contrastes geomorfológicos asociados con la variada composición de las rocas: las más antiguas de composición riolítica y andesítica constituyen montañas escarpadas y mesetas que se elevan de 2,000 a 3,000 msnm; las más recientes de composición basáltica, forman conos cineríticos y mesetas de menor elevación.

La segunda región es conocida como Sierra Madre Oriental, a la que corresponden aproximadamente 5,000 km<sup>2</sup> de la porción nororiental del estado. El relieve de esta región está configurado por cordilleras alargadas y valles intermontanos (Ferrusquía-Villafranca 1998), con alineación principal noreste-suroeste y elevaciones del orden de los 3,000 msnm. Las cadenas montañosas y lomeríos definen el parteaguas continental y reparten el escurrimiento superficial de dos vertientes: la del río Lerma hacia el poniente y la del río Pánuco hacia el oriente.

La tercera y última región geológica que abarca parte del territorio del estado es la Mesa Central, comprende unos 1,080 km<sup>2</sup>, de la porción norte de la entidad. Sus geoformas características alineadas en dirección norte-sur, son mesetas que se levantan a una altitud media de 2,000 msnm y cerros con alturas máximas del orden de los 3,000 msnm entre los que destacan el Alto, Grande, El Zamorano y Banderillo. (PEOT 2004).



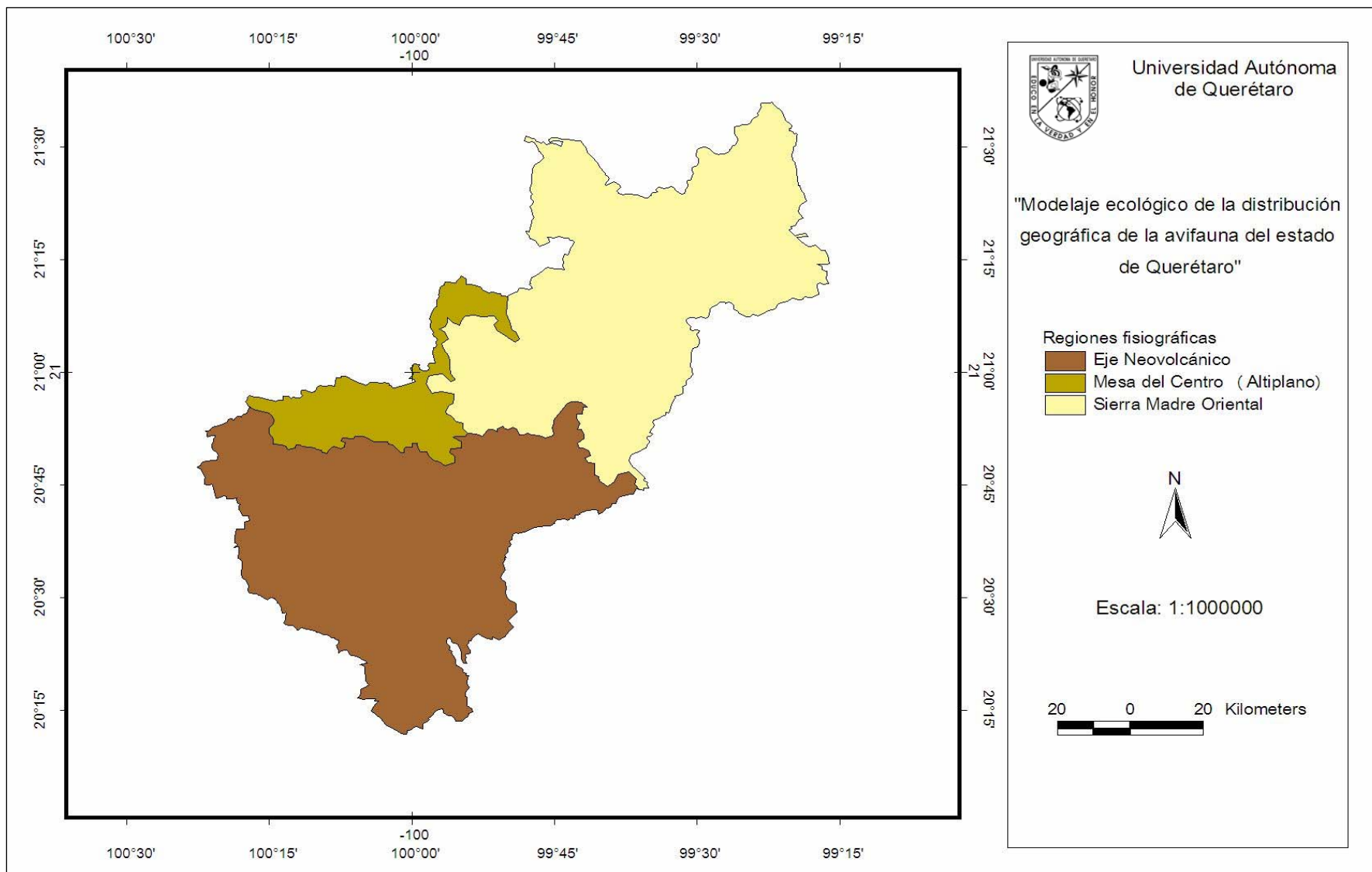


Figura 2. Regiones fisiográficas del estado de Querétaro. Modificada de PEOT (2004).

## **Climas**

El estado de Querétaro presenta tres tipos de climas principales: cálidos y semicálidos en el norte, secos y semisecos en el centro y templados en el sur. Estos climas están condicionados por factores geográficos, principalmente a las diferentes altitudes y por el papel de la barrera orográfica que juega la Sierra Madre Oriental que no permite el paso a vientos húmedos del Golfo hacia el Altiplano. Esto origina climas secos y semisecos al centro de la entidad (Fig. 3; PEOT 2004).

### *Climas templados subhúmedos del sur*

Se presentan en la parte sur del estado, abarcando porciones de los municipios de Amealco y Huimilpan, sobre zonas amplias levemente onduladas e interrumpidas por una serie de montañas cuya altura es mayor a los 2000 msnm. Estos climas son estables en lo que se refiere a temperatura, ya que su régimen térmico medio anual varía de 12° a 18°C y sus precipitaciones más abundantes se registran en verano, sin embargo, a la mitad de esa estación se registra un período seco. El grado de humedad aumenta conforme se avanza hacia al sur, la precipitación anual oscila entre 630 y 860 mm.

### *Climas secos y semisecos del centro*

Se presentan en terrenos rodeados de sierras, mesetas y lomeríos que impiden el paso de los vientos húmedos del Golfo a la Mesa del Centro, que en sus laderas boreales retiene la humedad de los vientos que viajan de norte a sur. La disposición de esas áreas origina un índice bajo de precipitación en la zona y provoca una oscilación térmica de 7° a 14°C, que determina el carácter extremo de esos climas. En esta porción del territorio queretano se presentan algunas variantes climáticas como son:

⇒ Clima semiseco semicálido (BS1hw)

Las áreas donde rige esta variante están situadas en los alrededores de la ciudad de Querétaro, Villa Corregidora, El Marqués, Santa Rosa de Jáuregui, la localidad Paso de Tablas y en la colindancia del municipio de Peñamiller con el estado de

Guanajuato. En estas regiones la temperatura media anual fluctúa de 18° a 19°C, en tanto que la precipitación total anual fluctúa entre 450 y 630 mm.

⇒ Clima semiseco templado (BS<sub>1</sub>kw)

Es el más común, ya que cubre aproximadamente el 39.53% de la superficie estatal, esta variante rige en las poblaciones de Ezequiel Montes, Cadereyta, Tequisquiapan, San Juan del Río y Puerta de En medio. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 16° y los 18°C, la precipitación total anual fluctúa entre 450 y 630 mm.

⇒ Clima seco semicálido (BS<sub>0</sub>hw)

Ocurre principalmente en las poblaciones de Peñamiller y Tolimán. La precipitación total anual va de 370 mm a 470 mm. Es clasificado como un clima extremo porque sus diferencias térmicas (medias mensuales) superan los 7°C.

### Climas cálidos y semicálidos del norte

Prevalecen en la región de la Sierra Madre Oriental, donde hay variaciones de altitud considerables, que aunadas a la humedad atmosférica y a las temperaturas, entre otros factores, favorecen la presencia de fenómenos meteorológicos complejos. De norte a sur se presenta una graduación térmica que va de cálida a fría. Las variantes para esta región del estado son:

⇒ Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (AW0)

Abarcan áreas que pertenecen a los municipios de Arroyo Seco y Jalpan de Serra. Las lluvias en esta zona son de carácter veraniego y presentan precipitaciones anuales que alcanzan 850 mm. El mes más cálido es mayo y el más frío diciembre. Este clima se considera extremo debido a que su oscilación térmica es superior a 7°C.

⇒ Clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano ((A)C)

Con diferentes grados de humedad, comprende parte de los municipios de Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles y Landa de Matamoros. La precipitación total anual fluctúa entre 773 y 1270 mm. La temperatura media anual de esta región es de 18°C.

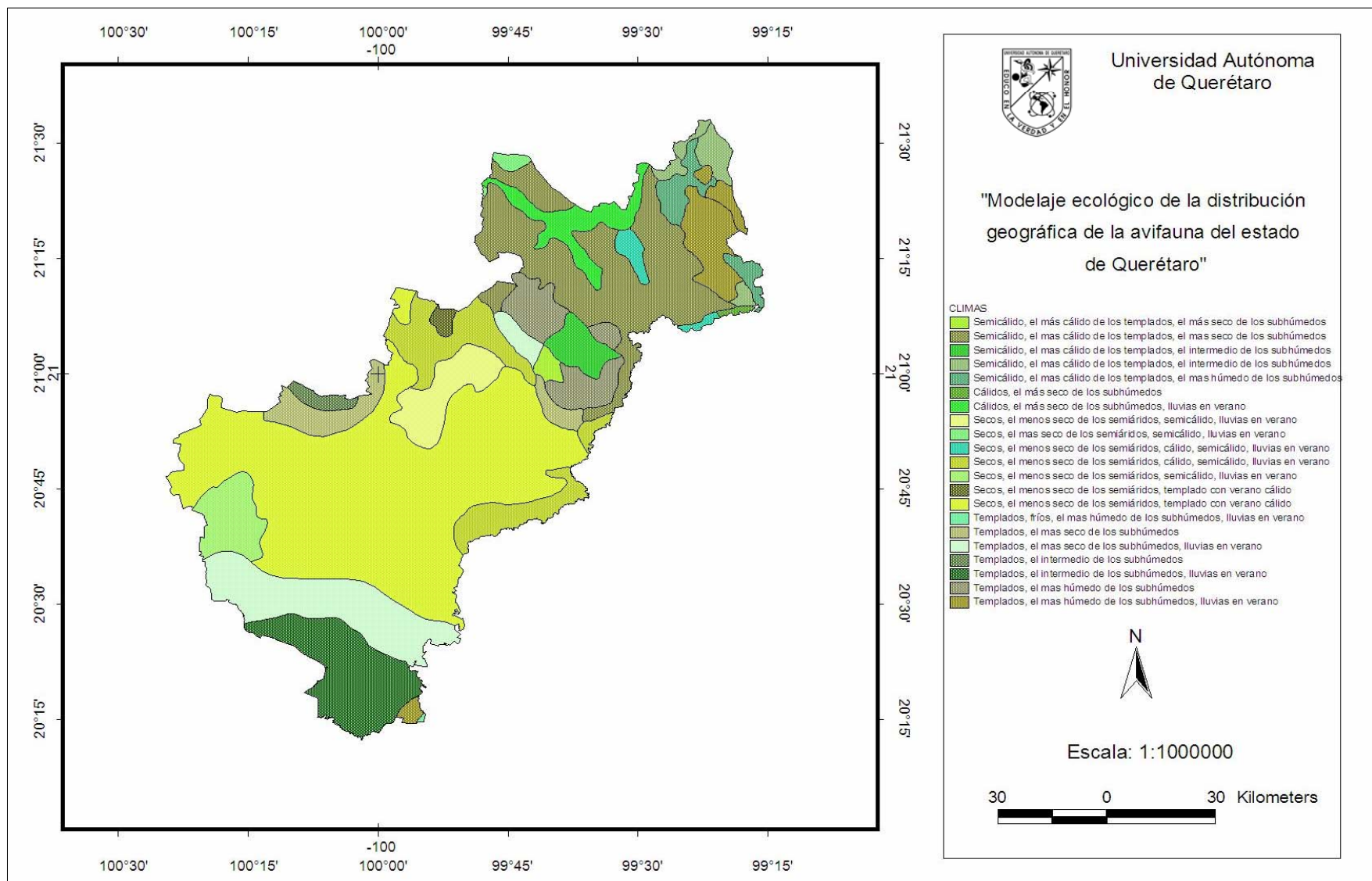


Figura 3. Regiones climáticas presentes en el estado de Querétaro. Modificada de PEOT (2004).

## **Edafología**

En el estado de Querétaro las condiciones de clima, fisiografía y geología han determinado la ocurrencia y abundancia de las siguientes unidades de tipos de suelo: Cambisol (cálcico y crómico); Castañozem (háplico y lúvico); Chernozem (lúvico); Feozem (calcáreo, háplico, lúvico), Fluvisol (eútrico), Litosol, Luvisol (crómico), Planosol (mólico), Rendzina, Regosol (calcárico y eútrico), Vertisol, Yermosol (háplico) (PEOT 2004).

## **Hidrología**

Hidrológicamente el estado de Querétaro forma parte del parteaguas continental, en el cual se presentan dos vertientes, la del Golfo de México, con la región hidrológica No. 26, que lleva por nombre “Río Pánuco” y la región hidrológica No. 12, llamada vertiente el “Río Lerma-Santiago”. El volumen de agua que escurre por estas zonas depende del clima y la topografía; en este aspecto dentro del estado se tienen sierras importantes como la Sierra Gorda, al norte, la cual forma una barrera orográfica que impide el paso de los vientos húmedos del Golfo y que dan como resultado que las lluvias sean escasas en la mayor parte del estado, lo que contribuye al desarrollo de corrientes poco caudalosas. Dentro de las cuencas más importantes en el estado se encuentran la cuenca del Río Querétaro, Río San Juan, Río Moctezuma, Río Estórax y Río Santa María (PEOT 2004).

## **Vegetación**

En el estado de Querétaro se conocen cerca de 5082 especies de plantas, incluyendo a los hongos y considerando a todas las plantas vasculares (PEOT 2004). Considerando los hábitat terrestres se reconocen 13 tipos principales de vegetación, los cuales son producto de la variada situación topográfica y ecológica que se presenta en el estado (Zamudio *et al.* 1992). Estos tipos de vegetación se mencionan a continuación y se aprecian en la figura 4:

### **Bosque tropical caducifolio**

Se encuentra principalmente distribuido hacia las partes bajas de la Sierra Madre Oriental en los municipios de Jalpan, Arroyo Seco, Landa de Matamoros y Pinal de Amoles. Hacia la Altiplanicie, se encuentra en cañadas protegidas, donde forma manchones en los municipios de Querétaro, San Juan del Río y Tequisquiapan. Las especies características en los municipios del Altiplano son: *Bursera fagaroides* (palo xixote), *Celtis caudata* (palo blanco), *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), *Fraxinus rufescens* (fresno), *Ipomoea murucoides* (palo blanco), *Lysiloma microphylla* (palo de arco), entre otras, mientras que en la Sierra Gorda son: *Bursera simaruba*, *Capparis incana*, *Esembeckia berlandieri*, *Lysiloma microphylla*, entre muchas otras (Zamudio *et al.* 1992, Arreguín-Sánchez y Fernández-Nava 2004.).

### **Bosque tropical subcaducifolio**

Ocupa un área muy reducida del municipio de Landa de Matamoros, al este de Agua Zarca y al noreste de Ahuacatlán, en las laderas de los Cerros Xilitlilla y San Antonio. Entre sus especies representantes se encuentran: *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *Aphanante monoica*, *Adelia barbinervis*, *Cedrela odorata* y *Ceiba petandra*, entre otras (Zamudio *et al.* 1992).

### **Bosque mesófilo de montaña**

En Querétaro, este tipo de vegetación se encuentra en la Sierra Madre Oriental, cerca de los límites con San Luis Potosí e Hidalgo, en los cañones del río Tancuilín y otros arroyos vertientes del río Moctezuma y en las cercanías de Agua Zarca, El Humo, Rioverdito, y Neblinas en el municipio de Landa de Matamoros. También se encuentra en la cañada de Las Avispas y áreas aledañas a La Parada, así como a las cañadas del Arroyo Grande cerca de San Pedro Escanela, municipio de Jalpan de Serra. Asimismo, se tienen manchones en las cañadas de Agua Fría y Los Granadillos, así como en el Cerro Pingüica de Pinal de Amoles. Además, existen pequeños relictos de este tipo de vegetación en el municipio de San Joaquín, en la porción inferior de la zona arqueológica de “Las Ranas” (Fernández y Colmenero 1997). Las especies más importantes son: *Liquidambar styraciflua*, *Ulmus mexicana*, *Quercus affinis*, *Quercus*

*germana*, *Cupressus lindleyi* y *Taxus globosa*, entre muchos otros.

### **Bosques de coníferas**

Las comunidades con especies de árboles de coníferas como dominantes en la zona, tienen dos variantes, el bosque de *Juniperus* (cedros blancos) y el bosque de *Pinus*. En la zona se encuentran sólo en la Sierra del Doctor, Cadereyta, entre los 2200 y los 3000 msnm.

#### Bosque de *Abies*

Se ubica entre los 2800 y los 3200 msnm, en laderas pronunciadas, con climas frescos y húmedos en la región más alta del cerro El Zamorano, al norte del municipio de Colón. Este es el único bosque de *Abies religiosa* en Querétaro que se encuentra claramente definido.

#### Bosque de *Cupressus*

Se encuentra ocupando pequeños manchones que cubren aproximadamente 4 km<sup>2</sup> de toda la superficie estatal, entre los 1900 y 2600 msnm. En el municipio de Pinal de Amoles, ocupa parte de las laderas de los Cerros La Calentura y La Pungüica. Igualmente al sur, en los alrededores de El Derramadero.

#### Bosque de *Juniperus* (Bosques de tascate)

Ocupan laderas con pendientes elevadas sobre rocas calizas, alrededor de los 2200 msnm y en climas BS<sub>1</sub> y C(w<sub>0</sub>) (Zamudio *et al.* 1992). Bosques puros de *Juniperus* se encuentran en laderas secas de la sierra El Doctor, Cadereyta, en La Florida, Arroyo Seco y en Tres Lagunas, Landa de Matamoros.

#### Bosque de *Pinus*

Estas comunidades forman dos tipos generales de asociaciones: a) las de bosques de pino con árboles grandes y maderables (*Pinus greggii*, *P. montezumae* y *P. teocote* entre otros) con alturas de entre 15 y 20 m y b) los bosques de pinos piñoneros, más pequeños y con utilidad alimenticia (*Pinus cembroides* y *P. pinceana*). En el primer caso, las comunidades de pinos ocupan laderas con menor pendiente, en elevaciones entre los 2800 y los 3100 msnm, donde se llegan a mezclar con los encinares. Por su parte, el resto de bosques de piñoneros habitan zonas de mayor pendiente, más secas,

entre los 2600 y los 2800 msnm y se asocian estrechamente con los bosques de *Juniperus*.

### **Bosque de *Quercus***

En Querétaro se han encontrado dos tipos de bosques de *Quercus* o encinares, todos asociados con pastizales: a) los que habitan rocas ígneas del Eje Neovolcánico, arriba de los 2200 msnm en los municipios de Tolimán, Colón y Querétaro, Huimilpan y Amealco y; b) los que se encuentran sobre rocas calizas en la Sierra Madre Oriental.

### **Bosque de pino-encino**

Los bosques donde conviven especies de *Pinus* y *Quercus*, representan comunidades de transición entre los bosques de encinos y de coníferas, formando mesas vegetales considerables. Las especies comunes de estos bosques son *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote*, *Quercus mexicana*, *Q. crassifolia*, *Arbutus xalapensis* y *Prunus serotina*.

### **Matorral alto espinoso**

Este tipo de vegetación se distribuye entre los 2050 y los 2150 msnm sobre suelos profundos de aluvión en lugares planos o con poco relieve. Los elementos principales que lo componen son el mezquite (*Prosopis laevigata*), huizaches (*Acacia farnesiana*, *A. schaffneri*) y la uña de gato (*Mimosa biuncifera*). Zamudio *et al.* (1992) señala que dadas las características de este tipo de vegetación, esta comunidad correspondería a un bosque espinoso.

### **Matorral crasicaule**

En Querétaro se encuentra en las regiones centro y sur. Generalmente forman comunidades de árboles y arbustos de 2 a 4 m, donde cerca del 70% de las especies pertenecen a la familia Cactaceae entre las que predominan el nopal hartón (*Opuntia hyptiacantha*), el cardón (*O. streptacantha*), el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), el palo bobo (*Ipomoea murucoides*), el granjeno (*Condalia mexicana*, *C. velutina*). Entre el estrato arbustivo destacan el xonocostle (*Opuntia imbricata*), el maguey (*Agave salmiana*) y la biznaga (*Mammillaria magnimamma*).



### **Matorral esclerófilo (Encinar arbustivo)**

La conforman principalmente especies de encinos arbustivos o árboles pequeños de entre 1 y 5 m de altura como *Quercus depressipes*, *Q. eduardi*, *Q. grisea* y *Q. potosina*. Se desarrollan en zonas secas y cercanas a los 3000 msnm entre climas semisecos y templados (Zamudio *et al.* 1992, Hernández *et al.* 2000).

### **Matorral micrófilo**

Esta comunidad habita en lugares con pendientes no pronunciadas y en zonas de aluvión, pero en los lugares más secos de los que ocuparían los matorrales altos espinosos, con precipitaciones entre los 380 y 470 mm anuales y temperaturas medias anuales entre 18° y 22°C. En el estado este tipo de vegetación únicamente se encuentra hacia el extremo sur de Cadereyta y entre Vizarrón y San Pablo Tolimán. Algunas especies características son *Larrea tridentata*, *Acacia vernicosa*, *Condalia mexicana*, *Fouquieria splendens* y *Prosopis laevigata*.

### **Matorrales rosetófilos**

Habitan lugares con pendientes pronunciadas y sumamente secos por causas climáticas o fisiológicas. Este tipo de vegetación es de los menos extensos en la zona de estudio. Las especies características de este tipo de vegetación son *Agave striata* y *Yuca filifera*, por mencionar algunos. Este tipo de vegetación es de los menos extensos en la zona de estudio.

### **Matorral submontano**

Se encuentran en laderas con pendiente media, asociadas a calizas y lutitas en altitudes entre 2000 y 2200 msnm, bajo la influencia de clima semiseco y semicálido. Este matorral se encuentra en una amplia zona de la Sierra Madre Oriental, sobre laderas occidentales de las sierras y en algunos cañones como los ríos Moctezuma y Estorax, en los alrededores de Peñamiller. Destacan especies como *Celtis pallida*, *Condalia mexicana*, *Acacia berlandieri*, *A. micrantha* y *Myrtilloactus geometrizzans*.

### **Pastizal natural**

En Querétaro se reconocen dos variantes de pastizales naturales: a) el asociado a bosques de encino y b) el que tiene afinidad por los suelos gipsófilos. Los pastizales naturales asociados a encinares se encuentran en lomeríos con pendientes suaves o en valles con suelos compactos y pedregosos en altitudes entre los 2200 y los 3000 msnm. Por otra parte los pastizales gipsófilos se encuentran en cuencas endorreicas asociadas a rocas calizas con suelos alcalinos y precipitación anual entre 400 y 500 mm, en los alrededores de Vizarrón y de Bernal. Las especies más comunes son: *Bouteloua hirsuta*, *Eragrostis intermedia*, *Muhlenbergia rigida* y *Bromus* sp., entre otras.

### **Vegetación acuática**

Los tipos de vegetación acuática que se desarrollan en Querétaro son el bosque de galería, tulares, carrizales, vegetación flotante, vegetación sumergida y vegetación subacuática. La gran mayoría de estas asociaciones vegetales, se desarrollan en los ríos Querétaro, Moctezuma, Escanela, Ayutla, Concá, Estorax, el arroyo Zamorano, arroyo Colón, entre otros; o bien, en los alrededores de las presas y charcos temporales o bordos (PEOT 2004).

