
ÁREAS POTENCIALES DE RIQUEZA, ENDEMISMO Y CONSERVACIÓN DE LAS AVES DEL ESTADO DE QUERÉTARO, MÉXICO

R. CARLOS ALMAZÁN-NÚÑEZ,
SAMUEL LÓPEZ DE AQUINO, CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ
y ADOLFO G. NAVARRO-SIGÜENZA

RESUMEN

Se analizó la distribución de la avifauna del estado de Querétaro, México, con base en la determinación de áreas de distribución potencial utilizando un modelo de nicho ecológico. A partir de dichas distribuciones potenciales se definieron áreas de endemismo para las aves del estado aplicando el análisis de parsimonia de endemismos y se evaluó la efectividad de protección de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (RBSG). En los análisis se utilizaron datos de presencia para 376 especies de aves en el estado, obtenidos de colecciones científicas, la literatura y trabajo de campo. La distribución potencial de riqueza, endemismo y especies en riesgo mostró mayor concentración de especies en la provincia biogeográfica de la Sierra Madre Oriental. También existen

áreas al sur del estado que presentan un buen número de especies, que a la fecha no han sido lo suficientemente valoradas en términos de su conservación. La identificación de áreas de endemismo reveló dos grupos principales de zonas: 1) la región noreste del estado en la Sierra Madre Oriental, caracterizada por un clima húmedo; y 2) la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental, el Altiplano Mexicano y la Faja Volcánica Transmexicana, caracterizadas por climas secos, templados y con humedad media-baja. La evaluación de las zonas núcleo de la RBSG del estado demostró que no están siendo efectivas en cuanto a la conservación de áreas con alta concentración hipotética de especies, incluyendo a las endémicas y aquellas en alguna categoría de riesgo.

La biodiversidad no se distribuye de manera homogénea en el planeta, por lo que sus patrones espaciales han sido objeto de estudio en diferentes escalas o niveles (Rammamorthy *et al.*, 1998; Koleff *et al.*, 2008). Algunos de estos estudios comprenden desde algún tipo de hábitat (e.g. Trejo y Dirzo, 2002) o paisaje (e.g. Pérez-García *et al.*, 2005), hasta áreas delimitadas bajo criterios geopolíticos (Luna *et al.*, 2000; Ramos-Vizcaino *et al.*, 2007; Vi-

lla-Bonilla *et al.*, 2008). El común denominador en este tipo de estudios subyace en el conocimiento de la distribución espacial de las especies y la consecuente priorización de áreas para la conservación (Primack, 2006). Esta información resulta cada vez más imperiosa ante la pérdida global de la biodiversidad y los impactos irreversibles que esto conlleva (Myers *et al.*, 2000).

En la última década, los esfuerzos de conservación se han

enfocado a implementar métodos de análisis que cumplan las premisas de ser relativamente rápidos y eficaces para definir, complementar y evaluar objetivamente áreas para la conservación (Peterson *et al.*, 2000, 2006; Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Margules y Sarkar, 2007; Illoldi-Rangel *et al.*, 2008; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011). Para tal efecto, estos métodos resultan mayormente apropiados cuando se combinan con información de grupos indicadores o 'bandera' para la conserva-

PALABRAS CLAVE / Aves / Distribución Potencial / GARP / Modelado de Nicho Ecológico / PAE / Zona Núcleo /

Recibido: 19/06/2012. Modificado: 28/01/2013. Aceptado: 01/02/2013.

R. Carlos Almazán-Núñez. Ecólogo, Universidad Autónoma de Guerrero, México. Maestría en Ciencias en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México. Dirección: Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, Unidad Iztapalapa. UAM., México, D. F. 09340, México. e-mail: oikos79@yahoo.com.mx

Samuel López De Aquino. Biólogo, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Coordinador del Área Científica, Museo de las Aves de México, Saltillo, México. e-mail: lopez_samuel@hotmail.com

César A. Ríos-Muñoz. Biólogo, Maestría en Ciencias y Candidato a Doctor en Ciencias Biológicas, UNAM, México. Profesor, UNAM, México. e-mail: rmunoz98@ciencias.unam.mx

Adolfo G. Navarro-Sigüenza. Biólogo y Doctor en Ciencias Biológicas, UNAM, México. Profesor UNAM, México. e-mail: adolfon@ciencias.unam.mx

ción, como es el caso de las aves, que presentan un alto número de especies y elevados niveles de endemismo (Navarro y Sánchez-González, 2003).

Los modelos de nicho ecológico (MNE) y los análisis de parsimonia de endemismos (PAE) suponen mayor precisión al establecer estrategias regionales de conservación (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006). En México, como en la mayor parte del neotrópico, la generación del conocimiento de la distribución de las aves ha sido pausada, incompleta y desigual. Los MNE contribuyen a llenar esos vacíos de conocimiento y aumentan las potencialidades de análisis en materia de conservación (Navarro *et al.*, 2003b; Peterson *et al.*, 2011). Por su parte, el PAE incluye la identificación de áreas de endemismo (Escalante y Morrone, 2003; Morrone, 2009), a partir de las cuales se pueden precisar sitios con prioridad para su conservación (Méndez-Larios *et al.*, 2005). Aunque este método fue originalmente desarrollado para encontrar patrones de congruencia distribucional entre diferentes taxones (i.e. áreas de endemismo; Morrone y Escalante, 2009), también se ha utilizado para establecer relaciones ecológicas y/o históricas entre las áreas (Rojas-Soto *et al.*, 2003; Sánchez-González *et al.*, 2008).