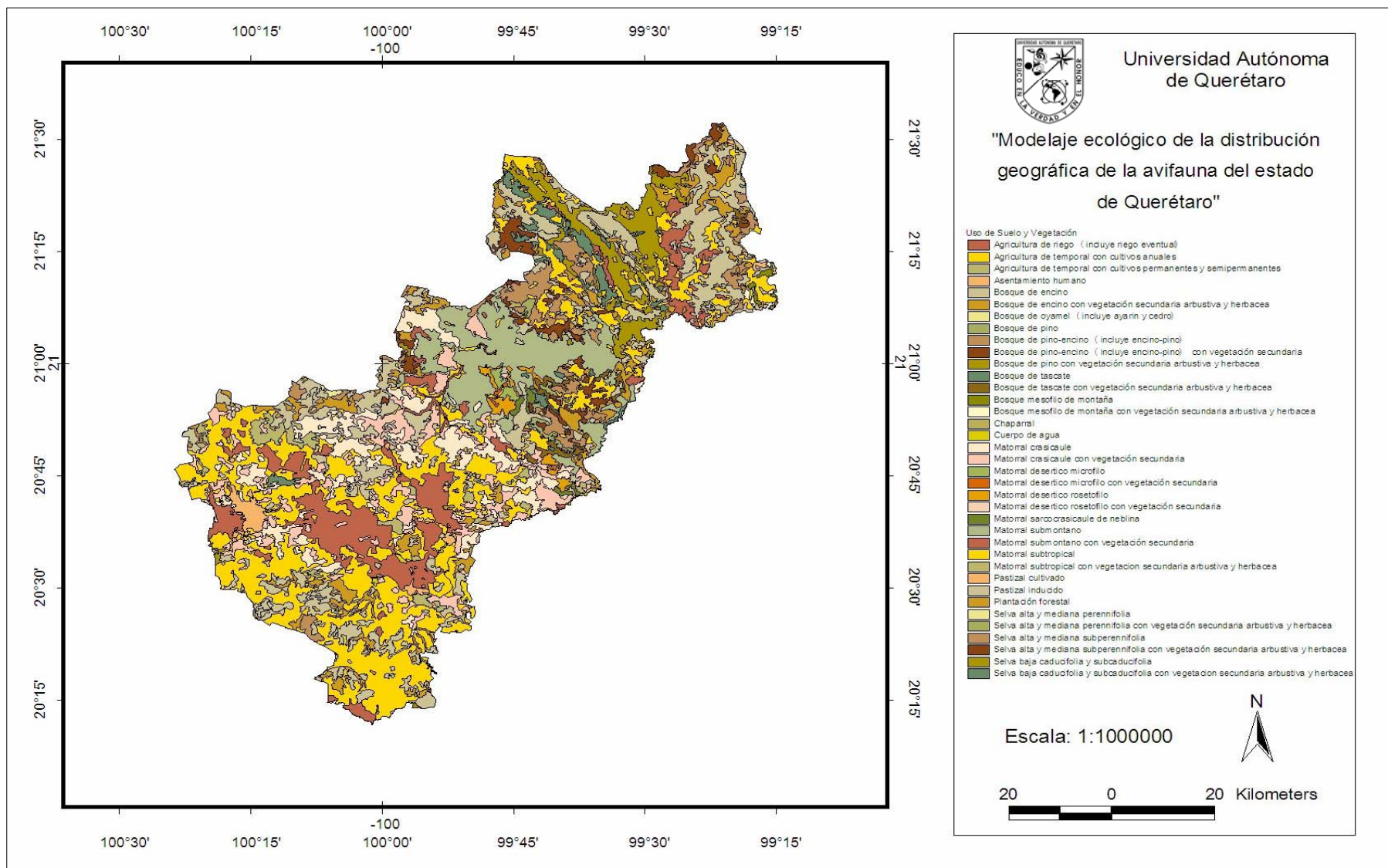


Figura 4. Tipos de vegetación del estado de Querétaro. Modificada de PEOT (2004).

## V. MÉTODOS

### ***Obtención de información puntual***

El inicio de este trabajo consistió en la recopilación de datos de distribución a partir de tres fuentes principales de información: 1) la consulta bibliográfica con base en Rodríguez-Yáñez *et al.* (1994) y otros trabajos recientes referentes a la avifauna del estado (e. g. Jiménez-Espinosa 2001, Gutiérrez-Pérez 2002); 2) por medio de la consulta del Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* 2003a), el cual posee registros de distribución puntuales de diferentes colecciones científicas de México, Estados Unidos, Canadá y Europa (Apéndice 3); y 3) de trabajo de campo, principalmente en aquellos sitios donde existen huecos considerables en cuanto al esfuerzo de colecta (p. ej. algunas zonas del Eje Neovolcánico). Además se obtuvo información inédita de trabajo de campo realizado recientemente por personal de la Universidad Autónoma de Querétaro (Pineda-López y Arellano-Sanaphre, datos no publicados).

Toda esta información fue conjuntada e incorporada a una base de datos en Microsoft Access 2000 (Microsoft 1999). A partir de ésta, se conoció el número total de especies, que de acuerdo a las fuentes de información utilizadas, su presencia en Querétaro se considera confiable. Se obtuvo información sobre la distribución de cada registro, para los cuales se incorporaron datos como: nombre de la especie (AOU 1998, Navarro y Peterson 2004), localidad de colecta, coordenadas geográficas, fecha de colecta, nombre del colector, fuente de datos (museo, literatura o registro de campo), estacionalidad (Howell y Webb 1995), endemismo (Navarro y Benítez 1993, AOU 1998, González-García y Gómez de Silva 2003) y especies en riesgo (NOM 059 ECOL-2001, BirdLife 2000). La nomenclatura y el arreglo sistemático utilizado en este trabajo sigue lo propuesto por la AOU (1998).

Adicionalmente se integró una lista de especies hipotéticas para el estado (Apéndice 2), las cuales de acuerdo con los mapas de Howell y Webb (1995) podrían encontrarse en Querétaro, sin embargo, por falta de evidencias claras que respalden su presencia no han sido consideradas en la lista de especies confirmadas. Asimismo, se consideró dentro de esta lista aquellas especies que se distribuyen muy cerca del área

de estudio según los mapas de distribución de los autores referidos anteriormente, o bien, aquellas que han sido reportadas en la literatura en estados adyacentes (San Luis Potosí, Hidalgo), y bajo condiciones ambientales similares a las prevalecientes en algunas zonas de Querétaro.

### ***Trabajo de campo***

Se llevaron a cabo ocho salidas de campo con la finalidad de recopilar información en algunas zonas del estado poco muestreadas. El trabajo de campo se efectuó entre febrero-agosto del 2005 en 12 localidades pertenecientes a cinco municipios (Cuadro 1). Se procuró tener localidades de muestreo representativas de las tres regiones fisiográficas del estado (Eje Neovolcánico, Mesa Central y Sierra Madre Oriental).

Los registros de las especies se obtuvieron principalmente por medio de observaciones, apoyados con binoculares (7 x 35 y 10 x 40) y guías de campo (Peterson y Chalif 1989, Howell y Webb 1995, National Geographic Society 1999). Asimismo, se utilizó una cámara digital integrada EOS 1 con un lente sigma de 170-500 mm, la cual ayudó a obtener una evidencia más confiable de los registros. Ocasionalmente, se realizaron recolectas de ejemplares con el uso de redes de niebla de 6 a 9 metros de longitud, y algunos ejemplares fueron preparados en piel (*e. g.* *Empidonax sps*, y algunas especies de gorriones), debido a que su identificación correcta requiere de literatura especializada o de comparación con ejemplares de colección. Estos ejemplares se encuentran en la colección de aves (en formación) de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro. Todos los registros fueron georreferidos con la ayuda de un geoposicionador portátil (GPS, Garmin 12XL).

Cuadro 1. Localidades de muestreo efectuado en este trabajo en el estado de Querétaro.

Localidad	Municipio	Región Fisiográfica	Vegetación	Coordenadas geográficas
Laguna de Servín	Amealco	ENV	BE	20°15'33.6"N; 100°14'31.1"W
La Beata	Amealco	ENV	BE	20°18'47.8"N; 100°14'9.3"W
San Martín	Amealco	ENV	BE-CA	20°15'3.4"N; 100° 9' 4.9"W
Presa del Carmen	El Marqués	ENV	BTC	20° 49.080'N; 100°18.433'W
Las Palmas	El Marqués	ENV	ME	20°41'50"N; 100°04'55"W
El Derramadero	Tolimán	MC	BE	21°00'05"N; 100°01'15"W
La Tinaja	Cadereyta	SMO	ME	20°53.604'N; 99°41.553'W
Valle Verde	Jalpan de Serra	SMO	HF	21°30.93'N; 99°10.387'W
El Pocito	Jalpan de Serra	SMO	BTS	21°33.459'N; 99°11.691'W
Rancho Nuevo	Jalpan de Serra	SMO	BTS	21°36.966'N; 99°10'36"W
San Juan de los Durán	Jalpan de Serra	SMO	BJP	21°32.098'N; 99°10.119'W
El Pilón	Jalpan de Serra	SMO	BTS	21°29.812'N; 99°10.129'W

**Región Fisográfica:** ENV: Eje Neovolcánico, MC: Mesa Central, SMO: Sierra Madre Oriental.  
**Vegetación:** BE: bosque de encino, CA: cuerpo de agua, BTC: bosque tropical caducifolio, HF: huertos frutales, BTS: bosque tropical subcaducifolio, BJP: bosque de *Juniperus*-pino.

### **Estacionalidad**

Para conocer el comportamiento estacional de las especies a lo largo del estado, se llevó a cabo una revisión de las fechas de registro provenientes del Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* 2003a), de los datos obtenidos en campo (observación y/o colecta) y con base en lo propuesto por Howell y Webb (1995).

Las categorías estacionales que se utilizaron son: residentes (especies que se encuentran durante todo el año), migratorias de invierno (especies que arriban principalmente durante el otoño y se establecen en la temporada invernal), migratorias de verano (especies presentes durante el verano), transitorias (especies que sólo utilizan el estado como parte de su ruta de migración, generalmente en las migraciones de primavera y/o otoño) y accidentales (especies registradas fuera de su área normal de distribución). Cuando existieron casos de especies con poblaciones en dos categorías estacionales dentro del estado, se procedió a dejar ambas.

### ***Modelos de acumulación***

Para evaluar el grado de conocimiento de la avifauna queretana, se graficó la acumulación de especies a través del tiempo tomando como esfuerzo de muestreo todos los años en los que se han efectuado recolectas y/o observaciones (Soberón y Llorente 1993, Llorente *et al.* 1994). Para facilitar el manejo de la información, el análisis se hizo agrupando en décadas los años de muestreo.

Debido a que el esfuerzo de muestreo no ha sido homogéneo a través del tiempo, es difícil obtener un dato estadístico confiable sobre el número estimado de especies presentes en el área de estudio. Es por esta razón que se utilizaron tres estimadores de riqueza no paramétricos basados en incidencia (Chao<sup>2</sup>, Jackknife<sup>2</sup> y Bootstrap), para verificar y contrastar las estimaciones sugeridas por los modelos. Estos estimadores sólo toman en cuenta la presencia de la especie y cuantas veces ésta se encuentra en el conjunto de muestras (Hortal *et al.* 2006), a partir de esta información estos modelos suponen que entre más especies raras haya en las muestras mayor será el número de especies por descubrir (Jiménez-Valverde y Hortal 2003). El análisis se realizó con ayuda del programa Estimates v. 7.0 (Colwell 2004).

### ***Modelaje distribucional con GARP***

Para la obtención de los mapas de distribución potencial de cada una de las especies de aves se utilizó el GARP (<http://www.beta.lifemapper.org/desktopgarp>). Este programa utiliza coberturas geográficas las cuales representan los parámetros ambientales que limitan la supervivencia de la especie, así como los registros de ocurrencia de éstas.

Como se ha venido mencionando, GARP utiliza sólo los registros puntuales de distribución. Por ello, en la base de datos que se generó dentro del programa Access (Microsoft 1999), se llevó a cabo una consulta que contuviera sólo los campos de especie, longitud y latitud (en grados decimales), la cual después se transformó en una tabla para su mejor manejo. Posteriormente, para evitar registros redundantes de nula utilidad para los análisis de distribución, sólo se usaron registros únicos por localidad. Una vez que se depuró esta base, se exportó y transformó en formato Dbase III para su

visualización en el programa Arc View v. 3.2 (ESRI 2000). Esto permitió comprobar que todos los registros estuvieran bien georeferidos.

Esta nueva tabla con los registros únicos por localidad, fue exportada al formato Excel (Microsoft 1999), y a partir de ella, se generaron tablas más pequeñas de aproximadamente 15 especies cada una (en orden de mayor a menor número de registros), las cuales fueron utilizadas para un manejo más fácil al momento de importarlas a la interfase de GARP (Desktop Garp) para el modelaje. Las coberturas geográficas empleadas para la generación de los modelos abarcaron variables ambientales relacionadas con la disposición del terreno, tomadas del U. S. Geological Survey (USGS, <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro>) y variables climáticas tomadas del Worldclim 1.3 (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>), en formato grid y con una resolución espacial (tamaño de celda) de  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$  (aproximadamente 1 x 1 km; Cuadro 2).

El polígono de la división política estatal de México, así como todas las coberturas en formato *grid* utilizadas en la generación de los modelos se proyectaron en la vista del Arc View v. 3.2 (ESRI 2000). Se realizó un acercamiento al estado de Querétaro y se marcó un recuadro de aproximadamente 50 km a partir de sus límites, abarcando todo el estado y algunas otras áreas de los estados vecinos. Esto se hizo con la finalidad de apreciar la influencia de las regiones biogeográficas en las predicciones hechas por los modelos, y de esta manera no restringir las predicciones sólo al estado. Luego se recortó dicho cuadro con la extensión “GarpDatasets”.

Se obtuvieron los recortes de las coberturas geográficas en formato ASCII. Una vez listas estas coberturas, se utilizó el “Dataset Manager”, la cual es una herramienta que convierte las coberturas geográficas (datasets) y crea metadatos que son usados posteriormente por el “Desktop Garp”.

Debido a que algunas especies contenían una gran cantidad de datos y otras no, los parámetros para correr los modelos de acuerdo al número de registros se dividieron en dos grupos. Uno para las especies con más de 10 registros, y otro para aquellas especies con menos de 10 registros. Estos parámetros para la generación de los modelos están basados en lo propuesto por Anderson *et al.* (2003). Cabe resaltar que se procuró modelar a todas las especies independientemente del número de registros.



Sin embargo, aquellas que presentaron un sólo registro o algunas que contenían dos registros muy separados entre sí (p. ej. desde el extremo norte al sur del estado) no fueron incluidas en los análisis, pues en la mayoría de los casos se predijo un sólo pixel exactamente sobre el punto de colecta.

Dentro del Desktop Garp, se especificó al programa que produjera 100 modelos por cada especie y a partir de éstos con la opción “best subset” se seleccionaron los mejores modelos que cubrieran las siguientes condiciones: (1) el 20% de los modelos en los que los errores de omisión (es decir, predecir ausencia de la especie, cuando en realidad está presente) fueran mínimos) y, (2) de ese 20% de modelos, se seleccionaron los diez que estuvieran más cercanos a la mediana del porcentaje del área predicha con respecto al total del área de estudio; este criterio ha probado ser el más adecuado para ponderar el criterio de omisión (subpredicción) o comisión (sobrepredicción; Anderson *et al.* 2003).

Cuadro 2. Coberturas geográficas utilizadas para la generación de los modelos de distribución (Hijmans *et al.* 2004, Hydro 1k).

- 
1. Modelo digital de elevación
  2. Pendiente
  3. Índice topográfico
  4. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
  5. Isotermalidad (°C) (Cociente entre parámetros 2 y 7)
  6. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
  7. Temperatura máxima promedio del período más cálido (°C)
  8. Temperatura mínima promedio del período más frío (°C)
  9. Temperatura promedio del cuatrimestre del año más lluvioso (°C)
  10. Temperatura promedio del cuatrimestre del año más seco (°C)
  11. Precipitación del período más lluvioso (mm)
  12. Precipitación del período más seco (mm)
  13. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
  14. Precipitación del cuatrimestre del año más cálido (mm)
  15. Precipitación del cuatrimestre del año más frío (mm)
-

Una vez que se obtuvieron los 10 mejores modelos, éstos se sumaron mediante la función de “map calculator” presente en Arc View v. 3.2 (ESRI 2000) para obtener un mapa final que indica el consenso de los modelos. Este mapa final, contiene valores de 0 a 10, en donde los valores de 0 indican las áreas donde todos los modelos predijeron ausencia, mientras que valores de 10 indican que todos los modelos predijeron la presencia de la especie en esas áreas. Para el presente estudio, se tomó como criterio para la obtención del mapa final aquellas áreas que se sobrelaparan en 8 de los 10 modelos, con lo cual se obtuvo el 80% de predictibilidad (Fig. 5). Esto se llevó a cabo con el objeto de reducir una posible sobrepredicción del programa. Asimismo, este criterio también fue usado debido a que cuando se calcula el 100% de predictibilidad se pueden cometer errores de omisión, por lo que con el porcentaje obtenido (80%) se logró representar la totalidad de los puntos de presencia conocida. Este criterio ha sido utilizado en otros trabajos arrojando buenos resultados (*e. g.* Ríos-Muñoz 2002, 2006; Liebig-Fossas 2004). Finalmente, los mapas obtenidos por especie fueron utilizados para realizar sobreposiciones con los mapas de las demás especies y generar así mapas de riqueza, endemismo y de especies en alguna categoría de riesgo.

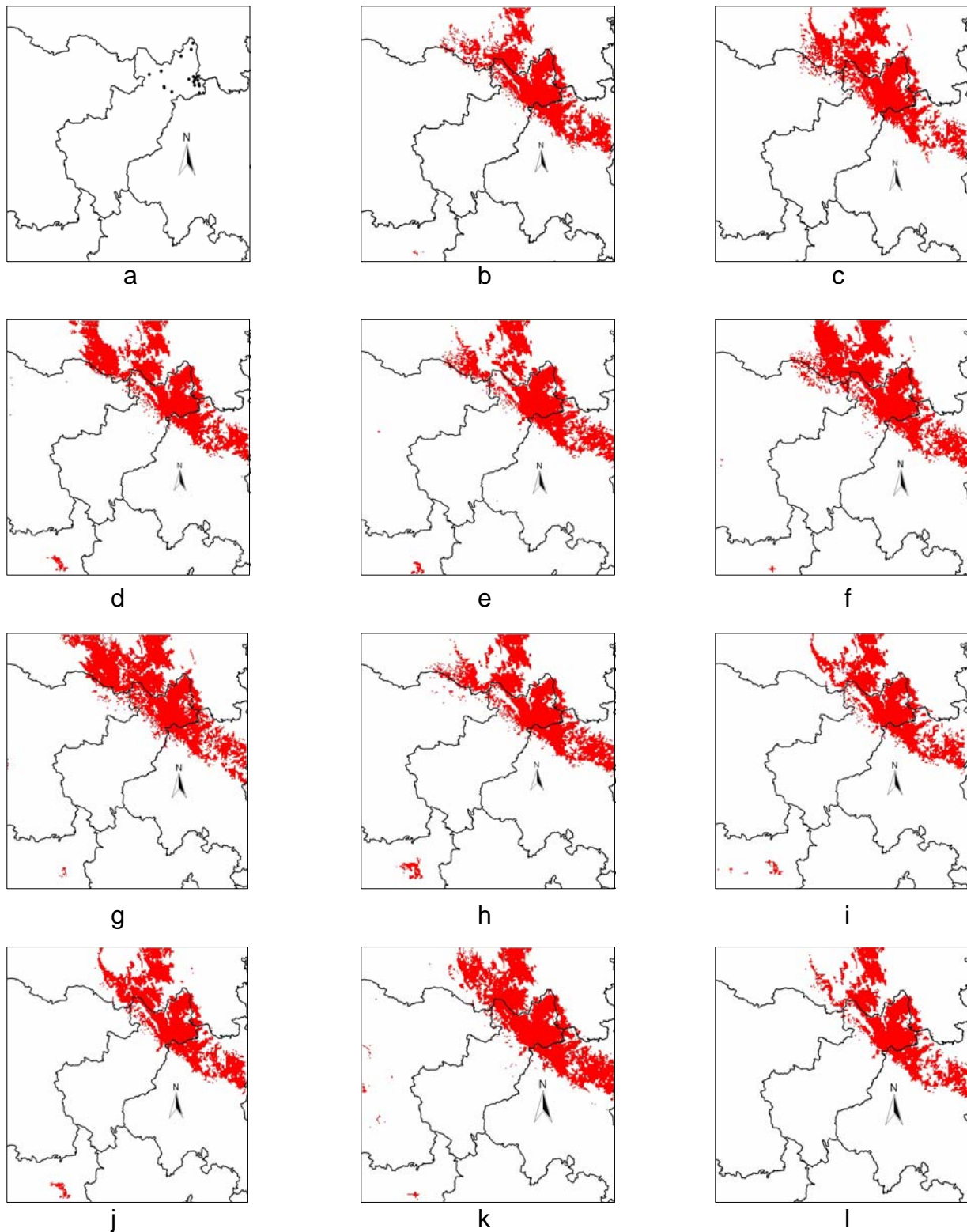


Figura 5. Ejemplo del procedimiento seguido para la obtención de los mapas únicos por especie con GARP (ej. *Sittasomus griseicapillus*). a) Registros de ocurrencia usados para la generación de los modelos. b-k) Los 10 mejores modelos obtenidos. l) Mapa final que muestra el consenso de las áreas o píxeles que se repitieron en 8 de los 10 mapas (80% de predictibilidad).

### **Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE)**

El método para la ejecución del análisis de parsimonia de endemismos en este trabajo se basó en lo propuesto por Morrone (1994), en donde se utilizan las distribuciones de los taxones en una cuadrícula sobrepuesta al área de estudio, donde los cuadrantes equivalen a unidades operacionales de estudio (Crisci *et al.* 2000).

Para este análisis, el estado de Querétaro se dividió en cuadrículas de 8' de latitud por 8' de longitud utilizando la extensión ET VectorGrid dentro del SIG ArcView v. 3.2 (ESRI 2000). El criterio principal de esta división se debió principalmente al tamaño relativamente pequeño de Querétaro, además del número de registros totales con que se contaron para el área de estudio. Cabe mencionar que el análisis se llevó a cabo con cuadrículas de diferentes tamaños (5' x 5' y 10' x 10'), sin embargo, con éstas se obtuvo menos resolución en los análisis efectuados.

Para poder obtener la mejor hipótesis de regionalización y contrastar los análisis, se llevaron a cabo dos análisis de parsimonia de endemismos, uno utilizando sólo los datos puntuales de registro para cada una de las cuadrículas, en el cual se usó una gradilla sobrepuesta únicamente al estado de Querétaro, arrojando un total de 86 cuadrículas (Fig. 6). El otro análisis se llevó a cabo utilizando los datos de la distribución potencial generada por GARP. Para esto, se utilizó una gradilla que abarcó un área buffer con una equidistancia de 50 km alrededor de Querétaro (Fig. 7), arrojando un total de 267 cuadrículas, las cuales fueron utilizadas para identificar la influencia de otras regiones en la regionalización del estado.

En ambos casos sólo se utilizó a las especies residentes, dejando fuera del análisis a las especies migratorias y acuáticas, debido a que su distribución presumiblemente obedece a otros factores y no propiamente a los históricos en comparación con las residentes, oscureciendo de esta manera los eventos histórico-biogeográficos (Zink y Hackett 1986).

El procedimiento seguido para efectuar el análisis fue primeramente construir dos matrices de presencia-ausencia de especies en cada cuadrícula, una para los datos puntuales y otra para los potenciales; considerando la presencia de cada especie en aquellos cuadrantes donde existió al menos una localidad de registro (puntual) y en aquellos cuadrantes donde existió un área predicha (potencial). Se codificó con "1" si la





la Biosfera Sierra Gorda, RBSG; <http://www.conanp.gob.mx>). Cabe resaltar que tanto las zonas núcleo y las zonas de amortiguamiento fueron utilizadas para los análisis, debido a que toda el área de la RBSG fue analizada con las AICAs, por lo que resultaba redundante incluirla nuevamente en los análisis de las ANPs.

Lo anterior, se hizo con la finalidad de comparar los mapas de distribución obtenidos por el modelo, con aquellas áreas que se han establecido para protección y conservación, y así determinar qué porcentaje de la riqueza total de especies, endémicas y en categoría de riesgo se interseca con estas zonas. De este modo, se evaluó la propuesta de protección sobre los recursos naturales y particularmente sobre las aves de estas áreas.

## VI. RESULTADOS

### ***Análisis de las fuentes de información.***

Se obtuvo una base de datos de 5904 registros de aves de Querétaro, sin embargo, al depurar esta base sólo quedaron un total de 2906 registros únicos con su respectiva localidad debidamente georreferida (una sola combinación de especies/localidad). El número de localidades únicas de registro para la avifauna de Querétaro fue de 314. En la figura 8 se muestra el patrón de recolecta y/u observación de las aves del estado. Es notorio que el esfuerzo de muestreo ha estado típicamente concentrado en zonas muy cercanas a las principales vías de comunicación, aunque existen áreas principalmente dentro de la Sierra Madre Oriental que han sido bien muestreadas, particularmente al noreste de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, mostrándose vacíos importantes hacia el sur, correspondientes al Eje Neovolcánico.

La mayor parte de los registros obtenidos provinieron del Atlas de las aves de México (Navarro *et al.* 2003a), los cuales representaron aproximadamente el 73.4% del total de registros (ver Apéndice 3). El 26.6% restante de los datos fueron obtenidos del trabajo de campo y de los registros bibliográficos. La colección que contiene un mayor número de ejemplares de aves de Querétaro es el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM. Dicha colección cuenta con poco más de 800 ejemplares, de 187 especies, producto de investigaciones efectuadas principalmente en las décadas de 1980 y 1990 (Navarro *et al.* 1991, Navarro *et al.* 1993, Rojas-Soto *et al.* 2001, López de Aquino 2003, Sahagún-Sánchez 2003). Algunas otras colecciones extranjeras poseen también un buen número de ejemplares, tal es el caso de la colección del Moore Laboratory of Zoology con 436 ejemplares de 61 especies y la Texas Cooperative Wildlife Collections con 432 ejemplares de 103 especies.

En la figura 9a, se muestra la distribución del número de registros totales por localidad única. Se destaca que las regiones con mayor número de registros están concentradas principalmente al noreste y centro del estado, aunque una localidad en el sur, correspondiente al Eje Neovolcánico, presenta un elevado número de ejemplares. La figura 9b, ilustra la riqueza de especies por localidad. De acuerdo con este mapa, se observa que el número de especies a lo largo del estado es muy variable, ya que



existen áreas de poca riqueza intercaladas con áreas de riqueza alta. Las localidades con bajo número de especies corresponden principalmente a estudios avifaunísticos cuyo esfuerzo de muestreo ha sido muy pobre, o bien, a localidades en las que eventualmente se han registrado algunas especies. En ambas figuras (9 a y b), se observa que algunas localidades no muestran una correspondencia entre la riqueza de especies y el número de registros o ejemplares.

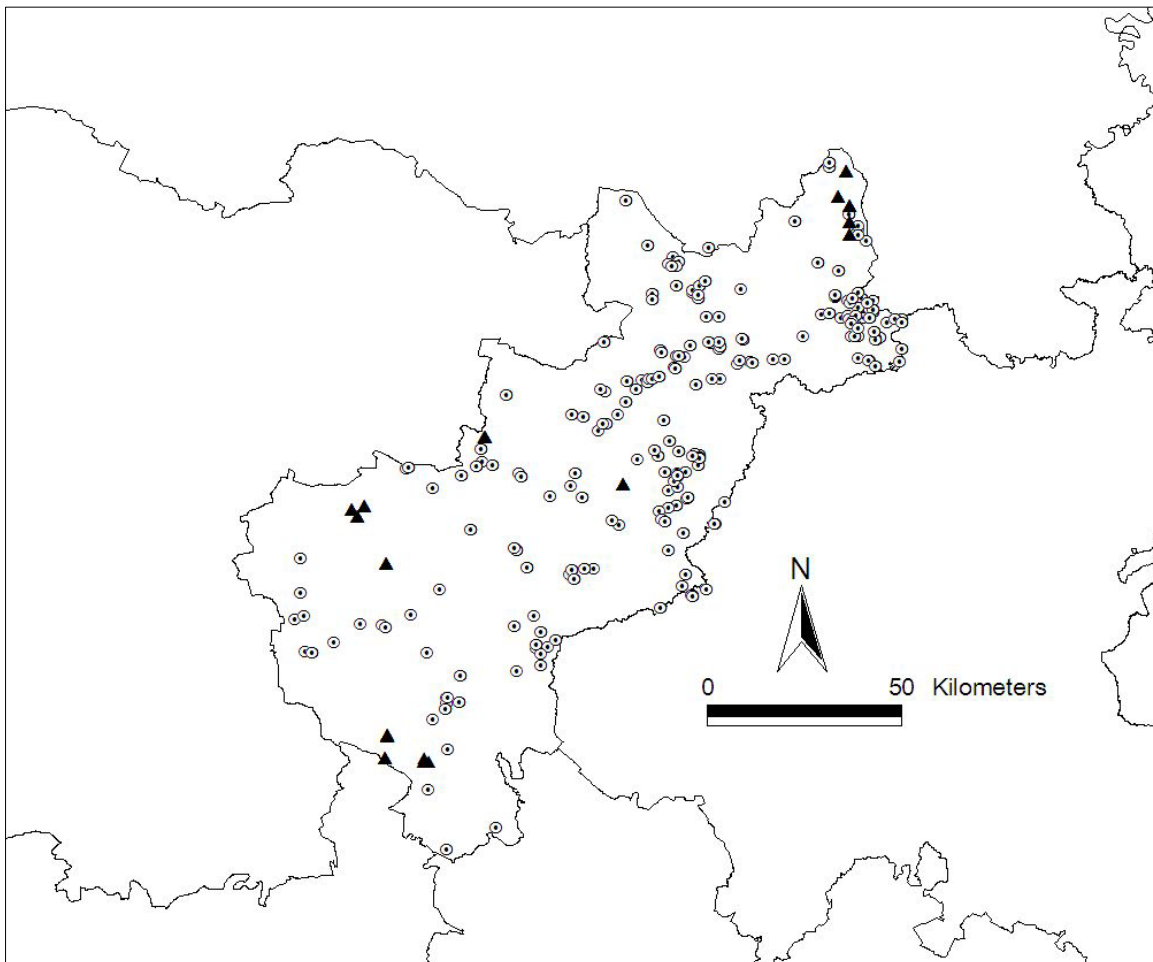


Figura 8. Localidades únicas de registro de las aves de Querétaro. Los triángulos negros representan las localidades de muestreo desarrolladas en este trabajo.

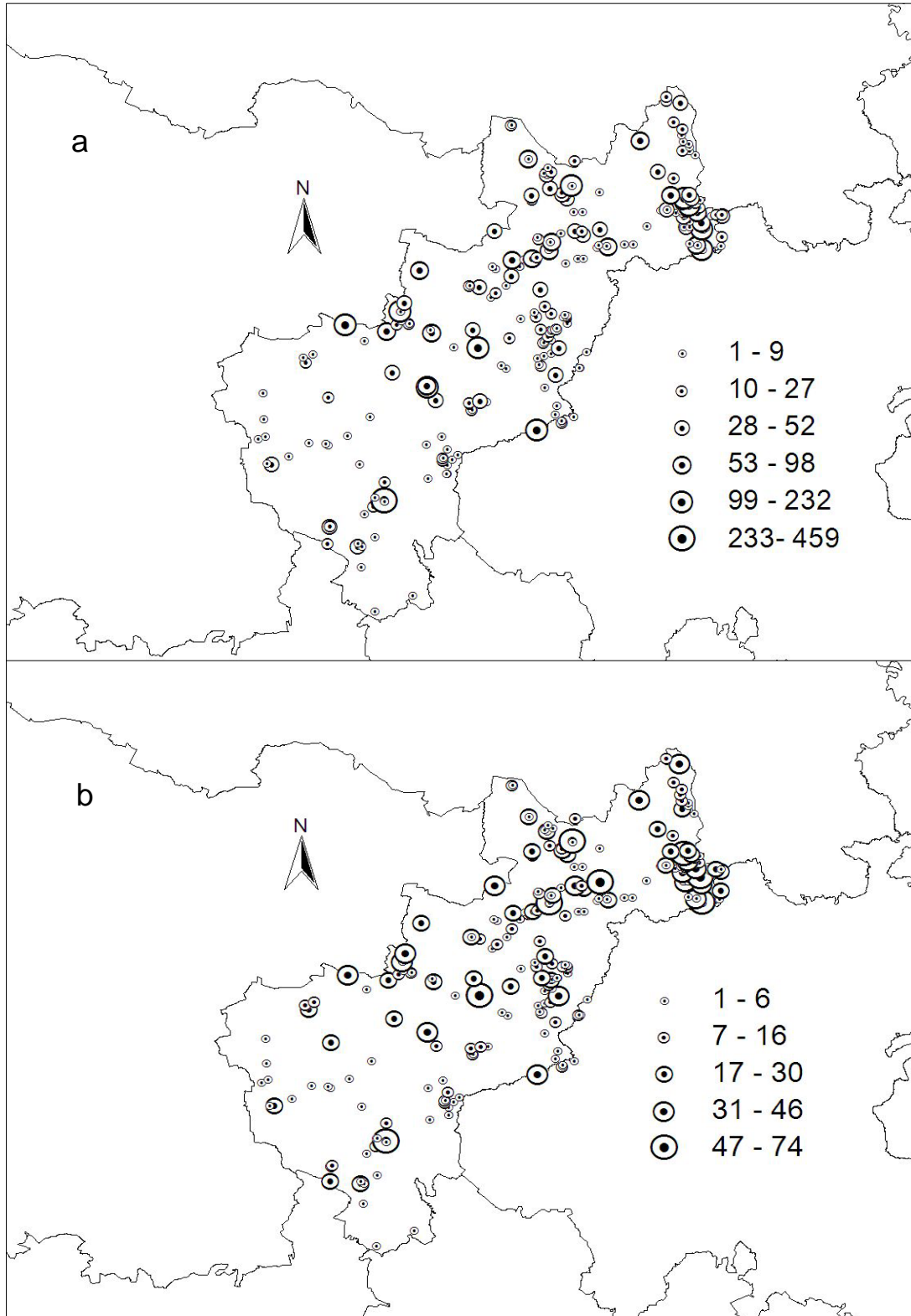


Figura 9. Distribución geográfica del muestreo de aves en Querétaro. a) Distribución del número de registros totales por localidad puntual. b) Riqueza de especies por localidad puntual.

## ***Composición de la avifauna del estado de Querétaro***

Fueron registradas un total de 362 especies de aves en Querétaro, correspondientes a 22 órdenes, 62 familias y 225 géneros (de acuerdo con la taxonomía de AOU 1998; ver Apéndice 1). Esta riqueza representa el 34.1% de la avifauna registrada a nivel nacional (Navarro y Benítez 1993).

La composición estacional de la avifauna en el área de estudio está comprendida por 249 especies residentes que significa el 68.7% del total de especies registradas, 73 (20.1%) migratorias de invierno, 24 (6.6%) transitorias, seis (1.6%) migratorias de verano y una (0.2%) accidental. Además, nueve especies poseen dos categorías estacionales, es decir, especies que están compuestas por poblaciones que poseen un estatus estacional distinto en la región (Fig. 10, Apéndice 1).

Del total de especies registradas, 18 especies son endémicas y 15 resultaron ser cuasiendémicas a México (Apéndice 1). Esto significa que el 9.14% de la riqueza de aves registradas en este estudio es de carácter endémico, además de que esta riqueza de especies endémicas registradas en Querétaro representan el 32.67% del endemismo a nivel nacional (Navarro y Benítez 1993, AOU 1998, González-García y Gómez de Silva 2003).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059-2001 (DOF 2002), un total de 38 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo (10.5% del total de especies registradas), 22 de las cuales están sujetas a protección especial, 11 amenazadas y cinco en peligro de extinción. Por otro lado, de acuerdo con BirdLife (2001) seis especies se encuentran en riesgo, de las cuales una está en peligro, tres casi amenazadas y dos vulnerables (ver Apéndice 1).

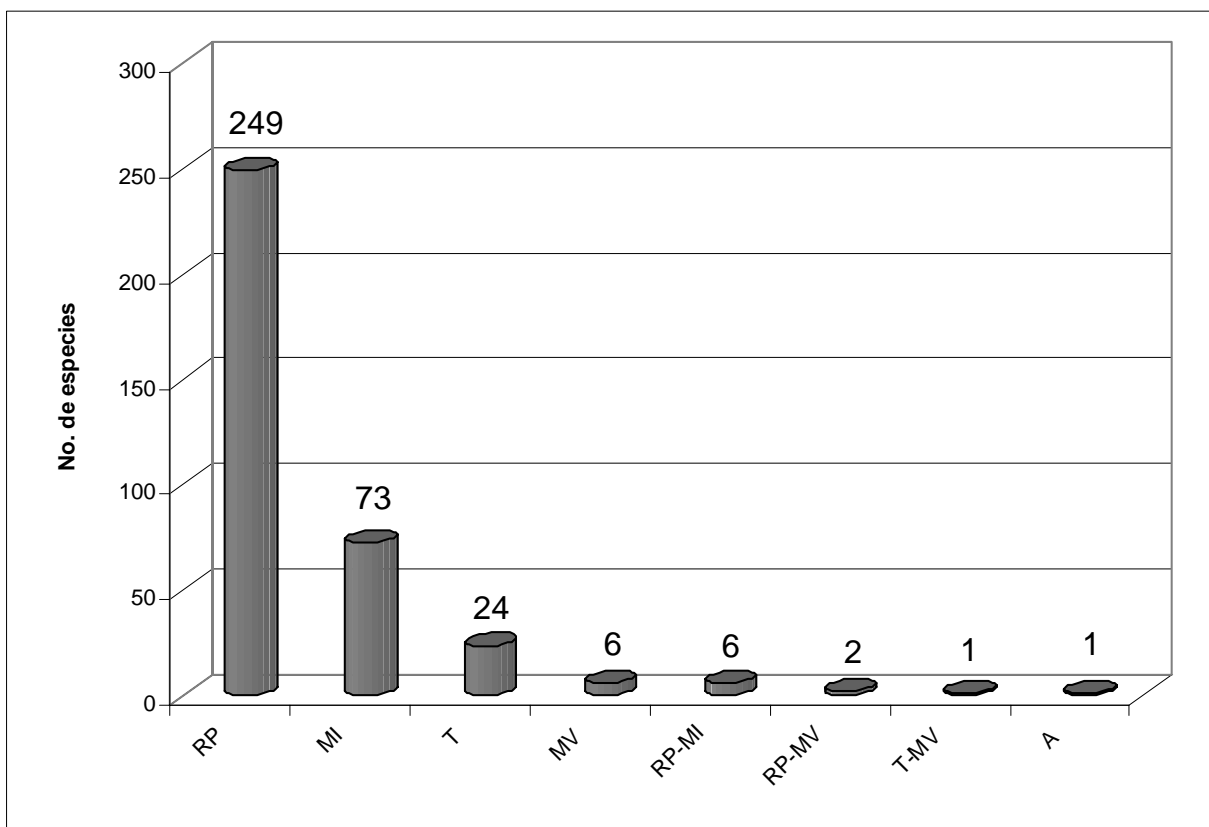


Figura 10. Riqueza estacional de la avifauna del estado de Querétaro. RP, residente permanente; MI, migratorio de invierno; T, transitorio; MV, migratorio de verano; A, accidental.

Una lista hipotética de 97 especies de muy probable ocurrencia en Querétaro fue conformada para la región (ver Apéndice 2), pues su distribución está mapeada dentro del estado por Howell y Webb (1995) o abarca localidades cercanas al área de estudio. Estas especies incrementarían de manera muy notable la riqueza de aves en Querétaro, pero su presencia debe ser confirmada. Al parecer, estos números pueden resultar muy elevados para un estado relativamente pequeño, pero con una gran diversidad topográfica y ecológica.

Durante el trabajo de campo efectuado en algunas localidades en este estudio se obtuvieron siete nuevos registros para el estado (Pineda-López *et al.* en prep.), tres en la región del Eje Neovolcánico (*Plegadis chihi*, *Aphelocoma californica*, *Oriturus superciliosus*) y cuatro en la Sierra Madre Oriental (*Amazona autumnalis*, *Trogon collaris*, *Dendroica fusca* y *Cyanocompsa parellina*). Estos registros fueron obtenidos de

manera visual, aunque existen evidencias fotográficas que respaldan su presencia en Querétaro, pues en algunas regiones como la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, las labores de colecta científica desafortunadamente no están permitidas.

Es claro que el número de nuevos registros de aves para el estado se ha incrementado de manera exponencial en épocas recientes, pues el interés sobre la avifauna estatal ha ido en aumento en los últimos años. Se observa de manera muy notable (Fig. 11) que existe un incremento importante del número de especies a partir de los años 50's, producto de expediciones por parte de investigadores principalmente extranjeros (Goldman 1951, Friedmann *et al.* 1950, Miller *et al.* 1957), así como en los últimos 10 años; cuyos estudios fueron desarrollados por investigadores mexicanos que han acentuado el conocimiento de las aves del estado y por consiguiente del país (Navarro *et al.* 1993, Rojas-Soto *et al.* 2001, López de Aquino 2003, Pineda-López *et al.* en prep).

El estimador de Bootstrap sugiere un total de 403 especies, Jackknife<sup>2</sup> 480 y Chao<sup>2</sup> 490. Algo que es notable en la gráfica (Fig. 11), es que el conocimiento de la avifauna del estado de Querétaro aún dista mucho de estar completo, pues la tendencia de la curva de cada modelo utilizado no muestra el comportamiento asintótico esperado.

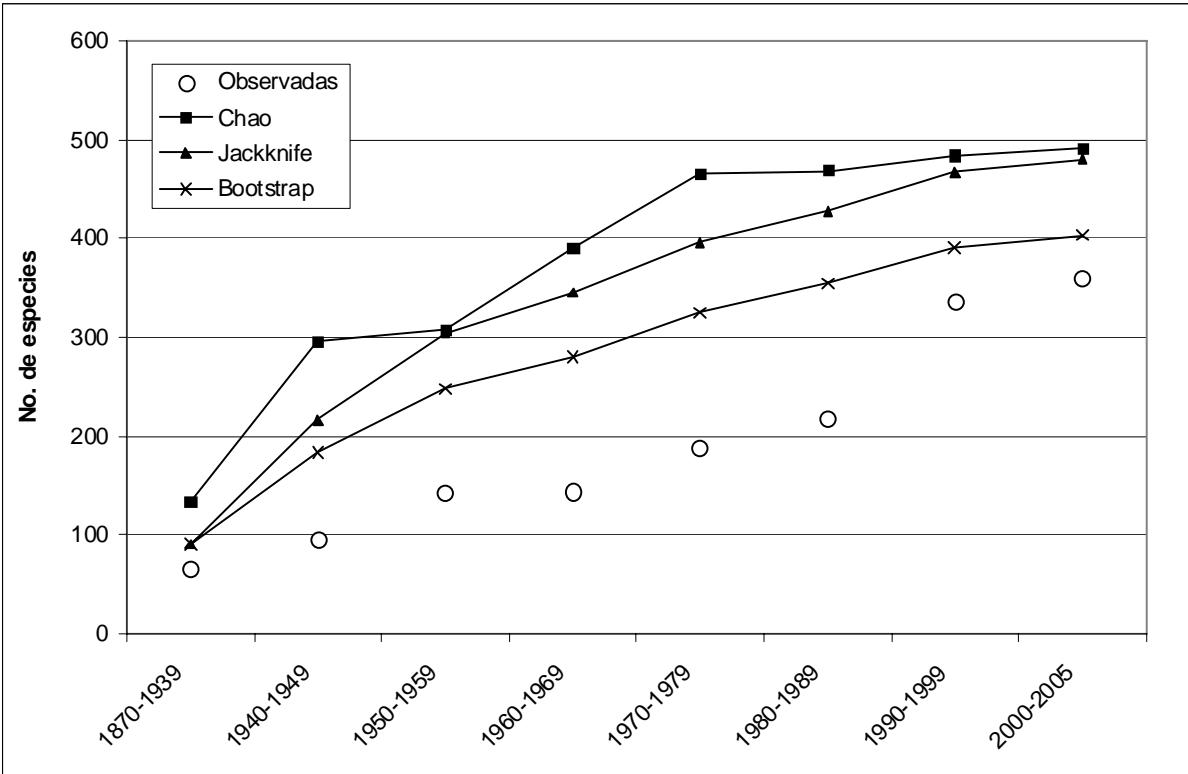


Figura 11. Modelos de acumulación de especies de la avifauna del estado de Querétaro.

### **Modelaje distribucional con GARP**

Los mapas de los patrones de riqueza, endemismo y de especies en riesgo fueron generados a partir de la suma de los mapas de las distribuciones finales de cada especie. En la figura 12 es posible observar las regiones con mayor concentración de especies en el estado. Es necesario tener en cuenta que de las 362 especies presentes en Querétaro, se modeló la distribución de 251, de las cuales, se obtuvo que el número máximo de especies en una misma área fue de 110 (Fig. 12).

Puede observarse que la mayor acumulación de especies se encuentra en la región de la Sierra Madre Oriental, particularmente en el noreste, colindando con el estado de Hidalgo. Asimismo, otras regiones dentro de esta misma Sierra muestran áreas de gran riqueza, como algunas zonas del noroeste y otras regiones en latitudes menores correspondientes al bosque tropical caducifolio de los municipios de Jalpan de Serra y Pinal de Amoles.

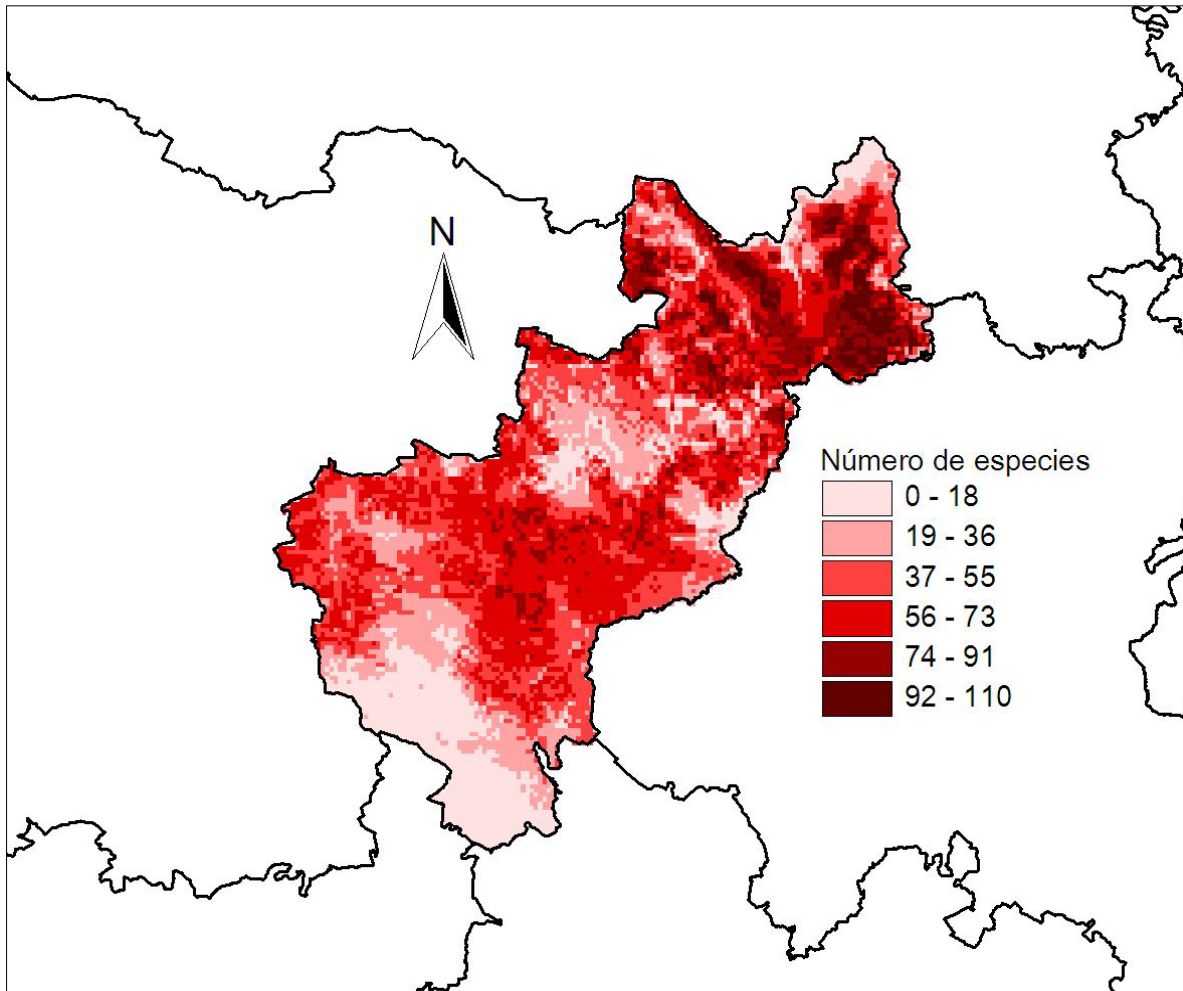


Figura 12. Regiones con mayor de riqueza de especies.

Algunas zonas al sur del estado, correspondientes a la región fisiográfica del Eje Neovolcánico, muestran áreas aisladas de alta riqueza de especies. Por el contrario, el sureste de esta misma región, así como un área en la región de la Mesa Central fueron las que presentaron un menor número de especies dentro de la zona de estudio (Fig. 12).

El endemismo muestra un patrón similar al de la riqueza, pues la mayor ocurrencia de las endémicas se encuentra también en el norte de Querétaro, dentro de la región de la Sierra Madre Oriental (Fig. 13). Algunas pequeñas áreas en el centro-este del estado muestran también acumulaciones importantes de estas especies, contrariamente a lo encontrado al sur del estado, en zonas del Eje Neovolcánico donde

la concentración de especies endémicas es muy baja. Es claro entonces que el endemismo está asociado a las zonas montañosas del estado, particularmente en donde se registran los bosques mesófilo de montaña y de pino-encino.

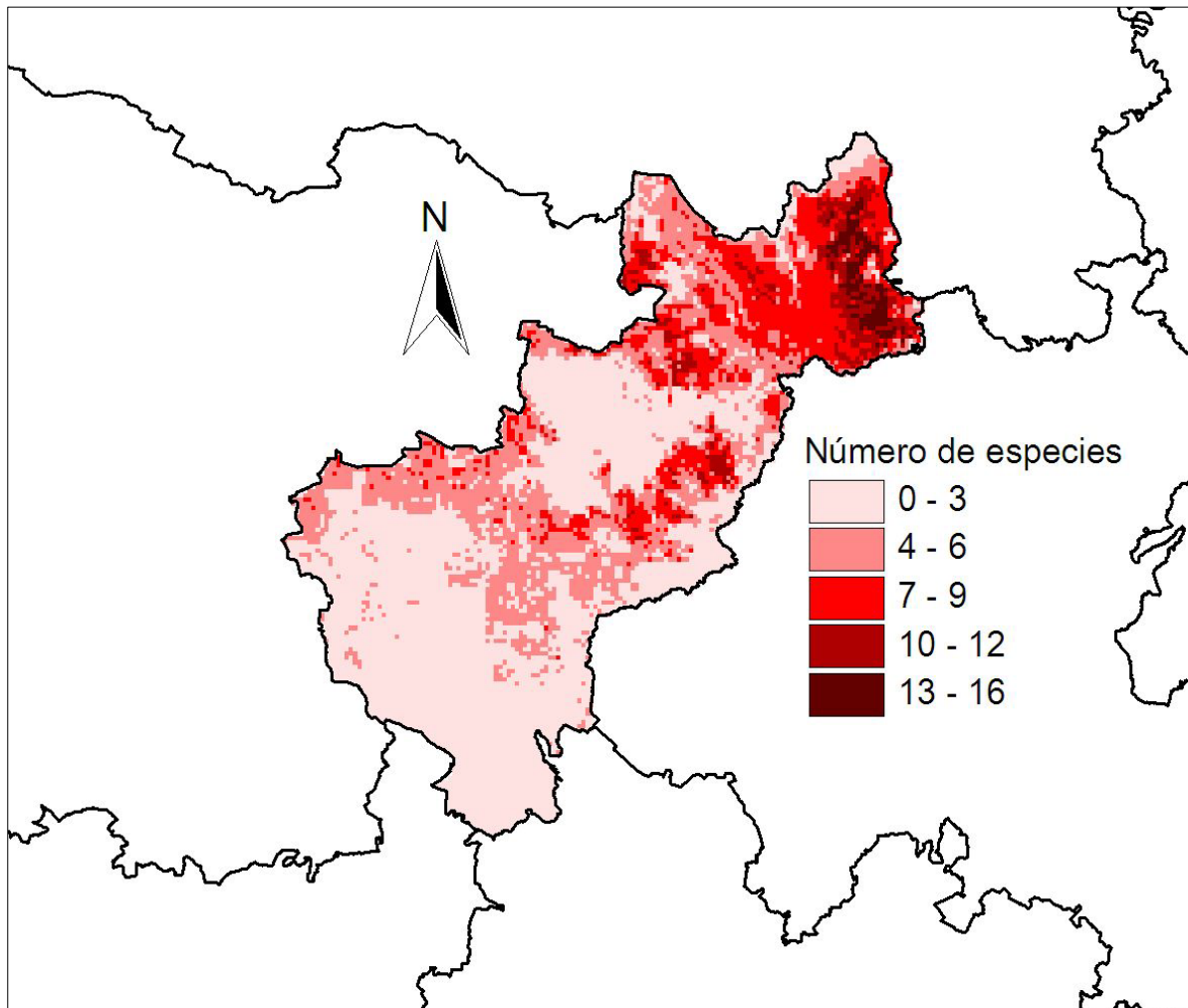


Figura 13. Regiones con mayor acumulación de especies endémicas.

El número de especies incluyendo endémicas y cuasiendémicas en Querétaro es de 33. Sin embargo, sólo 25 fueron modeladas e incluidas en el análisis a partir de sus distribuciones finales. En las agrupaciones de estas especies se observa que el número máximo de ocurrencia de especies endémicas ocupando una misma área es de 16 (Fig. 13). La figura 14 muestra la acumulación de las especies en alguna categoría de riesgo. Del total de éstas (38 especies), sólo se incluyeron en los análisis 23, debido a que para



el resto (15 especies) sólo se contó con una sola localidad de registro y las predicciones estuvieron sesgadas precisamente a ese punto. Sin embargo, se ilustra el patrón de las zonas con mayor acumulación de especies que requieren protección, el cual está concentrado en el norte del área de estudio, al igual que la riqueza y el endemismo. El número máximo de especies ocupando la misma área es de 10.

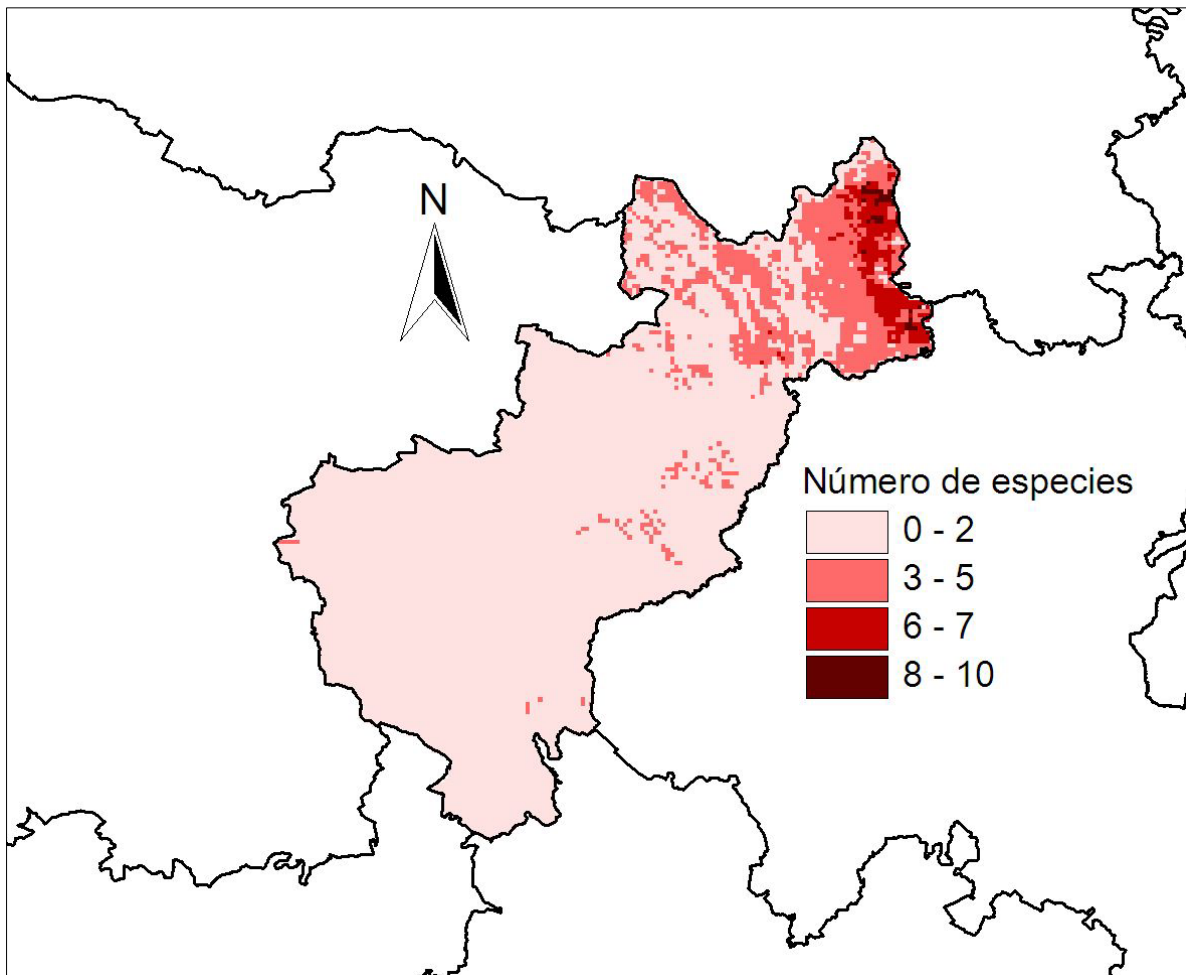


Figura 14. Regiones con mayor acumulación de especies bajo alguna categoría de riesgo.

### ***Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE)***

Se utilizaron para la matriz de datos puntuales un total de 188 especies y 62 unidades de estudio. El análisis de parsimonia efectuado a partir de esta matriz de datos arrojó un total de 1000 árboles igualmente parsimoniosos, de los cuales se obtuvo un cladograma de consenso estricto con una longitud de 1174 pasos, un índice de consistencia (CI) de 16 y un índice de retención (RI) de 20 (Fig. 15). El cladograma muestra una politomía basal con clados no resueltos debido a la ausencia de sinapomorfías. En esta misma figura se muestra también la correspondencia geográfica de los grupos obtenidos en el análisis, en la cual se puede apreciar la poca resolución existente, debido principalmente a la falta de datos.

El análisis del PAE con los datos potenciales dio como resultado una matriz conformada por 181 especies y 267 unidades de estudio. El análisis de parsimonia con estos datos arrojó un total de 1000 árboles igualmente parsimoniosos, a partir de los cuales se obtuvo un cladograma de consenso estricto con una longitud de 2216 pasos, un índice de consistencia (CI) de 8 y un índice de retención (RI) de 81 (Fig. 16). El cladograma muestra grupos mejor definidos con respecto al cladograma de datos puntuales. Es notable la formación de dos grupos principales de áreas, que pueden ser interpretados desde el punto de vista histórico, considerando a las regiones o provincias bióticas que convergen en el estado. Por un lado, el primer grupo es formado por la región más norteña de la Sierra Madre Oriental, con orientación hacia el Golfo de México, caracterizada principalmente por la presencia de bosques montanos como el mesófilo de montaña y pino-encino. El segundo grupo está formado por los cuadrantes que corresponden a la vertiente interna de la Sierra Madre Oriental, la Mesa Central y el Eje Neovolcánico. Dentro de este grupo, existen un conjunto de clados bien definidos que están anidados dentro del clado mayor, producto muy probablemente de factores ecológicos. En la figura 17 (a-i) se puede apreciar este mismo cladograma de áreas de manera simplificada así como la regionalización sobre el mapa. En el cuadro 3 se puede observar con detalle a las sinapomorfías que sostienen a cada clado.

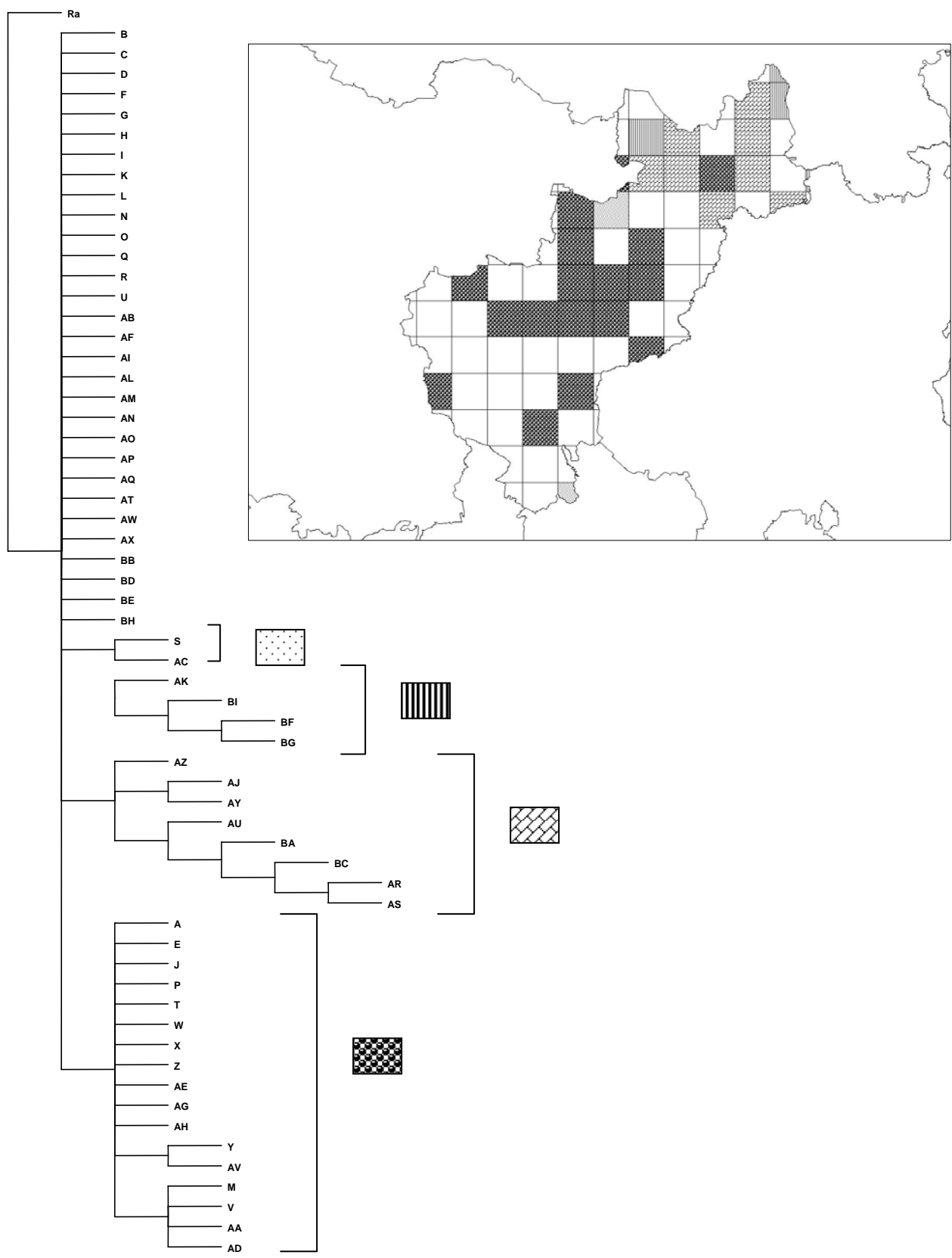


Figura 15. Cladograma de consenso estricto y correspondencia geográfica obtenido del análisis de datos puntuales aplicado a una gradilla de 8' x 8' en el estado de Querétaro.

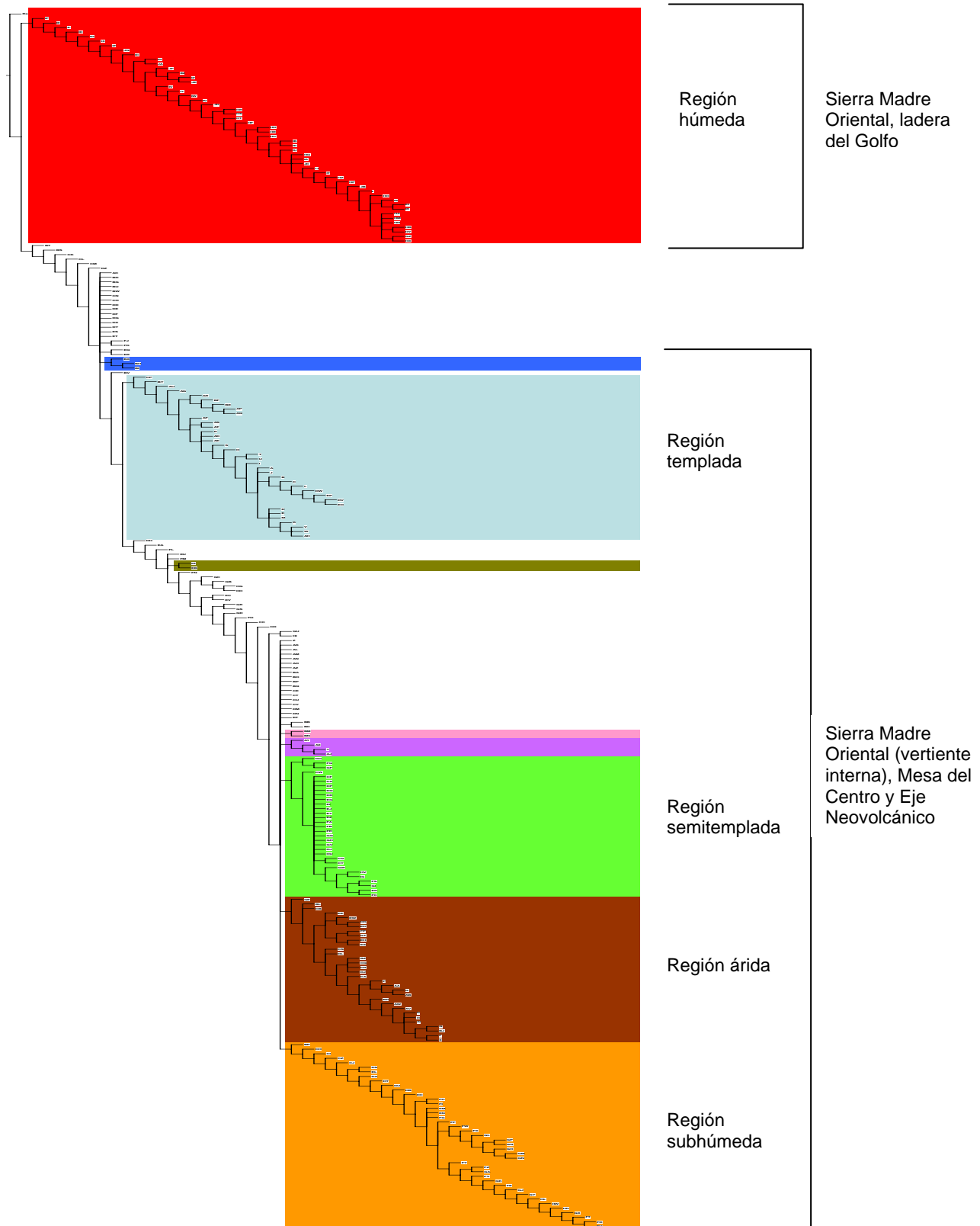


Figura 16. Cladograma de consenso estricto obtenido del análisis de datos potenciales aplicado a una gradilla de 8' x 8' en un buffer de 50 km de equidistancia sobre el estado de Querétaro.

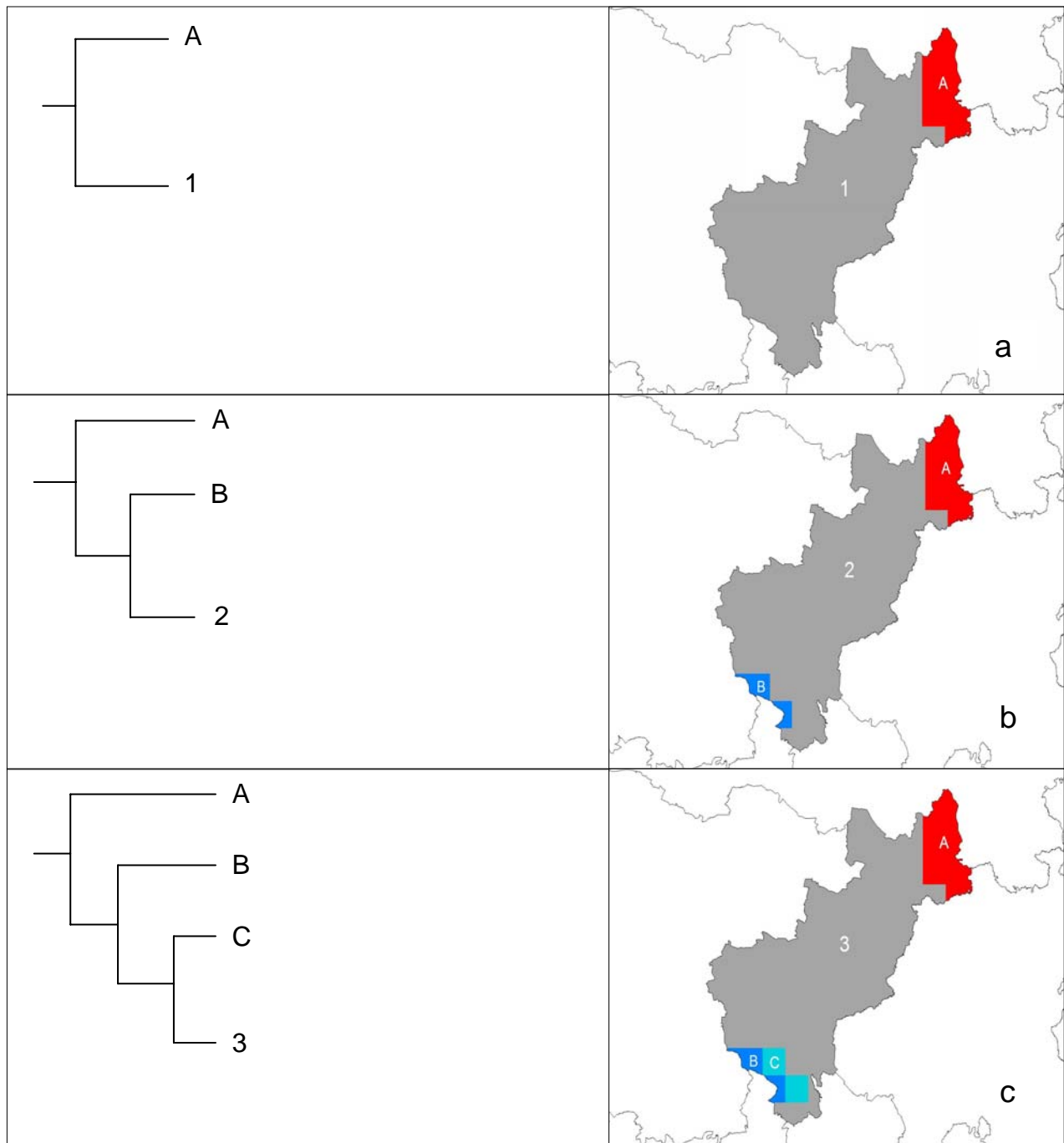


Figura 17a-c. Construcción de la regionalización para la avifauna del estado de Querétaro basada en los mapas de distribución potencial. En la columna izquierda se muestra la comparación de las regiones en el cladograma de áreas simplificado y en la columna derecha la regionalización sobre el mapa.

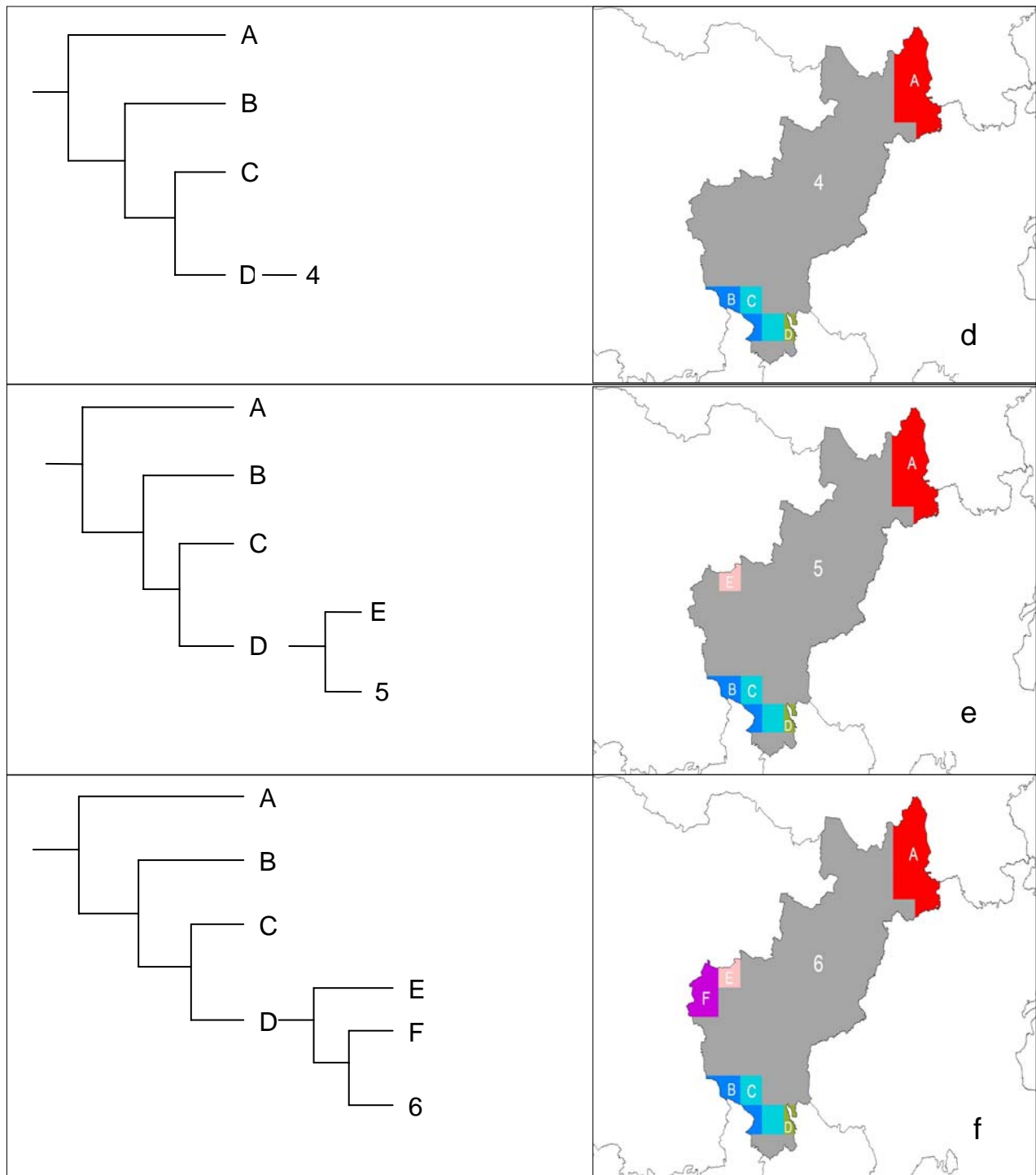


Figura 17d-f. Construcción de la regionalización para la avifauna del estado de Querétaro basada en los mapas de distribución potencial. En la columna izquierda se muestra la comparación de las regiones en el cladograma de áreas simplificado y en la columna derecha la regionalización sobre el mapa.

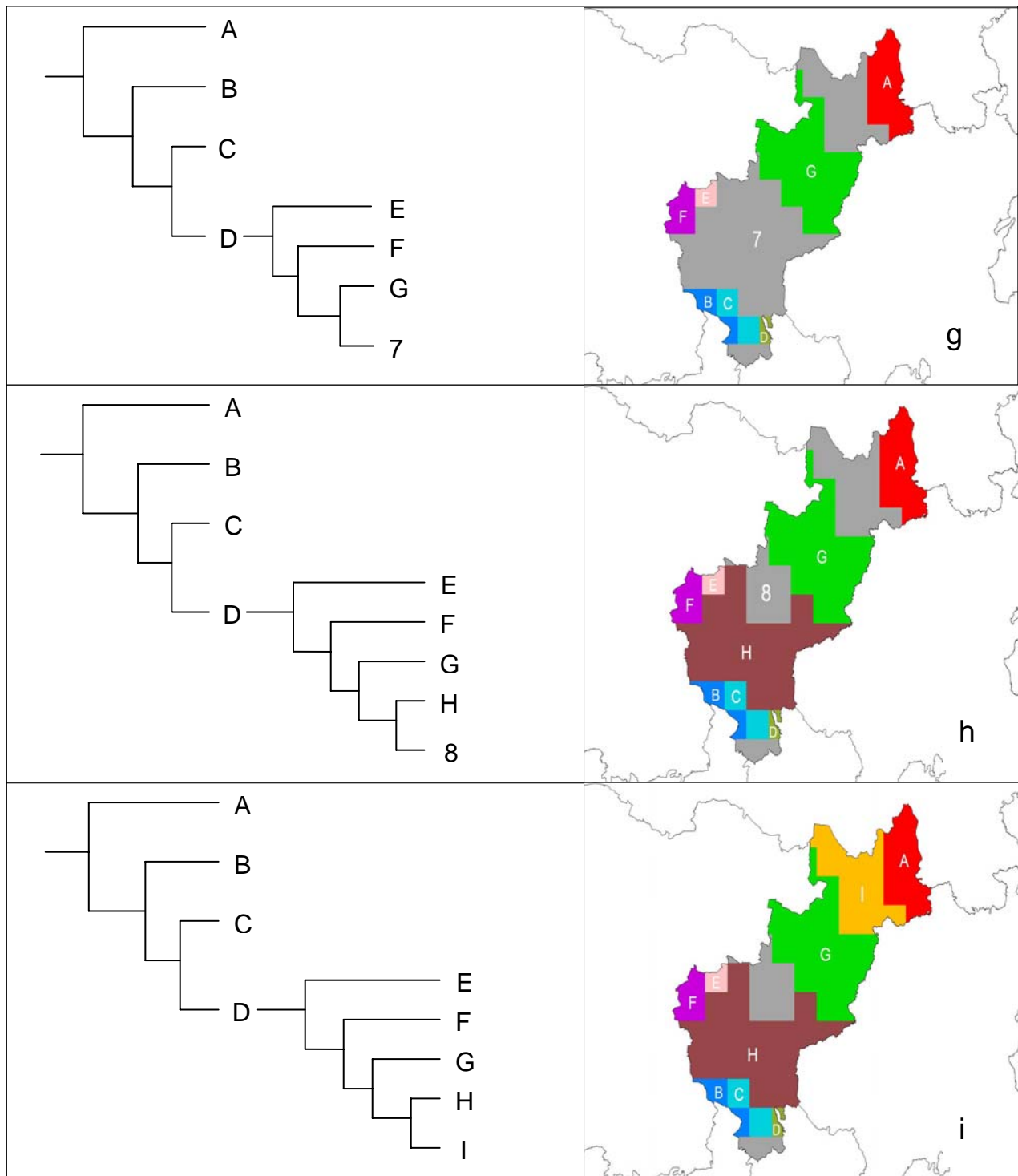


Figura 17g-i. Construcción de la regionalización para la avifauna del estado de Querétaro basada en los mapas de distribución potencial. En la columna izquierda se muestra la comparación de las regiones en el cladograma de áreas simplificado y en la columna derecha la regionalización sobre el mapa.

Cuadro 3. Especies que sostienen a los clados (sinapomorfías) en el cladograma de regionalización. Las letras de los clados corresponden con los de la figura 17a-i.

Clado	Especies
A	<i>Dendrortyx barbatus</i> , <i>Megascops guatemalae</i> , <i>Aulacorhynchus prasinus</i> , <i>Henicorincha leucosticta</i> , <i>Catharus mexicanus</i> .
G	<i>Callipepla squamata</i> , <i>Megascops trichopsis</i> , <i>Pipilo ocai</i>
H	<i>Zenaida macroura</i> , <i>Sayornis saya</i> , <i>Toxostoma curvirostre</i> , <i>Pipilo fuscus</i> , <i>Spizella atrogularis</i> , <i>Molothrus ater</i>
I	<i>Colinus virginianus</i> , <i>Glaucidium brasilianum</i> , <i>Trogon elegans</i> , <i>Thryothorus maculipectus</i> , <i>Cyanocorax yncas</i>

### ***Análisis de las áreas de conservación***

Los análisis efectuados a partir de la superposición de las coberturas de las Áreas Naturales Protegidas (zonas núcleo de la RBSG) y las Áreas Importantes para la conservación de las Aves (AICAs; Arizmendi y Márquez 2000), no coincidieron completamente con las zonas de mayor riqueza, endemismo y especies en riesgo de la avifauna del estado. En cuanto a las AICAs, sólo la Sierra Gorda (incluyendo dentro de ésta el AICA Sótano del Barro) cubre el 81.53% de las zonas con mayor acumulación de riqueza (74-110 especies), el 86.66% de las zonas con mayor número de endemismo (9-16 especies) y el 100% de las regiones con mayor número de especies en riesgo (5-10 especies). El AICA El Zamorano no coincide con ninguna de las regiones antes mencionadas (Fig. 18a-c). Es claro que debido al hecho de que la Sierra Gorda ocupa una gran superficie dentro del estado, las zonas más importantes en términos de riqueza, endemismo y especies en riesgo estén concentradas dentro de esta área. Sin embargo, es conveniente resaltar que las AICAs son sólo propuestas de conservación y no presentan decreto legal alguno.

Por otro lado, el análisis de los mapas de mayor riqueza, endemismo y especies en riesgo de la avifauna de Querétaro con las ANPs (Cerro de las Campanas, el



Cimatario y las 11 zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda), mostraron que apenas el 1.53% de la superficie con alta riqueza de especies (74-110 especies) cae dentro de las zonas núcleo y el 26.15% en las zonas de amortiguamiento (Fig. 19a). Asimismo, el porcentaje de las zonas con mayor concentración de especies endémicas (9-16 especies) que caen dentro de las zonas núcleo es de 3.33% y dentro de las zonas de amortiguamiento se encuentra el 30% de la superficie con alto endemismo (Fig. 19b). Con respecto a las zonas con mayor acumulación de especies en riesgo (5-10 especies), el 7.5% de estas áreas están dentro de las zonas núcleo y el 50% en las zonas de amortiguamiento (Fig. 19c). Las áreas de El Cimatario y el Cerro de las Campanas no se intersectaron con ninguna de las regiones con valores altos de riqueza, endemismo y especies en riesgo, sobre todo por el nivel de urbanización que presentan.

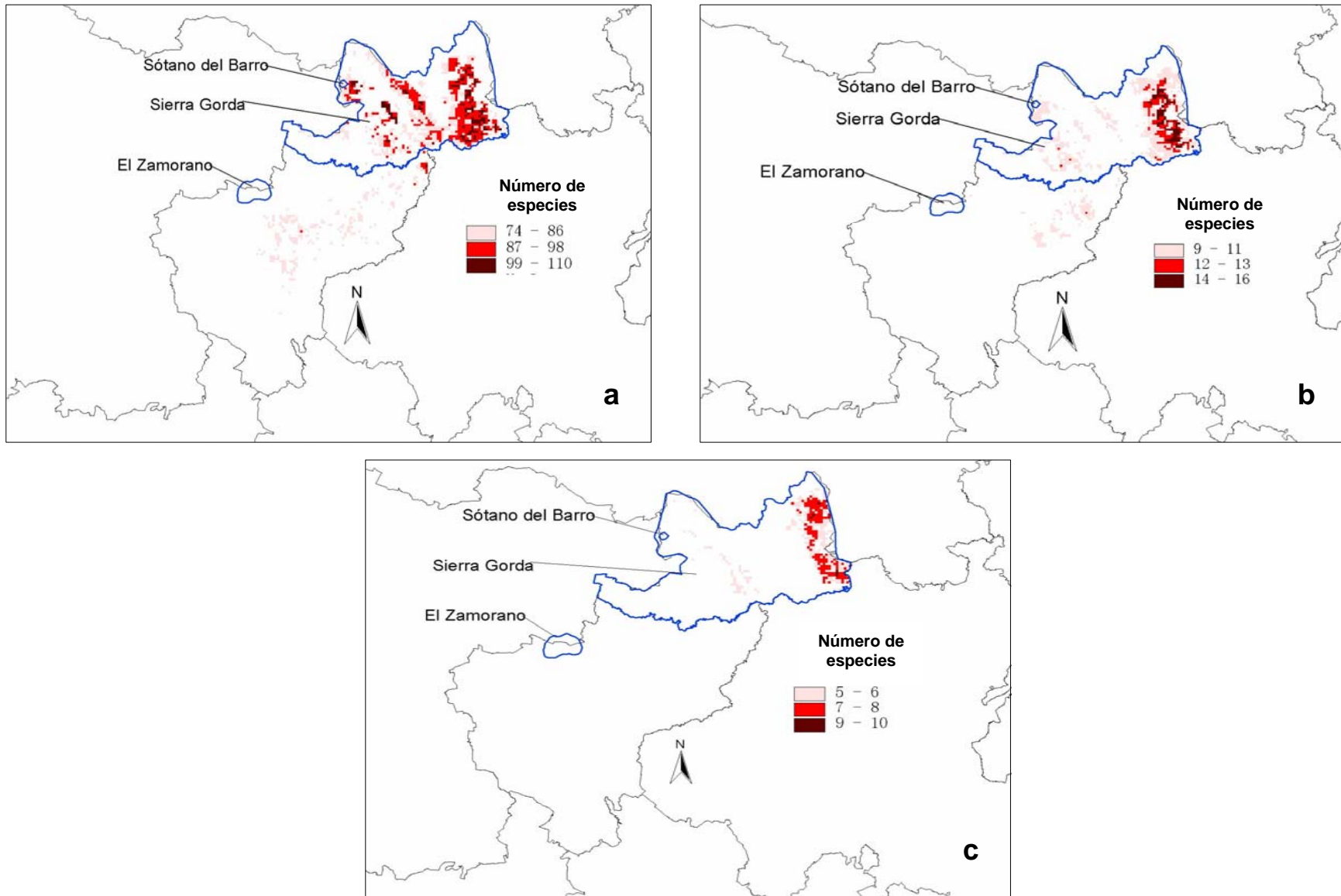


Figura 18. Sobreposición de las zonas con mayor acumulación de: a) riqueza, b) endemismo y c) especies en riesgo, con las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICAs, Arizmendi y Márquez 2000) en el estado de Querétaro.

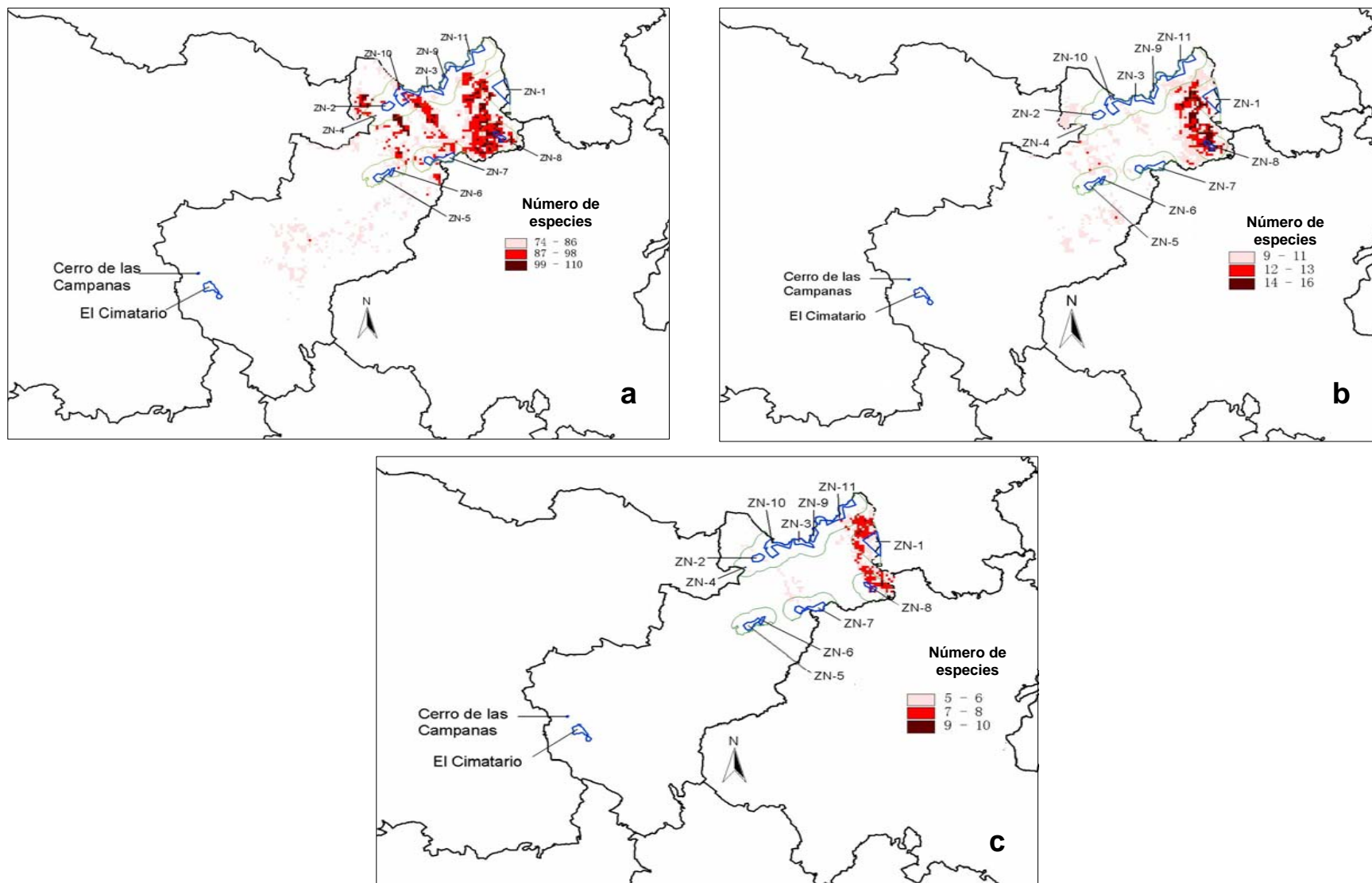


Figura 19. Sobreposición de las zonas con mayor acumulación de: a) riqueza, b) endemismo, y c) especies en riesgo, con las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) en Querétaro. En la parte superior del estado, los polígonos en azul representan las 11 zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda y los polígonos en verde representan las zonas de amortiguamiento.

## VII. DISCUSIÓN

### ***Registros de distribución***

Posterior a los valiosos trabajos de Friedmann *et al.* (1950) y Miller *et al.* (1957) en donde se analiza a las especies y subespecies de aves de México en un contexto taxonómico y distribucional a partir de ejemplares de colecciones, el desarrollo del conocimiento avifaunístico en el país ha ido en aumento. Los estudios a escalas locales y regionales han resultado ser fundamentales para lograr un entendimiento global sobre la distribución geográfica y ecológica de la avifauna mexicana. Sin embargo, la información sobre las aves del país aún es incompleta y desigual en muchas de las regiones (Peterson *et al.* 1998, Navarro *et al.* 2003a). En la actualidad, y dado que la exploración ornitológica en México comenzó en épocas muy tempranas, es lógicamente predecible señalar que la falta de información en ciertas regiones del país se deriva de áreas poco accesibles y, que por consiguiente, poco o nunca han sido exploradas.

Lo anterior sugiere que las regiones relativamente bien comunicadas y de más fácil acceso podrían considerarse las mejor inventariadas. Sin embargo, el estado de Querétaro es una de las excepciones, pues resulta sorprendente el hecho de que se encuentra ubicado en el centro del país, y paradójicamente, es de los menos conocidos desde el punto de vista avifaunístico (Navarro *et al.* 1993, López de Aquino 2003, Sahagún-Sánchez 2003), pues el incremento en el conocimiento de la avifauna estatal se comenzó a gestar de manera importante a principios de 1990 (ver Fig. 11), año en el que para muchos estados del país ya se contaban con inventarios relativamente completos (p. ej. Veracruz, Oaxaca, Chiapas).

En términos del conocimiento detallado de la avifauna queretana y de la distribución de sus especies, el trabajo desarrollado por Navarro *et al.* (1993) marcó un parteaguas importante en el conocimiento avifaunístico del estado, pues fue el primer trabajo que compiló una lista actualizada y que incluyó datos ecológicos para cada una de las especies. El aparente desinterés que permaneció durante varios años en el desarrollo del conocimiento de las aves del estado, muy probablemente estuvo asociado a que la gran mayoría de las expediciones hechas por naturalistas extranjeros

en México, estuvieron mayormente concentradas hacia los bosques tropicales debido al gran interés que despertaban por su enorme riqueza (Goldman 1951, González-Claverán 1989, Howell y Webb 1995). Sin embargo, al parecer desconocían la existencia de tipos de vegetación característicos de climas tropicales húmedos existentes en las laderas de la Sierra Madre Oriental al norte del estado, en los cuales se han obtenido la gran mayoría de nuevos registros efectuados recientemente para Querétaro (*e. g.* Eitniear *et al.* 2000, Rojas-Soto *et al.* 2001, Pineda-López *et al.* en prep).

El hecho de que la gran mayoría de las localidades de recolecta estén concentradas en el norte del estado, es resultado del gran interés que despierta esta zona debido a la gran heterogeneidad ambiental (medida en tipos de vegetación, desde bosques tropicales caducifolios hasta bosques montanos y submontanos). Asimismo, esta zona presenta las áreas más y mejor conservadas debido a que se ubican dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, contrariamente a las zonas localizadas al sur, que presentan una mayor actividad agrícola y ganadera. Es entonces, que el esfuerzo de muestreo en el estado ha sido desigual tanto en el tiempo como en cobertura geográfica.

La riqueza de especies obtenida en Querétaro (362 especies, de acuerdo a la taxonomía de AOU 1998) es comparativamente menor a la de otros estados del país (Guerrero 545, Navarro 1998; Chiapas 647, Navarro y Sánchez-González 2003; Oaxaca 736, Navarro *et al.* 2004b), pero significativamente mayor a algunos otros cuya extensión geográfica incluso sobrepasa a la del área de estudio (Baja California 353, Navarro y Benítez 1993; Hidalgo 354, De la Barreda 2006). Además, si consideramos que es un estado cuya extensión territorial es de las más pequeñas del país (11, 270 km<sup>2</sup>), es claro que tiene una alta riqueza con relación a su territorio. La riqueza de especies obtenida en este trabajo incrementa el conocimiento en un 11.7% más, con relación a los últimos trabajos realizados para las aves del estado de Querétaro (*e. g.* López de Aquino 2003, Sahagún-Sánchez 2003, González-García *et al.* 2004). No obstante, y a pesar del avance en el conocimiento que paulatinamente ha ido experimentando en los últimos años la avifauna queretana, aún se requiere de información puntual sobre muchas otras regiones que han sido tradicionalmente poco

trabajadas.

Es conveniente resaltar que el tratamiento taxonómico seguido aquí es el propuesto por la Unión de Ornitólogos Americanos (AOU 1998), el cual está basado en el concepto biológico de especie. Sin embargo, el número de especies no se incrementa de manera significativa en el área de estudio al utilizar conceptos alternos de especie, como el filogenético-evolutivo, recientemente aplicado a la avifauna mexicana por Navarro y Peterson (2004). La utilización de la propuesta taxonómica de la AOU (1998) en este trabajo, se basó fundamentalmente en el hecho de que el estado de Querétaro es un área relativamente pequeña, y en la que no existen poblaciones geográficamente aisladas, siendo ésta la desventaja de esta taxonomía. De manera contraria a estados cuya superficie y heterogeneidad espacial es mayor (*e. g.* Oaxaca, Guerrero) lo que origina que existan poblaciones aisladas, y morfológicamente diagnosticables que calificarían como especie (Cracraft 1983, Zink y McKittrick 1995).

### ***Modelaje distribucional con GARP***

El área de distribución geográfica de una especie es una expresión compleja de su ecología e historia evolutiva (Guisan y Zimmermann 2000, Peterson y Holt 2003), y se encuentra determinada por varios factores que operan con diferentes intensidades en distintas escalas (Pulliam 2000). De acuerdo con Soberón y Peterson (2005), estos factores que determinan las áreas en las cuales una especie puede ser encontrada son: 1) condiciones abióticas (clima, situación topográfica), 2) factores bióticos (interacciones con otros organismos), 3) capacidad de dispersión (basado en la configuración del paisaje y vagilidad de las especies) y, 4) capacidad evolutiva para adaptarse a nuevas condiciones (efectos de la evolución en los parámetros del nicho ecológico).

En la actualidad, los avances tecnológicos en sistemas computacionales han permitido representar y proyectar el área de distribución de los organismos en sistemas de información geográfica (Bojórquez-Tapia *et al.* 1995). Estas representaciones o mapas a menudo están basados en sólo dos de los cuatro factores antes mencionados –*aspectos abióticos como el clima y la topografía, y bióticos como la vegetación*–, los cuales suponen las condiciones bajo las cuales una especie puede mantener sus

poblaciones viables (*sensu* Hutchinson 1957). Sin embargo, también es posible modelar la distribución de las especies considerando los otros factores. Para el caso de este trabajo, se modeló la distribución de las especies utilizando sólo variables abióticas (climáticas y topográficas), debido a que como se utilizaron datos de colecciones y muchos de los cuales son registros muy antiguos (Navarro *et al.* 2003a), el no contar con alguna variable que proveyera información sobre las condiciones históricas de la vegetación, influyó en la exclusión de esta variable, ya que por lo regular la vegetación presenta cambios dinámicos en intervalos de tiempo muy cortos, por lo que los errores de comisión o sobrepredicción seguramente serían mayores.

Así pues, los mapas generados de distribución potencial para las aves del estado, reflejan el nicho ecológico fundamental de las especies para las cuales se realizó el análisis. Sin embargo y a pesar del gran avance que significa inferir la distribución de las especies con el uso de modelos predictivos, la limitante causal es que también estos modelos dependen necesariamente de una cantidad mínima de puntos de registro para una buena inferencia espacial (Peterson y Cohoon 1999, Rojas-Soto y Oliveras de Ita 2005), tal como se demostró en este trabajo, pues para muchas especies su distribución no fue modelada debido a la falta de registros de ocurrencia.

Los mapas generados en este trabajo con el algoritmo GARP indican que las zonas de mayor riqueza potencial de especies se encuentran en la región norte del estado, perteneciente a la provincia biótica de la Sierra Madre Oriental (entre 98 y 110 especies potenciales). Esta zona ya se ha propuesto anteriormente como de gran interés biológico no sólo en cuanto a su avifauna se refiere (Navarro *et al.* 2004a), sino también en otros grupos taxonómicos (p. ej. Luna-Vega *et al.* 2004); debido a la compleja historia geológica (Ferrusquía-Villafranca 1998) y climática, ya que se ha demostrado que contiene el 99% de los climas existentes en México (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya 2004).

De manera particular en el estado de Querétaro, este mismo patrón se repite con otros organismos: Luna-Soria *et al.* (2004) utilizando también el algoritmo GARP modelaron la distribución de los mamíferos del estado, encontrando que la mayoría de las áreas con una mayor riqueza se localizan en las porciones más accidentadas de la Sierra Madre Oriental. Otros estudios que no han utilizado ningún tipo de modelo

predictivo, han demostrado este mismo patrón en el estado. Entre éstos están los desarrollados por Zamudio *et al.* (1992) para plantas, Padilla (1996) para reptiles, y Herrera-Paniagua (2005) para musgos. Estas semejanzas en los patrones de distribución de varios grupos sugiere una historia común que produjo los patrones biogeográficos entre estos organismos (Espinosa-Organista *et al.* 2002).

Existen otras zonas de alta riqueza potencial de especies para la avifauna estatal, como son algunas pequeñas áreas pertenecientes a la Mesa Central y el Eje Neovolcánico, asociadas principalmente a pequeños sistemas montañosos. Por otro lado, las áreas de menor riqueza son aquellas cuya heterogeneidad ambiental es menos compleja, actualmente ocupadas por diversas actividades agrícolas y ganaderas. La razón de que la riqueza de especies a lo largo del estado de Querétaro no presente un continuo en su distribución, sino que por el contrario se muestre en manchones relativamente separados entre sí, puede deberse al hecho de que el área de distribución de algunas especies o taxones, consiste precisamente en un conjunto de “islas” separadas por amplias zonas vacías y semivacías, debido a la heterogeneidad del ambiente (Espinosa-Organista *et al.* 2003, Rapoport y Monjeau 2003).

De acuerdo con el mapa de las áreas con mayor concentración de especies endémicas, nuevamente se observa (Fig. 13) que éstas se encuentran mayormente distribuidas en la porción más norteña del área de estudio, correspondiente a la Sierra Madre Oriental (entre 14 y 16 especies potenciales), dentro de las cuales existen especies de gran relevancia biológica como *Dendrotyx barbatus*, endémica a la Sierra Madre Oriental; *Aratinga holochlora* y *Rhodothraupis celaeno*, cuyas poblaciones se concentran principalmente en el noreste del país y *Cyanolyca nana* cuya extensión en su área de distribución incluye Querétaro (Arellano-Sanaphre 1997). Es claro que en cuanto a endemismos de aves, el estado de Querétaro no se caracteriza por tener una alta proporción de especies endémicas, pues se registraron un total de 33 especies (9.14% del total registrado y el 32.67% de las endémicas a nivel nacional).

Estos resultados se explican por la posición geográfica que guarda el estado, pues las regiones con mayor número de especies endémicas en el país se encuentran en las tierras bajas del oeste en la costa del Pacífico, en la Sierra Madre Occidental, y



en el Eje Neovolcánico (Escalante *et al.* 1998, Peterson y Navarro 2000). Sin embargo, de éstas sólo el Eje Neovolcánico ocupa una pequeña parte en el estado de Querétaro, y de acuerdo al mapa obtenido, no se aprecia una gran riqueza potencial de especies endémicas en esta región. Esto se debe a que el número de puntos de colecta fue menor en la porción del Eje Neovolcánico, y los modelos de predicción usados en este trabajo están en función del esfuerzo de muestreo, lo que muy probablemente está subestimando las distribuciones potenciales de los taxones endémicos.

Con relación al mapa de concentración de especies bajo alguna categoría de riesgo, nuevamente se observa un patrón similar a los anteriores. Existe un área predicha con una importante riqueza de especies en riesgo en los límites con los estados de San Luis Potosí e Hidalgo. Es precisamente en estas zonas donde se concentra un número importante de zonas núcleo de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda, las cuales están localizadas en la periferia del estado de Querétaro; aunque este tema, será discutido con mayor detalle en páginas subsecuentes.

Por otro lado, el uso del algoritmo GARP en este trabajo para inferir las distribuciones de las especies, permitió reconocer el nicho ecológico de los taxones analizados de manera más detallada proyectado geoespacialmente. Se ha demostrado que este sistema de modelado presenta varias ventajas relativas con relación a otros algoritmos (ver Sánchez-Cordero *et al.* 2001, Stockwell y Peterson 2002, Peterson 2005), y ha sido particularmente efectivo en el modelaje de la distribución de las aves (Feria-Arroyo y Peterson 2002). A pesar de lo anterior, algunos autores (e. g. Stockman *et al.* 2006) no sugieren la utilización del modelo GARP en algunos grupos taxonómicos (p. ej. organismos con bajas capacidades de movimiento), pues aseguran que los errores de comisión extrínseca y omisión suelen ser muy altos. Segurado y Araujo (2004) llevaron a cabo un análisis para probar el poder predictivo de algunos modelos, y encontraron que algunos de éstos tienen ventajas y desventajas entre sí, pero ninguno es absolutamente superior al resto. Esto sugiere que la elección del método predictivo más apropiado debe estar en función de las metas y el grupo taxonómico que será modelado.

## ***Regionalización con PAE***

El análisis de parsimonia de endemismos se ha convertido en un método alternativo eficaz para clasificar biotas con base en la distribución de los taxa, y describir *a priori* hipótesis sobre homologías biogeográficas primarias, que requieran *a posteriori* homologías secundarias para su contrastación. Para Espinosa-Organista *et al.* (2002, 2003), este método ha demostrado ser una excelente alternativa para regionalizar áreas, pues de manera contraria a los índices de similitud, el PAE puede tener interpretaciones evolutivas coherentes entre los taxones y las áreas que habitan; además de que es posible observar que especies sostienen a los agrupamientos (sinapomorfías geográficas).

De acuerdo con los resultados obtenidos del PAE en este trabajo, el cladograma con datos puntuales tuvo una resolución menor que el de los datos potenciales generados con GARP. Estos últimos permitieron obtener un cladograma más resuelto para explicar las hipótesis sobre las relaciones entre las áreas, lo cual confirma que el uso de modelos predictivos ayuda a eliminar la incertidumbre en los análisis biogeográficos causada por la carencia de datos de distribución (Rojas-Soto *et al.* 2003, Espadas-Manrique *et al.* 2003, Rovito *et al.* 2004). Por tal razón, se discutirá únicamente el análisis con este último conjunto de datos.

El análisis de parsimonia de endemismos reveló la existencia de dos clados mayores, por un lado se agruparon los cuadros que se encuentran en la ladera norte de la Sierra Madre Oriental (SMO), y por otro, a las regiones del sur de la misma Sierra, la Mesa Central (MC) y el Eje Neovolcánico (ENV). Las relaciones obtenidas en el análisis pueden ser resultado de la interacción entre factores históricos y ecológicos. Estas causas históricas y/o ecológicas que podemos asumir de la división en estos dos clados principales están muy correlacionadas con la historia geológica de las regiones fisiográficas o provincias biogeográficas que convergen en el estado, pues éstas comprenden eventos distintos. De acuerdo con Álvarez y Lachica (1991) y Espinosa-Organista *et al.* (2000, 2003), las provincias biogeográficas son áreas caracterizadas por un conjunto particular de especies, además de una fisiografía, clima, suelo y fisonomía de la vegetación muy similares, las cuales difieren de manera importante de

las asociaciones que se encuentran en las provincias adyacentes.

En este contexto, se tienen evidencias de que a finales del Cretácico y principios del Terciario se inició el levantamiento y deformación de rocas principalmente mesozoicas, dando como resultado la formación de la SMO (Eguiluz de Antuñano *et al.* 2000). La SMO al parecer tiene una mayor antigüedad (aproximadamente 240 millones de años) que las regiones del ENV y la MC, pues en ésta afloran las rocas más antiguas de Querétaro, que datan del Paleozoico Superior, encontrándose también rocas marinas del Cretácico superior (PEOT 2004). Son precisamente estas consideraciones históricas, las cuales han moldeado un clima y una vegetación muy particular en esta región. Al analizar el cladograma obtenido (Fig. 16), podemos observar que uno de los grupos o clados mayores corresponde a la porción más norteña de la SMO (región húmeda), la cual está configurada por cordilleras alargadas y valles intermontanos (Ferrusquía-Villafranca 1998). Es precisamente esta zona la cual parece constituir una barrera orográfica que no permite el paso de vientos húmedos del Golfo a la vertiente interior de dicha Sierra; lo cual se hace más evidente cuando observamos que los tipos de vegetación de las áreas con orientación hacia el Golfo de México (orientación sur-norte, ver Fig. 17a) presentan características tropicales o templadas húmedas (*e. g.* bosques mesófilo de montaña y tropical subcaducifolio), además de estar constituida por climas templados subhúmedos, semicálidos y cálidos subhúmedos. Los taxones que apoyan la formación de este clado son especies que están confinadas estrictamente a bosques húmedos de montaña (*e. g.* *Megascops guatemalae*, *Aulacorhynchus prasinus*, *Henicorinha leucosticta*; Howell y Webb 1995).

Por otro lado, el segundo clado agrupa a los cuadros correspondientes a la parte sur de la SMO, el ENV y la MC. La mayor parte de esta región está constituida por climas secos, semisecos y templados, en gran parte por el efecto de la barrera orográfica que forma la SMO, como se explicaba anteriormente. De hecho, las áreas o los cuadros ubicados al interior del estado dentro de la misma Sierra (con orientación norte-sur), presentan tanto climas como tipos de vegetación (*e.g.* bosque tropical caducifolio, matorrales y pastizales) con características de ambientes cálidos, lo cual nuevamente refuerza la idea de que la porción más norteña del estado, parece tener una función de “filtro” sobre las condiciones de humedad que provienen del Golfo.

El hecho de que los cuadros correspondientes al ENV y la MC estén agrupados dentro del mismo clado, se debe a que el análisis de parsimonia de endemismos mostró que estas regiones fisiográficas comparten muchas especies. Desde el punto de vista geológico ambas regiones poseen paisajes complejos cuya constitución es típicamente de origen volcánico (Carrasco-Núñez *et al.* 1989), estando aún en discusión la edad de ambas regiones, pero se estima que tienen alrededor de 140 millones de años (Ferrari *et al.* 1999). Esto a su vez, ha promovido el establecimiento de suelos, climas y tipos de vegetación muy similares (Zamudio *et al.* 1992).

Es posible observar que dentro de este clado mayor se definen grupos menores o subgrupos, que muy probablemente son resultado de interacciones ecológicas, lo cual se sustenta con lo expresado por Morrone (2004), en el sentido de que los cladogramas obtenidos por el PAE pueden tener interpretaciones tanto históricas como ecológicas. Por ejemplo, existen grupos bien definidos que concuerdan con ciertas franjas climáticas o de vegetación como lo son las agrupaciones de los cuadros correspondientes a las áreas codificadas como G, H e I (ver Fig. 17a-i). Los cuadros que conforman el área codificada con G, están constituidos principalmente por climas semicálidos secos y templados subhúmedos con tipos de vegetación como bosques de encino, pino, *Juniperus* y matorrales xerófilos (región semitemplada). Las especies que le dan identidad a este clado son características de bosques templados (*Callipepla squamata*, *Megascops trichopsis* y *Pipilo ocai*). El área codificada con H, está constituida básicamente por un clima templado seco y semicálido seco, la cual está constituida por extensos parches de matorrales y pastizales (región árida). Las especies que apoyan la formación de este clado son características de zonas áridas particularmente del ENV (*e. g.* *Sayornis saya*, *Toxostoma curvirostre*, *Pipilo fuscus*, *Spizella atrogularis*). Finalmente, el área codificada como I, presenta climas semicálidos y cálidos subhúmedos con tipos de vegetación como bosques tropical caducifolio, subcaducifolio y de encino (región subhúmeda). Las sinapomorfías que agrupan esta área son típicas de los bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios (*e. g.* *Glaucidium brasilianum*, *Trogon elegans*, *Cyanocorax yncas*).

Cabe mencionar que dentro de este clado principal existen cladogramas que no presentan sinapomorfías (ver cuadro 3); por lo cual, esta condición de semejanza

podría ser producto de homoplasias biogeográficas. Por ejemplo, las áreas codificadas con B y C (ver Fig. 17c) se corresponden con las regiones más templadas del estado, cuyas temperaturas fluctúan entre los 12 y 18°C, predominando los bosques de coníferas y encinos. Asimismo, existieron algunos cuadros que no quedaron resueltos dentro de los grupos formados. Esto parece coincidir con las zonas donde se presentó un menor número de especies (Fig. 16). Resultados similares al de este trabajo, donde el bajo número de especies por unidad de estudio influyó en la resolución de las relaciones entre las áreas fueron obtenidos por Glasby y Álvarez (1999) y Rovito *et al.* (2004). Sin embargo, esto también muy probablemente puede ser resultado de que esas zonas están siendo ocupadas como áreas de transición ecológica por las especies, razón por la cual el análisis no pudo resolver con claridad las agrupaciones de esos cuadros.

Los resultados pueden ser comparados con un análisis biogeográfico previo desarrollado por Herrera-Paniagua (2005) para los musgos de Querétaro. En éste se utilizó el PAE para regionalizar el estado con base en cuadrantes de 15' x 15', y se encontraron tres agrupamientos: 1) el noreste del estado, 2) regiones áridas del sureste y, 3) regiones templadas del centro y sur, lo cual coincide con la mayoría de los agrupamientos obtenidos en este trabajo. Sin embargo, cabe resaltar que la vagilidad y/o capacidad de dispersión de los musgos con relación a las aves son completamente diferentes, así como los requerimientos ecológicos, razón por la cual se encontraron ciertas diferencias en las relaciones entre áreas. No obstante, las correspondencias que existen de las relaciones entre las áreas con estos dos grupos, sugieren que existe homología biogeográfica, que podría estar estrechamente relacionada con el factor histórico de las regiones o provincias biogeográficas en el estado. En este sentido, Morrone (2001b) y Espinosa-Organista *et al.* (2002) expresaron que bajo la idea de la evolución en espacio, tiempo y forma, varias especies con distintas capacidades dispersoras que comparten un área de endemismo o región, comparten una historia común.

Por otro lado, es claro que el análisis de los patrones de riqueza y endemismo es relevante a un nivel geopolítico, principalmente en lo referido a estrategias de conservación, pues esta escala por lo general, no atiende a la naturalidad de los

conceptos de endemismo o área de endemismo por lo que se puede perder información que resulta valiosa. A pesar de lo anterior, existen algunos autores (e. g. Morrone y Ruggiero 2000, Escalante *et al.* 2003, Ochoa y Flores-Villela 2006) que han subrayado que esta pérdida de información se puede evitar, utilizando unidades independientes como son los cuadros o unidades geográficas operacionales (OGUs). Incluso, en este trabajo se utilizaron cuadros más allá de los límites del estado (área buffer de 50 km) que ayudaron a recuperar información que se pierde en los límites geopolíticos de las áreas bajo estudio. Además, toda vez que la falta y la dificultad de definir más claramente las regiones y/o provincias biogeográficas, los análisis a esta escala pueden también ser útiles en la implementación de estrategias que ayuden a definir más claramente los límites entre las unidades biogeográficas, utilizando para ello, la información sobre la distribución de su biota (Luna-Vega *et al.* 2000, Herrera-Paniagua 2005, Balleza *et al.* 2005).

### ***Evaluación de áreas de conservación***

De manera relativamente reciente, los esfuerzos por conservar la avifauna principalmente de los neotrópicos y sus hábitat han sido determinantes en el diseño de reservas o áreas prioritarias cuyo propósito básico es el mantenimiento de las poblaciones avifaunísticas a largo plazo (Arizmendi y Márquez 2000). Esto adquiere mayor relevancia al estimar que en Mesoamérica, aproximadamente el 80% de la vegetación original ha sido destruida (Ojasti 2000).

Resulta particularmente importante el conocimiento de los patrones de distribución de la riqueza de especies de un área determinada, la presencia de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo. Estos criterios son comúnmente utilizados para proponer o diseñar áreas prioritarias para su conservación (Ceballos *et al.* 2002, Navarro y Sánchez-González 2003). Sin embargo, ya se ha enfatizado a lo largo de este escrito que la restricción para llevar a cabo análisis detallados de la distribución de las especies, es sin duda, la falta de conocimiento en ciertas regiones previamente no estudiadas, por lo que una mayor continuidad en el inventariado conducirá al registro de especies antes no conocidas (e. g. Rojas-Soto *et al.* 2001, Garza-Torres *et al.* 2003), a

la ampliación del área de distribución de especies en riesgo (e. g. Arellano-Sanaphre 1997, Almazán-Núñez y Nova-Muñoz 2006), o bien, al conocimiento de avifaunas completas que coadyuven en el entendimiento de los patrones de distribución espacio-temporal de las aves del país (e. g. Peterson *et al.* 2003, Almazán-Núñez y Navarro 2006).

Toda esta información, aunada a los registros en los museos, tienen un gran valor al proporcionar datos sobre la vulnerabilidad, distribución histórica y conservación de especies, especialmente cuando se combinan con modelos predictivos de la distribución de las especies para la identificación de prioridades de conservación (Loiselle *et al.* 2003). Estas herramientas deben ser fundamentales en la reevaluación de las áreas naturales protegidas con decreto oficial, en el diseño y zonificación de nuevas áreas propuestas para la conservación y en la protección de taxones prioritarios, tal como se ha demostrado en este trabajo. Existen algunos ejemplos en México utilizando varios grupos taxonómicos en los cuales se han identificado prioridades de conservación con ayuda de diversos sistemas de modelado (ver Bojorquez-Tapia *et al.* 1995, Peterson *et al.* 2000, Ortega-Huerta y Peterson 2004). Sin embargo, la utilización de grupos como las aves para sugerir sitios prioritarios de conservación resulta ideal. Si bien es cierto que las aves no representan un fin por si mismas, sino más bien un medio para lograr acciones en favor de la conservación, las propuestas generadas a partir de análisis detallados con este grupo deben tener una alta preponderancia. Cabe mencionar que son excelentes indicadores de las condiciones del ambiente, además de que presentan altos niveles de endemismo y se obtienen registros distribucionales y evaluaciones poblaciones de manera relativamente sencilla (Navarro 1998), debido a la facilidad con la cual son observadas.

Recientemente han surgido algunos esfuerzos por conservar ciertas áreas que se consideran importantes para las aves, ya sea porque presentan un elevado número de especies endémicas o bien, porque sus poblaciones están disminuyendo drásticamente (Dunn 2002). Un ejemplo de estos esfuerzos lo constituyen las áreas de conservación para las aves endémicas (EBAS, por sus siglas en inglés), siendo alrededor de 218 áreas a nivel mundial, de las cuales 18 se encuentran en México (Stattersfield *et al.* 1998). A nivel nacional, durante los años 1996-1998, se reunieron en

varios talleres especialistas e interesados en la conservación de las aves, estableciendo las áreas importantes para la conservación de las aves en México (AICAS), con un total de 225. Estas áreas fueron propuestas por su importancia en el mantenimiento a largo plazo de las poblaciones de aves que ocurren de manera general en ellas (Arizmendi y Márquez 2000). De éstas, tres se encuentran dentro del estado de Querétaro (Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Sótano del Barro y El Zamorano); sin embargo, estas áreas no presentan decreto alguno y son sólo propuestas para su conservación.

El estado de Querétaro de acuerdo al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) cuenta con algunas áreas decretadas para su protección (la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, y los Parques Nacionales de El Cimatario y el Cerro de las Campanas; Koleff y Moreno 2006). Destaca sin duda, la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, decretada en el año de 1997, la cual cuenta con una extensión de 383, 567 ha, lo que representa el 32.02% de la superficie estatal (Carabias-Lillo *et al.* 1999). Esta Reserva además ha sido considerada como una Región Prioritaria Terrestre (RTP) por la CONABIO (Arriaga *et al.* 2000), así como un Área Importante para la Conservación de las Aves (AICA) por CIPAMEX (Arizmendi y Márquez 2000). Al analizar la efectividad de protección de toda la Reserva sobre las áreas con mayor riqueza, endemismo y especies que requieren protección, es claro que dado la gran superficie que cubre la RBSG la mayor parte de estas áreas caen dentro de los límites de esta área natural protegida (Fig. 18a-c). Sin embargo, es bien conocido que dentro de una Reserva de la Biósfera las zonas núcleo son las mejor conservadas y los ecosistemas que presentan albergan especial importancia. Ante esto, se analizó la efectividad de protección de manera conjunta de las 11 zonas núcleo de la RBSG con base en la distribución potencial de la riqueza, el endemismo y especies en riesgo.

Estas zonas núcleo en conjunto abarcan una superficie de 24, 803 ha, y representan el 6.4% de la superficie de la RBSG (Carabias-Lillo *et al.* 1999). No obstante, de las áreas con mayor riqueza, así como de las de mayor concentración de especies endémicas y en riesgo, sólo una mínima superficie de éstas se encuentran representadas en las 11 zonas núcleo (Fig. 19a-c). Algunas de estas zonas presentan especies avifaunísticas de interés. Tal es el caso del Sótano del Barro (propuesta también como un AICA, Arizmendi y Márquez 2000), el cual es un sitio de anidación y



refugio de la única colonia de guacamayas verdes (*Ara militaris*) en el estado (Pedraza *et al.* 2000) y su importancia radica en que las poblaciones de esta especie están confinadas a parches aislados debido a la destrucción de su hábitat, y al saqueo constante al cual son sometidas. Asimismo, especies como *Dendrortyx barbatus* cuya importancia es alta por ser endémica a la Sierra Madre Oriental, ha sido registrada en algunas zonas núcleo como Joya del Hielo y la Cañada de las Avispas (Eitniear *et al.* 2000). Sin embargo, al parecer los criterios tomados para la zonificación de la RBSG, no consideraron aspectos relevantes como el endemismo y el estatus de protección de las aves. De hecho, las concentraciones geográficas de taxa endémicos son usadas frecuentemente para determinar prioridades de conservación (Peterson y Navarro 1999). Sin embargo, paradójicamente en la RBSG las áreas que potencialmente presentan más concentraciones de estas especies son las zonas de amortiguamiento, las cuales tienen la función de proteger a las zonas núcleo de los impactos provocados por el desarrollo de actividades antropogénicas.

Los resultados demostraron de manera contundente que la ubicación de la gran mayoría de las zonas núcleo en el estado no están siendo lo completamente efectivas en cuanto a la conservación de especies de aves de gran interés como lo son las endémicas y cuasiendémicas (*e. g. Aratinga holochlora, Amazilia yucatanensis, Atthis heloisa, Piculus rubiginosus y Vireo nelsoni*) y en riesgo (*e. g. Pionus senilis, Aratinga nana, Aulacorhynchus prasinus, Campephilus guatemalensis, Cinclus mexicanus, Psarocolius montezuma*), cuya distribución potencial abarca diferentes áreas de la Sierra Gorda y están excluidas de las zonas núcleo. Además, algunas áreas como el Cerro el Zamorano (propuesto como una RTP y un AICA), así como las ANP de El Cimatario y el Cerro de las Campanas no mostraron ninguna concordancia con las áreas potenciales de alta riqueza, endemismo y especies en riesgo, debido a que están completamente urbanizadas. Debido a lo anterior es conveniente plantear nuevas propuestas de áreas de conservación que consideren también la distribución de las especies, y no sólo la calidad del paisaje y los valores culturales, naturales y paisajísticos que éstas puedan tener.

En este contexto, al parecer la mayoría de las áreas de conservación del estado de Querétaro (ANP, RPT, AICAS) e incluso del país, se han propuesto buscando

intereses económicos o intentando maximizar la variabilidad ambiental del territorio. Sin embargo, para conseguir una estrategia de conservación de la diversidad biológica sustentada sobre criterios razonables, es necesario que el diseño de las redes de reservas se realice teniendo en cuenta la distribución de las especies, considerando a la rareza y al endemismo (Lobo y Hortal 2003, Koleff y Moreno 2006). Aunque esto *a priori* parecería menos racional, pues al recopilar la información distribucional de un grupo de especies en colecciones biológicas, así como en la literatura científica, es muy recurrente observar que extensas porciones del territorio se encuentran insuficientemente reconocidas. Para atenuar este desconocimiento, los modelos predictivos surgen como una alternativa eficaz que permiten estimar la distribución potencial de la diversidad biológica en ausencia de datos exhaustivos. Sin embargo, esta información generada sobre la distribución de las especies debe ser el punto de partida para estudios biogeográficos, ecológicos y taxonómicos, no sólo con aves, sino también con otros grupos faunísticos, que ayuden a clarificar aún más el rumbo a seguir en favor de la conservación de la biota del estado de Querétaro.

## VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo se corroboró que los estudios avifaunísticos concernientes a escalas regionales son de gran utilidad para el conocimiento detallado de la distribución de las especies a un nivel nacional. Asimismo, se logró incrementar el conocimiento de las aves del estado en un 11.7% más y se constató de la gran riqueza que posee (362 especies) a pesar de su pequeña extensión territorial, producto de la confluencia entre las provincias biogeográficas de la Sierra Madre Oriental, Mesa Central y Eje Neovolcánico. Sin embargo, la mayor parte de esta información está estrechamente relacionada con las principales vías de comunicación, por lo que el esfuerzo de inventariado tendrá que conducirse a aquellas áreas menos accesibles para confirmar la presencia o ausencia de las especies tanto en espacio como en el tiempo. Aunque la probabilidad de encontrar registros nuevos es alta, sobre todo considerando que los esfuerzos en el inventariado de la avifauna queretana comenzaron de manera relativamente reciente.

Lás áreas que potencialmente presentan una mayor relevancia en términos de riqueza y endemismo están dentro de la Sierra Madre Oriental (particularmente al noreste). Estas áreas coinciden con tipos de vegetación de alto interés biológico y ecológico como los bosques mesófilo de montaña, tropical subcaducifolio y de pino-encino, en laderas pronunciadas donde las actividades antropogénicas se ven reducidas y por tanto los hábitat están mejor conservados. Sin embargo, también es un área donde potencialmente existen una mayor cantidad de especies en riesgo, por lo que merece especial atención.

De manera general el algoritmo GARP mostró resultados satisfactorios en cuanto a la delimitación de las áreas de distribución de las especies, sin embargo, estas predicciones sólo pueden ser corroboradas con datos de campo que maximicen la exactitud predictiva del algoritmo.

Las aplicaciones que pueden tener los modelos predictivos son sumamente amplias. Los resultados demostraron que a partir de las distribuciones potenciales, la regionalización del estado producto del PAE fue mucho más clara, encontrando dos factores principales que influenciaron en la hipótesis acerca de las relaciones entre las

áreas: historia y ecología. Los análisis revelaron dos áreas principales muy posiblemente atribuible al factor histórico, la ladera norte de la Sierra Madre Oriental con orientación hacia el Golfo de México (región húmeda), y el resto del estado incluyendo la vertiente interna de la Sierra Madre Oriental (SMO), el Eje Neovolcánico (ENV) y la Mesa Central (MC). Dentro de este segundo grupo de áreas, las regiones se dividen ecológicamente en región templada, que es una pequeña parte del ENV; región árida, que abarca la mayor parte del ENV; región semitemplada, que incluye casi toda la MC y región subhúmeda que pertenece a la vertiente interna de la SMO. Con base en lo anterior el PAE puede ser considerado como un método alternativo eficaz para la regionalización de áreas, que además permite entender la distribución actual de las especies y sugerir hipótesis acerca de las relaciones entre las faunas y las áreas que habitan.

Las áreas destinadas a conservación en el estado, particularmente las zonas núcleo de la RBSG no están cubriendo en su totalidad las áreas con mayor riqueza, endemismo, y especies en riesgo, por lo que resulta fundamental la propuesta o delimitación de nuevas áreas naturales protegidas con el fin de salvaguardar de manera integral la biota del estado de Querétaro.

## IX. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Aguilar, R., R. Contreras-Medina y G. Salgado-Maldonado. 2003. Parsimony Analysis of Endemicity (PAE) of Mexican hydrological basins based on helminth parasites of freshwater fishes. *Journal of Biogeography* 30: 1861-1872.
- Almazán-Núñez, R. C. y O. Nova-Muñoz. 2006. La guacamaya verde (*Ara militaris*) en la Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *Huitzil* 7: 20-22.
- Almazán-Núñez, R. C. y A. G. Navarro. 2006. Avifauna de la Subcuenca del río San Juan, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 103-114.
- Álvarez del Toro, M. 1980. Las aves de Chiapas. 2ª. ed. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Álvarez, T. y F. de Lachica. 1991. Zoogeografía de los vertebrados de México. SITESA-IPN. México, D.F.
- American Ornithologist's Union (AOU). 1998. Check list of North American birds. 7<sup>th</sup> ed. American Ornithologist's Union, Washington, D.C.
- Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Arellano-Sanaphre, A. 1997. Distribución altitudinal de la avifauna en la región Santa Inés-Tangojé, Municipio de Landa de Matamoros, Querétaro. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Arizmendi, M. C. y L. Márquez V. (eds.). 2000. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves de México. CONABIO, México, D.F.
- Arreguín-Sánchez, M. L. y R. Fernández-Nava. 2004. Flora de la Sierra Gorda. Pp. 193-214. *En*: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. CONABIO-Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez, E. Loa y J. Larson (Coords.). Regiones Prioritarias Terrestres de México. CONABIO, México, D.F.
- Balleza, J. J., J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2005. Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de

- la familia Asteraceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 71-78.
- Binford, L. C. 1989. A distributional survey of the birds of the Mexican state of Oaxaca. *Ornithological Monographs* 43: 1-405.
- BirdLife International. 2000. Threatened birds of the world. Lynx Edicions and BirdLife International, Barcelona and Cambridge, UK.
- Blake, E. R. 1953. Birds of Mexico. University of Chicago Press.
- Bojorquez-Tapia, L. A., I. Azuara, E. Escurra y O. Flores-Villela. 1995. Identifying conservation priorities in México through geographic information systems and modeling. *Ecological Applications* 5: 215-231.
- Brooks, D. R., M. G. P. van Meller. 2003. Critique of parsimony analysis of endemism as a method of historical biogeography. *Journal of Biogeography* 30: 819-825.
- Carabias-Lillo, J., E. Provencio, J. de la Maza y M. I. Ruiz-Corzo. 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México. 1a. ed. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Carpenter, G., A. N. Gillison y J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667-680.
- Carrasco-Núñez, G., M. Milán y S. P. Verma. 1989. Geología del volcán Zamorano, estado de Querétaro. *Revista del Instituto de Geología, UNAM* 8: 194-201.
- Cavieres, L. A., M. Mico, A. Marticorena, C. Marticorena, O. Matthei y F. Squeo. 2001. Determinación de áreas prioritarias para la conservación: análisis de parsimonia de endemismos (PAE) en la flora de la IV Región de Coquimbo. *En: Squeo F. A., G. Arancio y J. R. Gutiérrez (eds.). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de la Serena, Chile.*
- Ceballos, G., H. Gómez de Silva y M. del Coro Arizmendi. 2002. Áreas prioritarias para la conservación de las aves de México. *Biodiversitas* 41: 1-7
- Crisci, J. V., L. Katinas y P. Posadas. 2000. Introducción a la teoría y práctica de la biogeografía histórica. Sociedad Argentina de Botánica. Buenos Aires.
- Colwell, R. K. 2004. . EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 7. Accesible en Internet:

<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

- Cracraft, J. 1983. Species concepts and speciation analysis. *Current Ornithology* 1: 159-187.
- Croizat, L. 1964. Space, time, form: the biological synthesis. Publicado por el autor. Caracas.
- De la Barrera, B. B. 2006. Patrones de distribución de la avifauna del estado de Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-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. Pp. 1-85.
- Dunn, E. H. 2002. Using decline in bird population to identify needs for conservation action. *Conservation Biology* 16: 1632-1637.
- Eguiluz de A., S., M. Aranda-García y R. Marrett. 2000. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* v. LIII:1-26.
- Eitniear, J. C., S. Aguilar, V. González, R. Pedraza y J. T. Baccus. 2000. New records of bearded wood-partridge, *Dendrortyx barbatus*, (Aves:Phasianidae) in México. *The Southwestern Naturalist* 45: 238-241.
- Escalante, P. 1988. Aves de Nayarit. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nayarit, México.
- Escalante, P., A. G. Navarro y A. T. Peterson. 1998. Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. Pp. 279-304 *En*: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (comps.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Escalante, T. 2003. Determinación de prioridades en las áreas de conservación para los mamíferos terrestres de México, empleando criterios biogeográficos. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología* 74: 211-237.
- Escalante, T., y J. J. Morrone. 2003. ¿Para qué sirve el Análisis de Parsimonia de Endemismos?. Pp. 167-172 *En*: Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía. J. J. Morrone y J. Llorente-Bousquets (eds.). Facultad de Ciencias,

- UNAM. México, D.F.
- Escalante, T., D. Espinosa y J. Llorente B. 2003. Métodos para la identificación, descubrimiento y comparación de patrones biogeográficos: ejemplos en México. Pp. 303-307 *En*: Morrone J. J. y J. Llorente-Bousquets (eds.). Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía. CONABIO-UNAM. México, D.F.
- Espadas-Manrique, C., R. Durán, J. Argáez. 2003. Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Diversity and Distributions* 9: 313-330.
- Espinosa-Organista, D. y J. Llorente B. 1993. Fundamentos de biogeografías filogenéticas. CONABIO/UNAM. México, D.F.
- Espinosa-Organista, D., J. J. Morrone, C. Aguilar-Zuñiga y J. Llorente-Bousquets. 2000. Regionalización biogeográfica de México: provincias bióticas. *En*: Llorente J., E. González y N. Papavero (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento, Vol. III. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F.
- Espinosa-Organista, D., J. J. Morrone, J. Llorente-Bousquets y O. Flores-Villela. 2002. Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Espinosa-Organista, D., C. Aguilar-Zuñiga y T. Escalante. 2003. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. Pp. 31-37. *En*: Llorente J. y J. J. Morrone. Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- ESRI. 2000. Arc View GIS v. 3.2 Environmental Systems Research Inc., USA.
- Feria-Arroyo, T. P. y 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
- Fernández, N. R. y J. A. Colmenero. 1997. Notas sobre la vegetación y flora del municipio de San Joaquín, Querétaro, México. *Polibotánica* 4: 10-36.
- Ferrari, L., M. López-Martínez, G. Aguirre-Días y G. Carrasco-Núñez. 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central México: from the Sierra Madre



- Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology* 27: 303-306.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1998. Geología de México: una sinopsis. Pp. 3-108. *En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (comps.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución.* Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Friedmann, H., L. Griscom y R. T. Moore. 1950. Distributional Check-List of the birds of Mexico: Part. 1. *Pacific Coast Avifauna* 29: 202 pp.
- García-Deras, G. M. 2003. Límites de especies dentro del complejo *Cyananthus latirostris* (Aves : Trochilidae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- García-Trejo, E. A. y 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 (n.s.)* 20: 167-185.
- Garza-Torres, H. A., J. R. Herrera-Herrera, G. Escalona-Segura, J. A. Vargas-Contreras y A. G. Navarro. 2003. New bird records from Tamaulipas, México. *The Southwestern Naturalist* 48: 707-710
- Glasby, C. J. y B. Alvarez. 1999. Distribution patterns and biogeographic analysis of Austral Polychaeta (Annelida). *Journal of Biogeography* 26: 507-533.
- Goldman, E. A. 1951. Biological investigations in Mexico. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 115: 1-476.
- Goloboff, P. A., J. S. Farris y K. Nixon. 2000. TNT: Tree analysis using new technology. Disponible en: [www.cladistics.com](http://www.cladistics.com)
- Gómez de Silva, H. 2002. New distributional and temporal records of Mexican birds. *Cotinga* 18: 89-92.
- Gómez de Silva, H. y R. A. Medellín. 2002. Are land bird assemblages functionally saturated? An empirical test in Mexico. *Oikos* 96: 169-181
- González-Claverán, V. 1989. La expedición científica de Malaspina en Nueva España 1789-1794. El Colegio de México. México, D.F.
- González-García, F. y H. Gómez de Silva. 2003. Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. Pp. 150-194. *En: Gómez de Silva, H. y A. Oliveras de Ita (Eds.). Conservación de aves: experiencias en México.* CIPAMEX, CONABIO, NFWF, México.

- González-García, F., F. Puebla-Olivares, S. Barrios-Monterde, M. Neri-Fajardo y H. Gómez de Silva. 2004. Información adicional sobre la avifauna de los estados de Hidalgo y Querétaro, México, incluyendo nuevos registros estatales. *Cotinga* 22: 56-64.
- González-Salazar, C. 2001. Avifauna de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro, México. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. México, D.F.
- Guisan, A. y N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Guisan, A., S. B. Weiss y A. D. Weiss. 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143: 107-122.
- Gutiérrez-Pérez, A. 2002. Aves en sitios conservados y perturbados de tres hábitats en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Hernández-Cerda, M. E. y G. Carrasco-Anaya. 2004. Climatología. Pp. 63-108. *En:* Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. CONABIO-UNAM. México, D.F.
- Hernández, L., F. Magallán y O. Ibarra. 2000. Vegetación y uso de suelo. Pp. 46-62. *En:* R. Pineda y L. Hernández (eds.). La microcuenca de Santa Catarina: estudios para su conservación y manejo. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Herrera-Paniagua, P. 2005. Análisis biogeográfico de los musgos del estado de Querétaro. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones y A. Jarvis. 2004. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3. Disponible en <http://biogeo.berkeley.edu/>
- Hortal, J., P. A. V. Borges y C. Gaspar. 2006. Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *Journal of An. Ecol.* 75: 274-287.
- Howell, S. N. G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press.
- Humphries, C. J. y L. R. Parenti. 1999. Cladistic biogeography. 2da ed. Academic Press

- London.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. Yale University, New Haven, Connecticut.
- INEGI. 1986. Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del estado de Querétaro. México
- Jiménez-Espinosa. 2001. Análisis comparativo entre la avifauna de un bosque de encino-pino natural y otro fragmentado en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro. FES Iztacala, UNAM. Edo. México, México.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8: 151-161.
- Koleff, P. y E. Moreno 2006. Áreas protegidas de México y representación de la riqueza. Pp. 351-373. *En: Llorente-Bousquets J. y J. J. Morrone (eds.). Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines. CYTED-UNAM-CONABIO. México. D.F.*
- Liebig-Fossas, I. 2004. Estudio avifaunístico del estado de Sinaloa: análisis y perspectivas de conservación. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Lindenmayer, D. B., H. A. Nix, J. P. McMahon, M. F. Hutchinson y M. T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18:371-383.
- Llorente, B., I. Luna, J. Soberón y L. Bojórquez. 1994. Biodiversidad, su inventario y conservación: teoría y práctica en la taxonomía alfa contemporánea: *En: Llorente, J. e I. Luna (comps.). Taxonomía biológica. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.*
- Lobo, J. y J. Hortal. 2003. Modelos predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas*, 1/2003 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion3.htm>).
- López de Aquino, S. 2003. Análisis de la distribución ecológica y geográfica de las aves endémicas y bajo alguna categoría de riesgo del estado de Querétaro, México. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla,

- México.
- Loiselle, B. A., C. A. Howell, C. H. Graham, J. M. Goerck, T. Brooks, K. G. Smith y P. H. Williams. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology* 17: 1591-1600.
- Luna-Soria, H., K. Pelz, E. Ponce, R. Sierra y C. A. López-González. 2004. Áreas prioritarias para la conservación y manejo de los mamíferos del estado de Querétaro. Simposio "La investigación y el desarrollo tecnológico en Querétaro". Querétaro, México.
- Luna-Vega, I. y O. Alcántara. 2003. Análisis de simplicidad de endemismos (PAE) para establecer un modelo de vicarianza preliminar del bosque mesófilo de montaña mexicano. Pp. 273-277. *En: Llorente-Bousquets J. y J. J. Morrone (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones.* Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Luna-Vega, I., J. J. Morrone y D. Espinosa-Organista (eds.). 2004. Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. CONABIO-UNAM. México, D.F.
- Luna-Vega, I., O. Alcántara, J. J. Morrone y D. Espinosa. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forest of Hidalgo, Mexico. *Diversity and Distributions* 6: 137-143.
- Martínez-Meyer, E., A. T. Peterson y A. G. Navarro-Sigüenza. 2004. Evolution of seasonal ecological niches in the *Passerina* buntings (Aves: Cardinalidae). *Proc. R. Society London* 271: 1151-1157.
- Mayr, E. 1988. The contributions of birds to evolutionary theory. Pp. 2718-2723. *In: H. Ouellet (ed.). Acta XIX Congr. Inter. Ornithol. Vol. II.* Univ. Ottawa Press, Ottawa, Canada.
- Microsoft Corporation 1999. Microsoft Access 2000 (9.0.2812).
- Miller, A. H., H. Friedmann, L. Griscom R. T. Moore. 1957. Distributional Check-List of the birds of Mexico: Part 2. *Pacific Coast Avifauna* 33: 436 pp.
- Morrone, J. J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology* 43: 438-441.
- Morrone, J. J. 2001a. Sistemática, biogeografía, evolución: Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

- Morrone, J. J. 2001b. Homology, biogeography, and areas of endemism. *Diversity and Distributions* 7: 297-300.
- Morrone, J. J. 2004. Homología biogeográfica: las coordenadas espaciales de la vida. Cuadernos 37. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Morrone, J. J. y J. V. Crisci. 1995. Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 373-401
- Morrone, J. J. y A. Ruggiero. 2000. Como planificar un análisis biogeográfico. *Dugesiana* 7: 1-8
- Morrone, J. J. y J. Márquez. 2001. Halffter's Mexican Transition Zone, beetle generalized tracks, and geographical homology. *Journal of Biogeography* 28: 635-650.
- Nakazawa, Y., A. T. Peterson, E. Martínez-Meyer y A. Navarro-Sigüenza. 2004. Seasonal niches of nearctic-neotropical migratory birds: Implications for the evolution of migration. *Auk* 121: 610-618
- National Geographic Society. 1999. Field guide to the birds of North America. National Geographic Society. Third Edition. Washington, D.C.
- Navarro, A. G. 1998. Distribución geográfica y ecológica de la avifauna del estado de Guerrero, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Navarro, A. G. y H. Benítez. 1993. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Revista Ciencias No. esp.* 7: 45-54.
- Navarro, A. G. y L. A. Sánchez-González. 2003. La diversidad de las aves. Pp. 24-85. *En*: H. Gómez de Silva y A. Oliveras de Ita (Eds.). Conservación de las aves: experiencias en México. CIPAMEX, CONABIO, NFWF, México.
- Navarro, A. G. y A. T. Peterson. 2004. An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica* 4: 1-32.
- Navarro, A. G., L. León-Paniagua y B. Hernández-Baños. 1991. Notas sobre las aves del Estado de Querétaro, México. *The Southwestern Naturalist* 36: 361-364
- Navarro, A. G., B. Hernández-Baños y H. Benítez. 1993. Las aves del estado de Querétaro, México. Listados Faunísticos de México. *Instituto de Biología, UNAM* 4: 1-75.

- Navarro, A. G., A. T. Peterson y A. Gordillo-Martínez. 2003a. Museums working together: the atlas of the birds of México. Pp. 207-225 *In*: Collar, N., C. Ficher, and C. Feare (Eds.). *Why Museums matter: avian archives in an age of extinction. Bulletin British Ornithologists' Club Supplement 123A.*
- Navarro, A. G., A. T. Peterson, Y. Nakazawa-Ueji y I. Liebig-Fossas. 2003b. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. Pp. 115-122. *En*: Morrone J. J. y J. Llorente (Eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía.* CONABIO-UNAM, México.
- Navarro, A. G., H. A. Garza-Torres, S. López De Aquino, O. Rojas-Soto y L. A. Sánchez-González. 2004a. Patrones biogeográficos de la avifauna de la Sierra Madre Oriental, México. Pp. 439-467. *En*: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental.* CONABIO-Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Navarro, A. G., E. A. García-Trejo, A. T. Peterson y V. Rodríguez-Contreras. 2004b. Aves. Pp. 391-421. *En*: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca.* Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México.
- Nihei, S. S. Misconceptions about parsimony analysis of endemism. *Journal of Biogeography* 33: 2099-2106.
- Nix, H. A. 1986. BIOCLIM – a bioclimatic analysis and prediction system. C.S.I.R.O. Division Water and Land Resources Research Annual Report. Pp. 59-60. C.S.I.R.O., Canberra .
- Nixon, K. C. 2002. Winclada v. 1.00.24 v. Beta. University of Cornell, Ithaca, Nueva York.
- Ochoa, L. M. y O. A. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. UNAM-CONABIO. México, D.F. 211 pp.
- Ojasti, J. 2000. Manejo de fauna silvestre neotropical. F. Dallmeier (ed.). SIMAB Series No. 5. Smithsonian Institution/MAB Program, Washington, D.C.
- Olden, J. D. 2003. A species-specific approach to modeling biological communities and its potential for conservation. *Conservation Biology* 17: 854-863.
- Ortega-Huerta, M. A. y A. T. Peterson. 2004. Modelling spatial patterns of biodiversity

- for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions* 10: 39-54
- Padilla, G., U. 1996. Distribución herpetofaunística del noreste del estado de Querétaro en un gradiente altitudinal y de vegetación. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Pedraza, R. R., A. Arellano-Sanaphre y N. Gaucín. 2000. Sótano del Barro. Pp. 217. *En: Arizmendi, M. C. y L. M. Valdelamar. Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en México.* CONABIO, México, D.F.
- Peterson, R. T. y E. L. Chalif. 1989. Guía de campo de las Aves de México. Ed. Diana, México D.F. 473 pp.
- Peterson, A. T. 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains birds: generalities of biodiversity consequences. *Global Change Biology* 9: 647-655.
- Peterson, A. T. 2005. Kansas Gap analysis: the importance of validating distributional models before using them. *The Southwestern Naturalist* 50: 230-236.
- Peterson, A. T. y V. Sánchez-Cordero. 1994. Nuevas ideas, nuevas metas y un estudio biológico nacional. Pp. 262-265. *En: Michán L. y J. Llorente-Bouesquets (comps.). La taxonomía en México en la segunda mitad del siglo XX.* Publicaciones docentes del Museo de Zoología, UNAM. México, D.F.
- Peterson, A. T. y K. P. Cohoon. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling* 117: 159-164
- Peterson, A. T. y A. G. Navarro. 1999. Alternative species concepts as bases for determining priority conservation areas. *Conservation Biology* 133: 427-431.
- Peterson, A. T. y A. G. Navarro. 2000. Western México: a significant center of avian endemism and challenge for conservation action. *Cotinga* 14: 42-46.
- Peterson, A. T. y R. D. Holt. 2003. Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecology Letters* 6: 774-782.
- Peterson, A. T. y C. R. Robins. 2003. Using ecological-niche modeling to predict barred owl invasions with implications for Spotted Owl Conservation. *Conservation Biology* 17: 1161-1165.
- Peterson, A. T., A. G. Navarro-Sigüenza y H. Benítez-Díaz. 1998. The need for

- continued scientific collecting; a geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* 140: 288-294.
- Peterson, A. T., S. L. Egbert, V. Sánchez-Cordero y K. P. Price. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.
- Peterson, A. T., V. Sánchez-Cordero, C. B. Beard y J. M. Ramsey. 2002a. Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 8: 662-667.
- Peterson, A. T., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R. H. Buddemeier y D. Stockwell. 2002b. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626-629
- Peterson, A. T., G. Escalona-Segura, K. Zyskowski, D. A. Kluza, y B. E. Hernández-Baños. 2003. Avifaunas of two dry forest sites in Northern Oaxaca, México. *Huitzil* 4: 3-9
- Pizarro-Araya, J. y V. Jerez. 2004. Distribución geográfica del género *Gryiosomus* Guérin-Ménéville, 1834 (Coleoptera: Tenebrionidae): una aproximación biogeográfica. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 491-500.
- Porzecanski, A. L. y J. Cracraft. 2005. Cladistic analysis of distributions and endemism (CADE): using raw distributions of birds to unravel the biogeography of the South American aridlands. *Journal of Biogeography* 32: 261-275.
- Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (PEOT). 2004. Gobierno del estado de Querétaro-Secretaría de Desarrollo Sustentable. Santiago de Querétaro.
- Pulliam, H. R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters* 3: 349-361.
- Rapoport, E. H. y J. A. Monjeau. 2003. Areografía. Pp. 23-30. *En*: Llorente J. y J. J. Morrone (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Rice, N. H., E. Martínez-Meyer y A. T. Peterson. 2003. Ecological niche differentiation in the *Aphelocoma* jays: a phylogenetic perspective. *Biological Journal of the Linnnean Society* 80: 369-383.
- Ridgway, R. y H. Friedmann. 1901-1945. The birds of North and Middle America.



*Smithsonian Inst. Bull.* 50: 1-11

- Ríos-Muñoz, C. A. 2002. Caracterización geográfica de la familia Psittacidae (Aves) utilizando un modelo predictivo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Ríos-Muñoz, C. A. 2006. Patrones biogeográficos de la avifauna de las selvas secas de Mesoamérica. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Rodríguez-Yáñez, C. A., R. Villalón y A. G. Navarro. 1994. Bibliografía de las aves de México (1825-1992). *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM* 8: 1-146
- Rojas-Soto, O. R. 1995. Riqueza y distribución de las aves del estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Rojas-Soto, O. R., F. J. Sahagún-Sánchez y A. G. Navarro S. 2001. Additional information on the avifauna of Querétaro, México. *Cotinga* 15: 48-52
- Rojas-Soto, O. R., S. López de Aquino, L. A. Sánchez-González y B. E. Hernández-Baños. 2002. La colecta científica en el Neotrópico: el caso de las aves de México. *Ornitología Neotropical* 13: 209-214.
- Rojas-Soto, O. R., O. Alcántara-Ayala y A. G. Navarro-Sigüenza. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, México: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography* 30: 449-461.
- Rojas-Soto, O. R. y A. Oliveras de Ita. 2005. Los inventarios avifaunísticos: reflexiones sobre su desarrollo en el neotrópico. *Ornitología Neotropical* 16: 1-5.
- Rosen, B. R. 1988. From fossils to earth history: Applied historical biogeography, pp. 437-481. *En: Myers, A. A. y P. Giller (eds.), Analytical biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distributions*, Chapman and Hall, Londres.
- Rovito, S. M., M. T. K. Arroyo y P. Plischoff. 2004. Distributional modelling and parsimony analysis of endemism of *Senecio* in the Mediterranean-type climate area of Central Chile. *Journal of Biogeography* 31: 1623-1636.
- Sahagún-Sánchez, F. J. 2003. Análisis de los patrones de distribución espacial de la avifauna del estado de Querétaro. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias,

- UNAM. México, D.F.
- Sánchez-Cordero, V., A. T. Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. Pp. 359-379. *En: Hernández H. M., A. N. García-Aldrete, F. Álvarez y M. Ulloa (Comps.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.*
- Sánchez-González, L. A. 2002. Variación geográfica y límites de especies en las poblaciones de *Chlorospingus ophthalmicus* (Aves: Thraupidae) de Mesoamérica. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Santos, C. M. D. 2005. Parsimony analysis of endemism: time for an epitaph? *Journal of Biogeography* 32: 1284-1286.
- Schaldach, W. J. 1969. Further notes on the avifauna of Colima and adjacent Jalisco, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología* 40: 299-315.
- Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti, N. Ross, B. Butterfield, C. Groves, H. Anderson, S. L. Caicco, F. D' Ericha, T. C. Edwards, J. Ullman y R. G. Wright. 1993. Gap analysis: a geographic approach to the protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 23:1-41.
- Segurado, P. y M. B. Araújo. 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography* 31: 1555-1568
- Shaw, D. M. y S. F. Atkinson. 1990. An introduction to the use of geographic information systems for ornithological research. *Condor* 92: 564-570.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction species richness. *Conservation Biology* 7: 480-488.
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Stattersfield, J. A., M. J. Crosby, A. J. Longand y C. Webe. 1998. Endemic Birds Areas of the World. Priorities for biodiversity conservation. BirdLife International. Series No. 7.
- Stockman, A. K., D. Beamer y J. E. Bond. 2006. An evaluation of a GARP model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species. *Diversity and Distribution* 12: 81-89.

- Stockwell, D. R. B. y I. R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33: 385-390
- Stockwell, D. R. B. y D. Peters. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Int. J. Geographical Information Science* 13: 143-158.
- Stockwell, D. R. B. y A. T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148: 1-13.
- Trejo-Torres, J. C. y J. D. Ackerman 2001. Biogeography of the Antilles based on a parsimony analysis of orchid distributions. *Journal of Biogeography* 28: 775-794
- Urbina, T. F. 2005. Análisis de la distribución de la avifauna del estado de Morelos, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Villaseñor, J. L. y O. Téllez-Valdés. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 75(2): 205-220.
- Zamudio S., J Rzedowski, E. Carranza y G. Calderón de Rzedowski. 1992. La vegetación en el estado de Querétaro. CONCYTEQ-Centro Regional del Bajío, Querétaro. Querétaro, México.
- Zink, R. M. y S. Hackett. 1986. Historical biogeographic patterns in the avifauna of North America. XIX Congr. Intern. Ornitol. Ottawa, Canada 2:2573-2580.
- Zink, R. M. y M. C. Mckitrick. 1995. The debate over species concepts and its implications for ornithology. *Auk* 112: 701-719
- Zunino, M. y A. Zullini. 2003. Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

**Apéndice 1.** Lista sistemática de las aves que se registraron en el estado de Querétaro. Las fuentes que se utilizaron han sido mencionadas en el texto. El arreglo sistemático y la nomenclatura de las especies sigue lo mencionado por la AOU (1998). **Estacionalidad:** R = residente, MI = migratorio de invierno, MV = migratorio de verano, T = transitorio, A = accidental. **Endemismo:** E = Endémica a México, Q = cuasiendémica. **NOM-059-2001:** Pr = sujeta a protección especial, A = amenazada, P = en peligro de extinción. **BirdLife (2000):** E = Endangered, NT = Near Threatened, VU = vulnerable.

TAXÓN	ESTACIONALIDAD	ENDEMISMO	NOM-059	BIRD LIFE
<b>TINAMIFORMES</b>				
TINAMIDAE				
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	R			
<b>ANSERIFORMES</b>				
ANATIDAE				
<i>Aix sponsa</i>	MI			
<i>Anas americana</i>	MI			
<i>Anas diazi</i>	R		A	
<i>Anas discors</i>	MI			
<i>Anas clypeata</i>	MI			
<i>Anas acuta</i>	MI			
<i>Anas crecca</i>	MI			
<i>Aythya americana</i>	MI			
<i>Aythya affinis</i>	MI			
<b>GALLIFORMES</b>				
CRACIDAE				
<i>Ortalis vetula</i>	R			
<i>Penelope purpurascens</i>	R		A	
<i>Crax rubra</i>	R		A	NT
PHASIANIDAE				
<i>Dendrortyx barbatus</i>	R	E	P	VU
<i>Callipepla squamata</i>	R			
<i>Colinus virginianus</i>	R			NT
<i>Dactylortyx thoracicus</i>	R		Pr	
<b>PODICIPEDIFORMES</b>				
PODICIPEDIDAE				
<i>Tachybaptus dominicus</i>	R		Pr	
<i>Podilymbus podiceps</i>	R			
<i>Podiceps nigricollis</i>	MI			
<b>PELECANIFORMES</b>				
PELECANIDAE				
<i>Pelecanus occidentalis</i>	A			
PHALACROCORACIDAE				
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	R			
<b>CICONIIFORMES</b>				
ARDEIDAE				

<i>Ardea herodias</i>	MI			
<i>Ardea alba</i>	MI			
<i>Egretta thula</i>	MI			
<i>Egretta caerulea</i>	MI			
<i>Bubulcus ibis</i>	R			
<i>Butorides virescens</i>	R-MI			
<i>Nycticorax nycticorax</i>	R-MI			
THRESKIORNITHIDAE				
<i>Plegadis chihi</i>	R-MI			
CICONIIDAE				
<i>Mycteria americana</i>	A		Pr	
CATHARTIDAE				
<i>Cathartes aura</i>	R			
<i>Coragyps atratus</i>	R			
<b>FALCONIFORMES</b>				
ACCIPITRIDAE				
<i>Pandion haliaetus</i>	T			
<i>Circus cyaneus</i>	MI			
<i>Accipiter cooperii</i>			Pr	
<i>Accipiter striatus</i>	R		Pr	
<i>Asturina nitida</i>	R			
<i>Buteo swainsoni</i>	T		Pr	
<i>Buteo albicaudatus</i>	A		Pr	
<i>Buteo jamaicensis</i>	R			
<i>Aquila chrysaetos</i>	R		A	
FALCONIDAE				
<i>Caracara cheriway</i>	R			
<i>Falco sparverius</i>	R			
<i>Falco columbarius</i>	MI			
<i>Falco rufigularis</i>	R			
<i>Falco peregrinus</i>	R		Pr	
<b>GRUIFORMES</b>				
RALLIDAE				
<i>Gallinula chloropus</i>	R			
<i>Fulica americana</i>	R			
<b>CHARADRIIFORMES</b>				
CHARADRIIDAE				
<i>Charadrius vociferus</i>	R			
RECURVIROSTRIDAE				
<i>Himantopus mexicanus</i>	R			
<i>Recurvirostra americana</i>	R			
SCOLOPACIDAE				
<i>Tringa melanoleuca</i>	MI			
<i>Tringa solitaria</i>	MI			
<i>Actitis macularia</i>	MI			
<i>Calidris mauri</i>	MI			

<i>Calidris minutilla</i>	MI			
<i>Calidris bairdii</i>	T			
<i>Limnodromus scolopaceus</i>	MI			
<i>Gallinago delicata</i>	MI			
<i>Phalaropus tricolor</i>	T			
<b>COLUMBIFORMES</b>				
<b>COLUMBIDAE</b>				
<i>Columba livia</i>	R			
<i>Patagioenas fasciata</i>	R			
<i>Zenaida asiatica</i>	R			
<i>Zenaida macroura</i>	R			
<i>Columbina inca</i>	R			
<i>Columbina passerina</i>	R			
<i>Columbina talpacoti</i>	R			
<i>Leptotila verreauxi</i>	R			
<i>Leptotila rufaxilla</i>	R			
<i>Patagioenas flavirostris</i>	R			
<b>PSITTACIFORMES</b>				
<b>PSITTACIDAE</b>				
<i>Aratinga holochlora</i>	R	E	A	
<i>Aratinga nana</i>	R		Pr	
<i>Ara militaris</i>	R		P	VU
<i>Pionus senilis</i>	R		A	
<i>Amazona viridigenalis</i>	R	Q	P	E
<i>Amazona autumnalis</i>	R			
<b>CUCULIFORMES</b>				
<b>CUCULIDAE</b>				
<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	T			
<i>Piaya cayana</i>	R			
<i>Geococcyx velox</i>	R			
<i>Geococcyx californianus</i>	R			
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	R			
<b>STRIGIFORMES</b>				
<b>TYTONIDAE</b>				
<i>Tyto alba</i>	R			
<b>STRIGIDAE</b>				
<i>Otus flammeolus</i>	T			
<i>Megascops kennicottii</i>	R			
<i>Megascops trichopsis</i>	R			
<i>Megascops guatemalae</i>	R			
<i>Bubo virginianus</i>	R			
<i>Glaucidium gnoma</i>	T			
<i>Glaucidium brasilianum</i>	R			
<i>Micrathene whitneyi</i>	T			
<i>Athene cunicularia</i>	R			
<i>Ciccaba virgata</i>	R			

<i>Aegolius acadicus</i>	R			
<i>Megascops asio</i>	A		Pr	
<b>CAPRIMULGIFORMES</b>				
CAPRIMULGIDAE				
<i>Chordeiles acutipennis</i>	R			
<i>Caprimulgus vociferus</i>	MI			
<b>APODIFORMES</b>				
APODIDAE				
<i>Streptoprocne rutila</i>	R			
<i>Chaetura vauxi</i>	T			
<i>Aeronautes saxatalis</i>	R			
TROCHILIDAE				
<i>Campylopterus curvipennis</i>	R			
<i>Colibri thalassinus</i>	R			
<i>Chlorostilbon canivetti</i>	R			
<i>Cynanthus latirostris</i>	R			
<i>Hylocharis leucotis</i>	R			
<i>Amazilia candida</i>	R			
<i>Amazilia cyanocephala</i>	R			
<i>Amazilia yucatanensis</i>	R	Q		
<i>Amazilia violiceps</i>	R			
<i>Lampornis amethystinus</i>	R			
<i>Lampornis clemenciae</i>	R			
<i>Eugenes fulgens</i>	R			
<i>Calothorax lucifer</i>	MV			
<i>Archilochus colubris</i>	T			
<i>Archilochus alexandri</i>	T			
<i>Atthis heloisa</i>	R	E		
<i>Selasphorus platycercus</i>	MV			
<i>Selasphorus rufus</i>	T			
<b>TROGONIFORMES</b>				
TROGONIDAE				
<i>Trogon violaceus</i>	R			
<i>Trogon mexicanus</i>	R			
<i>Trogon elegans</i>	R			
<i>Trogon collaris</i>	R		Pr	
<b>CORACIIFORMES</b>				
MOMOTIDAE				
<i>Momotus momota</i>	R			
<i>Ceryle torquatus</i>	R			
<i>Ceryle alcyon</i>	MI			
<i>Chloroceryle americana</i>	R			
<b>PICIFORMES</b>				
RAMPHASTIDAE				
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	R		Pr	
PICIDAE				

<i>Melanerpes formicivorus</i>	R			
<i>Melanerpes aurifrons</i>	R			
<i>Sphyrapicus varius</i>	MI			
<i>Sphyrapicus nuchalis</i>	MI			
<i>Picoides scalaris</i>	R			
<i>Picoides villosus</i>	R			
<i>Veniliornis fumigatus</i>	R			
<i>Piculus rubiginosus</i>	R	E		
<i>Colaptes auratus</i>	R			
<i>Dryocopus lineatus</i>	R			
<i>Campephilus guatemalensis</i>	R		Pr	
<b>PASSERIFORMES</b>				
<b>DENDROCOLAPTIDAE</b>				
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	R			
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	R			
<i>Lepidocolaptes affinis</i>	R			
<i>Xiphocolaptes promeropirhynchus</i>	R			
<b>TYRANNIDAE</b>				
<i>Camptostoma imberbe</i>	R			
<i>Mitrephanes phaeocercus</i>	R			
<i>Contopus pertinax</i>	R			
<i>Contopus sordidulus</i>	MV			
<i>Empidonax minimus</i>	T			
<i>Empidonax hammondii</i>	MI			
<i>Empidonax wrightii</i>	MI			
<i>Empidonax oberholseri</i>	MI			
<i>Empidonax affinis</i>	R	Q		
<i>Empidonax difficilis</i>	R			
<i>Empidonax occidentalis</i>	R			
<i>Empidonax fulvifrons</i>	R			
<i>Sayornis nigricans</i>	R			
<i>Sayornis phoebe</i>	MI			
<i>Sayornis saya</i>	R			
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	R			
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	R			
<i>Myiarchus cinerascens</i>	MV			
<i>Myiarchus nuttingi</i>	R			
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	R			
<i>Pitangus sulphuratus</i>	R			
<i>Megarynchus pitangua</i>	R			
<i>Myiozetetes similis</i>	R			
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	MV			
<i>Tyrannus couchii</i>	R			
<i>Tyrannus vociferans</i>	R			
<i>Tyrannus verticalis</i>	T			
<i>Tyrannus forficatus</i>	T			



<i>Tyrannus melancholicus</i>	R			
<i>Pachyramphus major</i>	R			
<i>Pachyramphus aglaiae</i>	R			
<i>Tityra semifasciata</i>	R			
LANIIDAE				
<i>Lanius ludovicianus</i>	R			
VIREONIDAE				
<i>Vireo griseus</i>	R			
<i>Vireo nelsoni</i>	R	E	Pr	
<i>Vireo cassinii</i>	MI			
<i>Vireo solitarius</i>	MI			
<i>Vireo huttoni</i>	R			
<i>Vireo gilvus</i>	T			
<i>Vireo leucophrys</i>	R			
<i>Vireo olivaceus</i>	T			
<i>Vireo flavoviridis</i>	MV			
<i>Vireolanius melitophrys</i>	R	Q		
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	R			
CORVIDAE				
<i>Cyanocitta stelleri</i>	R			
<i>Cyanocorax yncas</i>	R			
<i>Cyanocorax morio</i>	R			
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	R			
<i>Aphelocoma californica</i>	R			
<i>Corvus cryptoleucus</i>	R-MI			
<i>Corvus corax</i>	R			
ALAUDIDAE				
<i>Eremophila alpestris</i>	R			
HIRUNDINIDAE				
<i>Tachycineta thalassina</i>	R			
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	T			
<i>Petrochelidon fulva</i>	R			
<i>Hirundo rustica</i>	R-MV			
PARIDAE				
<i>Baeolophus wollweberi</i>	R			
<i>Baeolophus bicolor</i>	R			
REMIZIDAE				
<i>Auriparus flaviceps</i>	R			
AEGITHALIDAE				
<i>Psaltriparus minimus</i>	R			
SITTIDAE				
<i>Sitta carolinensis</i>	R			
TROGLODYTIDAE				
<i>Campylorhynchus gularis</i>	R	E		
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	R			
<i>Salpinctes obsoletus</i>	R			

<i>Catherpes mexicanus</i>	R			
<i>Thryothorus maculipectus</i>	R			
<i>Thryomanes bewickii</i>	R			
<i>Troglodytes aedon</i>	MI			
<i>Henicorhina leucosticta</i>	R			
<i>Henicorhina leucophrys</i>	R			
CINCLIDAE				
<i>Cinclus mexicanus</i>	R		Pr	
REGULIDAE				
<i>Regulus calendula</i>	MI			
SYLVIIDAE				
<i>Polioptila caerulea</i>	R			
<i>Polioptila melanura</i>	R			
TURDIDAE				
<i>Sialia sialis</i>	R			
<i>Sialia mexicana</i>	R			
<i>Myadestes occidentalis</i>	R		Pr	
<i>Myadestes unicolor</i>	R		A	
<i>Catharus aurantiirostris</i>	R			
<i>Catharus occidentalis</i>	R	E		
<i>Catharus ustulatus</i>	T			
<i>Catharus guttatus</i>	MI			
<i>Catharus frantzii</i>	R		A	
<i>Catharus mexicanus</i>	R		Pr	
<i>Turdus infuscatus</i>	R		A	
<i>Turdus grayi</i>	R			
<i>Turdus assimilis</i>	R			
<i>Turdus migratorius</i>	R-MI			
MIMIDAE				
<i>Dumetella carolinensis</i>	MI			
<i>Mimus polyglottos</i>	R			
<i>Oreoscoptes montanus</i>	MI			
<i>Toxostoma longirostre</i>	R	Q		
<i>Toxostoma ocellatum</i>	R	E		
<i>Toxostoma curvirostre</i>	R			
<i>Melanotis caerulescens</i>	R	E	Pr	
<i>Toxostoma crissale</i>	R			
STURNIDAE				
<i>Sturnus vulgaris</i>	A			
MOTACILLIDAE				
<i>Anthus rubescens</i>	MI			
BOMBYCILLIDAE				
<i>Bombycilla cedrorum</i>	MI			
PTILOGONATIDAE				
<i>Ptilogonys cinereus</i>	R	Q		
<i>Phainopepla nitens</i>	R			

PEUCEDRAMIDAE				
<i>Peucedramus taeniatus</i>	R			
PARULIDAE				
<i>Vermivora pinus</i>	MI			
<i>Vermivora celata</i>	MI			
<i>Vermivora ruficapilla</i>	MI			
<i>Parula superciliosa</i>	R			
<i>Parula pitiayumi</i>	R			
<i>Dendroica petechia</i>	T-MV			
<i>Dendroica magnolia</i>	MI			
<i>Dendroica coronata</i>	MI			
<i>Dendroica nigrescens</i>	MI			
<i>Dendroica virens</i>	MI			
<i>Dendroica townsendi</i>	MI			
<i>Dendroica occidentalis</i>	MI			
<i>Dendroica fusca</i>	T			
<i>Dendroica graciae</i>				
<i>Mniotilta varia</i>	MI			
<i>Setophaga ruticilla</i>	T			
<i>Seiurus aurocapillus</i>	MI			
<i>Seiurus motacilla</i>	MI			
<i>Oporornis tolmiei</i>	MI		A	
<i>Geothlypis trichas</i>	MI-T			
<i>Geothlypis nelsoni</i>	R			
<i>Wilsonia pusilla</i>	MI			
<i>Cardellina rubrifrons</i>	MI			
<i>Myioborus pictus</i>	R			
<i>Myioborus miniatus</i>	R			
<i>Euthlypis lacrymosa</i>	R			
<i>Basileuterus culicivorus</i>	R			
<i>Basileuterus rufifrons</i>	R	Q		
<i>Basileuterus belli</i>	R			
<i>Icteria virens</i>	T			
THRAUPIDAE				
<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>	R			
<i>Habia rubica</i>	R			
<i>Piranga flava</i>	R			
<i>Piranga rubra</i>	MI			
<i>Piranga ludoviciana</i>	MI			
<i>Piranga bidentata</i>	R			
<i>Piranga leucoptera</i>	R			
<i>Thraupis abbas</i>	R			
EMBERIZIDAE				
<i>Sporophila torqueola</i>	R			
<i>Tiaris olivacea</i>	R			
<i>Diglossa baritula</i>	R			

<i>Atlapetes pileatus</i>	R	E		
<i>Buarremon brunneinucha</i>	R			
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	R	Q		
<i>Pipilo chlorurus</i>	MI			
<i>Pipilo maculatus</i>	R			
<i>Pipilo fuscus</i>	R			
<i>Aimophila ruficauda</i>	A			
<i>Aimophila botterii</i>	R			
<i>Aimophila ruficeps</i>	R			
<i>Aimophila rufescens</i>	R			
<i>Oriturus superciliosus</i>	R	E		
<i>Spizella passerina</i>	R			
<i>Spizella pallida</i>	MI			
<i>Spizella breweri</i>	MI			
<i>Spizella atrogularis</i>	R			
<i>Poocetes gramineus</i>	MI			
<i>Chondestes grammacus</i>	MI			
<i>Amphispiza bilineata</i>	R			
<i>Calamospiza melanocorys</i>	MI			
<i>Passerculus sandwichensis</i>	R-MI			
<i>Ammodramus savannarum</i>	MI			
<i>Melospiza melodia</i>	R			
<i>Melospiza lincolnii</i>	MI			
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	MI			
<i>Junco phaeonotus</i>	R	Q		
CARDINALIDAE				
<i>Saltator atriceps</i>	R			
<i>Rhodothraupis celaeno</i>	R	E		
<i>Cardinalis cardinalis</i>	R			
<i>Cardinalis sinuatus</i>	R			
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	MI			
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	R			
<i>Cyanocompsa parellina</i>	R			
<i>Passerina caerulea</i>	R			
<i>Passerina cyanea</i>	MI			
<i>Passerina versicolor</i>	R			
<i>Passerina ciris</i>	T			NT
ICTERIDAE				
<i>Agelaius phoeniceus</i>	R			
<i>Sturnella magna</i>	R			
<i>Xanthocephalus xanthocephalus</i>	MI			
<i>Dives dives</i>	R			
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	MI			
<i>Quiscalus mexicanus</i>	R			
<i>Molothrus aeneus</i>	R			
<i>Molothrus ater</i>	R			

<i>Icterus wagleri</i>	R			
<i>Icterus cucullatus</i>	T			
<i>Icterus bullockii</i>	R			
<i>Icterus gularis</i>	R			
<i>Icterus graduacauda</i>	R	Q		
<i>Icterus galbula</i>	MI			
<i>Icterus parisorum</i>	R			
<i>Psarocolius montezuma</i>	R		Pr	
FRINGILLIDAE				
<i>Euphonia affinis</i>	R			
<i>Euphonia hirundinacea</i>	R			
<i>Euphonia elegantissima</i>	R			
<i>Carpodacus mexicanus</i>	R			
<i>Loxia curvirostra</i>	R			
<i>Carduelis pinus</i>	R			
<i>Carduelis notata</i>	R			
<i>Carduelis psaltria</i>	R			
<i>Coccothraustes abeillei</i>	R	Q		
PASSERIDAE				
<i>Passer domesticus</i>	R			

**Apéndice 2.** Especies hipotéticas. Se muestra el nombre común y si son endémicas (e) o cuasiendémicas (q) a México.

Nombre científico	Nombre común	end
Orden Anseriformes Familia Anatidae		
<i>Anas strepera</i> Linnaeus, 1758	pato friso	
<i>Anas cyanoptera</i> Vieillot, 1816	cerceta canela	
<i>Aythya valisineria</i> (Wilson, 1814)	pato coacoxtle	
<i>Aythya collaris</i> Donovan, 1809	pato pico-anillado	
<i>Bucephala albeola</i> (Linnaeus, 1758)	pato monja	
<i>Oxyura jamaicensis</i> (Gmelin, 1758)	pato tepalcate	
Orden Galliformes Familia Odontophoridae		
<i>Cyrtonyx montezumae</i> (Vigors, 1830)	codorniz Moctezuma	
Familia Phasianidae		
<i>Meleagris gallopavo</i> (Linnaeus, 1758)	guajolote norteño	
Orden Podicipediformes Familia Podicipedidae		
<i>Aechmophorus occidentalis</i> (Lawrence, 1858)	achichilique pico-amarillo	
<i>Aechmophorus clarkii</i> (Lawrence, 1858)	achichilique pico-naranja	
Orden Pelacaniformes Familia Pelecanidae		
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i> Gmelin, 1789	pelicano blanco	
Familia Anhingidae		
<i>Anhinga anhinga</i> (Linnaeus, 1766)	anhinga americana	
Orden Ciconiformes Familia Ardeidae		
<i>Ixobrychus exilis</i> (Gmelin, 1789)	avetoro mínimo	
<i>Egretta tricolor</i> (Müller, 1776)	garceta tricolor	
<i>Cochlearius cochlearius</i> (Linnaeus, 1766)	garza cucharón	
<i>Nyctanassa violacea</i> (Linnaeus, 1758)	pedrete corona-clara	

Nombre científico	Nombre común	end
<i>Botaurus lentiginosus</i> (Rackett, 1813)	avetoro norteño	
<i>Tigrisoma mexicanum</i> Swainson, 1834	garza-tigre mexicana	
Orden Falconiformes Familia Accipitridae		
<i>Spizaetus tyrannus</i> (Wied, 1820)	águila tirana	
<i>Spizaetus ornatus</i> (Daudin, 1800)	águila elegante	
<i>Ictinia mississippiensis</i> (Wilson, 1811)	milano de Misisipi	
<i>Spizastur melanoleucus</i> (Vieillot, 1816)	águila blanquinegra	
<i>Buteo albonotatus</i> Kaup, 1847	aguililla aura	
<i>Buteo lineatus</i> (Gmelin, 1758)	aguililla pecho-rojo	
<i>Buteo brachyurus</i> Vieillot, 1816	aguililla cola-corta	
<i>Buteo platypterus</i> (Vieillot, 1823)	aguililla ala-ancha	
<i>Buteo regalis</i> (Gray, 1844)	aguililla real	
<i>Buteogallus urubitinga</i> (Gmelin, 1788)	aguililla-negra mayor	
<i>Accipiter bicolor</i> (Vieillot, 1817)	gavilán bicolor	
<i>Geranoospiza caerulescens</i> (Vieillot, 1817)	gavilán zancón	
<i>Elanoides forficatus</i> (Linnaeus, 1758)	milano tijereta	
Familia Falconidae		
<i>Falco mexicanus</i> Schlegel, 1851	halcón mexicano	
<i>Falco femoralis</i> Temminck, 1822	halcón fajado	
<i>Herpetotheres cachinnans</i> (Linnaeus, 1758)	halcón guaco	
<i>Micrastur ruficollis</i> (Vieillot, 1817)	halcón-selvático barrado	
Orden Gruiformes Familia Rallidae		
<i>Porphyryla martinica</i> (Linnaeus, 1766)	gallineta morada	
<i>Rallus limicola</i> Vieillot, 1819	rascón limícola	
<i>Rallus elegans</i> Audubon, 1834	rascón real	

Nombre científico	Nombre común	end
<i>Porzana carolina</i> (Linnaeus, 1758)	polluela sora	
Orden Charadriiformes Familia Charadriidae		
<i>Charadrius semipalmatus</i> Bonaparte, 1825	chorlo semipalmeado	
<i>Charadrius montanus</i> Townsend, 1837	chorlo llanero	
<i>Charadrius alexandrinus</i> Linnaeus, 1758	chorlo nevado	
<i>Pluvialis squatarola</i> (Linnaeus, 1758)	chorlo gris	
<i>Pluvialis dominica</i> (Müller, 1776) Familia Scolopacidae	chorlo dominico	
<i>Calidris himantopus</i> (Bonaparte, 1826)	playero zancón	
<i>Calidris melanotos</i> (Vieillot, 1819)	playero pectoral	
<i>Calidris alpina</i> (Linnaeus, 1758)	playero dorso-rojo	
<i>Bartramia longicauda</i> (Bechstein, 1812)	zarapito ganga	
<i>Tringa flavipes</i> (Gmelin, 1789)	patamarilla menor	
<i>Numenius americanus</i> Bechstein, 1812 Familia Laridae	zarapito pico largo	
<i>Chlidonias niger</i> (Linnaeus, 1758)	charrán negro	
<i>Larus argentatus</i> Pontoppidan, 1763	gaviota plateada	
<i>Larus atricilla</i> Linnaeus, 1758	gaviota reidora	
<i>Larus delawarensis</i> Ord, 1815	gaviota pico-anillado	
<i>Larus pipixcan</i> Wagler, 1831	gaviota de Franklin	
<i>Sterna forsteri</i> Nutall, 1832	charrán de forster	
<i>Sterna caspia</i> Pallas, 1770	charrán caspia	
Orden Columbiformes Familia Columbidae		
<i>Geotrygon albifacies</i> Sclater, 1958	paloma-perdiz carablanca	
<i>Geotrygon montana</i> (Linnaeus, 1758)	paloma-perdiz rojiza	

Nombre científico	Nombre común	end
<i>Claravis pretiosa</i> (Ferrari-Perez, 1886)	tórtola azul	
Orden Psittaciformes Familia Psittacidae		
<i>Amazona oratrix</i> Ridgway, 1887	loro cabeza amarilla	q
Orden Cuculiformes Familia Cuculidae		
<i>Coccyzus americanus</i> (Linnaeus, 1758)	Cuclillo pico-amarillo	
Orden Strigiformes Familia Strigidae		
<i>Asio otus</i>	búho cara café	
<i>Asio flammeus</i> (Pontoppidan, 1763)	búho cuerno corto	
<i>Aegolius acadicus</i> (Gmelin, 1788)	tecolote afilador	
<i>Glaucidium sanchezi</i> Lowery y Newman, 1949	tecolote tamaulipeco	e
<i>Strix occidentalis</i> (Xantus de Vesey, 1860)	búho manchado	
<i>Ciccaba nigrolineata</i> Sclater, 1859	búho blanquinegro	
Orden Caprimulgiformes Familia Caprimulgidae		
<i>Phalaenoptilus nutalli</i> (Audubon, 1844)	tapacamino teví	
Orden Apodiformes Familia Apodidae		
<i>Cypseloides niger</i> (Gmelin, 1789)	vencejo negro	
Familia Trochilidae		
<i>Amazilia beryllina</i> (Lichtenstein, 1830)	colibrí berilo	
<i>Stellula calliope</i> (Gould, 1847)	colibrí garganta rayada	
<i>Selasphorus sasin</i> (Lesson, 1829)	zumbador de Allen	
Orden Passeriformes Familia Tyrannidae		
<i>Empidonax traillii</i> (Audubon, 1828)	mosquero saucero	
<i>Tyrannus tyrannus</i> (Linnaeus, 1758)	tirano dorso negro	
Familia Vireonidae		
<i>Vireo bellii</i> Audubon, 1844	vireo de Bell	

Nombre científico	Nombre común	end
<i>Vireo plumbeus</i> Coues, 1866	vireo plumizo	
Familia Hirundinidae		
<i>Progne subis</i> (Linnaeus, 1758)	golondrina azul negra	
<i>Tachycineta bicolor</i> (Vieillot, 1808)	golondrina bicolor	
<i>Riparia riparia</i> (Linnaeus, 1758)	golondrina ribereña	
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i> Vieillot, 1817	golondrina risquera	
Familia Paridae		
<i>Poecile sclateri</i> Kleinschmidt, 1897	cabonero mexicano	q
Familia Certhiidae		
<i>Certhia americana</i> Bonaparte, 1838	trepador americano	
Familia Troglodytidae		
<i>Cistothorus platensis</i> (Wilson, 1810)	chivirín sabanero	
Familia Turdidae		
<i>Sialia currucoides</i> (Bechstein, 1798)	azulejo pálido	
<i>Ridgwayia pinicola</i> (Sclater, 1859)	mirlo pinto	e
Familia Motacillidae		
<i>Anthus spragueii</i> (Audubon, 1844)	bisbita llanera	
Familia Parulidae		
<i>Geothlypis speciosa</i> Sclater, 1859	mascarita transvolcánica	e
<i>Seiurus noveboracensis</i> (Gmelin, 1789)	chipe charquero	
<i>Vermivora virginiae</i> (Baird, 1860)	chipe de virginia	
Familia Emberizidae		
<i>Melospiza georgiana</i> (Latham, 1790)	gorrión pantanero	
<i>Calcarius ornatus</i> (Townsend, 1837)	escribano collar castaño	
Familia Icteridae		
<i>Icterus spurius</i> (Linnaeus, 1766)	bolsero castaño	
<i>Icterus pustulatus</i> (Wagler, 1829)	bolsero dorso rayado	
<i>Sturnella neglecta</i> Audubon, 1844	pradero occidental	



**Apéndice 3.** Lista de las colecciones científicas consultadas en el Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.* 2003a) y el número de especies y ejemplares que se obtuvo de cada una.

ACRONIMO	MUSEO	PAIS	ESPECIES	EJEMPLARES
AMNH	American Museum of Natural History, New York City	Estados Unidos	7	8
BELL	Bell Museum of Natural History, University of Washington, Seattle	Estados Unidos	1	10
BMUK	British Museum of Natural History, Tring	Inglaterra	1	1
BONN	Museum Koenig, Bonn	Alemania	3	3
BREME	Übersee Museum, Bremen	Alemania	48	118
CARN	Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh	Estados Unidos	1	4
CORNE	Laboratory of Ornithology, Cornell University, Ithaca	Estados Unidos	2	2
FESZ	Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM	México, D.F.	8	10
IBUNAM	Instituto de Biología, UNAM	México, D.F.	25	26
KU	Natural History Museum, The University of Kansas, Lawrence	Estados Unidos	23	33
LACM	Los Angeles County Museum of Natural History	Estados Unidos	2	2
LSUMZ	Louisiana State University Museum of Zoology, Baton Rouge	Estados Unidos	62	166
MLZ	Moore Laboratory of Zoology, Pasadena	Estados Unidos	61	436
MVZ	Museum of Vertebrate Zoology, University of California, Berkeley	Estados Unidos	5	30
MZFC	Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM	México, D.F.	187	807
SDNHM	San Diego Natural History Museum, San Diego	Estados Unidos	1	2
TCWC	Texas Cooperative Wildlife Collections	Estados Unidos	103	432
UBCMZ	University of British Columbia Museum of Zoology, Vancouver	Canadá	1	2
UFMNH	Field Museum of Natural History, Chicago	Estados Unidos	14	31
USNM	United States National Museum, Washington, D.C.	Estados Unidos	4	9
WFVZ	Western Foundation of Vertebrate Zoology	Estados Unidos	1	1