La utilización combinada de ambas técnicas de análisis (MNE y PAE) proporciona una mejor resolución e identificación de las áreas de congruencia distribucional importantes para conservar. Además, permite definir más claramente las relaciones entre las áreas debido al uso de distribuciones más completas. Estos resultados ya han sido probados en diferentes grupos de plantas (Espadas-Manrique *et al.*, 2003; Rovito *et al.*, 2004), animales (Ochoa y Flores-Villela, 2006; Escalante *et al.*, 2007) y en particular para las aves (Rojas-Soto *et al.*, 2003; Sánchez-González *et al.*, 2008; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2012), a través de diferentes unidades de análisis, tanto naturales (provincias bióticas, cuencas hidrológicas, tipos de vegetación) como artificiales (cuadros, entidades geopolíticas). Es precisamente a partir de algunas unidades artificiales tales como las entidades geopolíticas, que las decisiones de conservación toman mayor relevancia (Bojórquez-Tapia *et al.*, 1995), debido a que en esta escala las acciones de conservación de áreas particulares son llevadas a cabo.

Para el estado de Querétaro, el estudio sobre su avifauna se comenzó a formalizar hace apenas dos

décadas (Navarro *et al.*, 1993). Incluso, publicaciones recientes mencionan al menos 127 nuevos registros para la entidad (Rojas-Soto *et al.*, 2001; González-García *et al.*, 2004; Pineda-López y Arellano-Sanaphre, 2010; Pineda-López *et al.*, 2010a). Dentro del estado de Querétaro se localiza la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (RBSG), área natural protegida (ANP) por decreto federal (DOF, 1997) que ocupa el 32,02% de la superficie estatal. Esta ANP cubre áreas importantes desde el punto de vista biológico en la Sierra Madre Oriental (SMO) de Querétaro. Sin embargo, el hecho de haberse decretado antes de que el conocimiento detallado sobre su avifauna emergiera de forma importante, supone que no sólo la reserva y sus zonas núcleo deben ser revaluadas para verificar que efectivamente cumplen con su propósito, sino toda la entidad, con el objeto de identificar otras regiones de interés en términos de la conservación de su avifauna. Especialmente, porque en los últimos años se ha documentado la presencia de especies en alguna categoría de riesgo y/o endemismo (Pineda-López *et al.*, 2010a), además de los constantes cambios de uso del suelo que afectan a diversas poblaciones de aves.

El objetivo principal de este estudio fue analizar los patrones de distribución de riqueza en la avifauna del estado de Querétaro utilizando modelos de nicho ecológico, e inferir las relaciones entre áreas geográficas y la identificación de áreas de endemismo usando PAE, además de evaluar la efectividad de protección de las zonas núcleo (ZN) de la RBSG a partir de las áreas potenciales con mayor concentración de especies.

Métodos

Registros de presencia

La información primaria de distribución de las especies se obtuvo de colecciones científicas contenidas en el Atlas de las Aves de México (Navarro *et al.*, 2003a), de la literatura (Navarro *et al.*, 1993; Rodríguez-Yáñez *et al.*, 1994) y a través de trabajo de campo efectuado durante los años 2004-2006 (Pineda-López *et al.*, 2010a).

Modelado del nicho ecológico

Para modelar el nicho ecológico de cada especie se utilizó el algoritmo genético de producción de conjuntos de reglas (GARP; Stockwell

y Noble, 1992). Este algoritmo busca correlaciones no azarosas de la presencia de las especies y los valores de los parámetros ambientales de una región determinada, para construir un MNE (un conjunto de condiciones ecológicas habitables para una especie, *sensu* Grinnell, 1917).

Se utilizaron 15 variables ambientales para generar los MNE con una resolución espacial de 0,01°. Debido a que algunas de las 19 coberturas climáticas disponibles del WorldClim (Hijmans *et al.*, 2004) presentan alta correlación (Gormley *et al.*, 2011), sólo se usaron 12 variables de clima: oscilación diurna de la temperatura, isothermalidad, estacionalidad de la temperatura, temperatura máxima promedio del periodo más cálido, temperatura mínima promedio del periodo más frío, temperatura promedio del trimestre del año más lluvioso, temperatura promedio del trimestre del año más seco, precipitación del periodo más lluvioso, precipitación del periodo más seco, estacionalidad de la precipitación, precipitación del trimestre del año más cálido y precipitación del trimestre del año más frío. Además, tres variables topográficas fueron obtenidas del U.S. Geological Survey Hydro 1k (<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro>): modelo digital de elevación, índice topográfico y pendiente.

Los MNE fueron generados según el número de registros de cada especie, dividiéndose en dos grupos: 1) especies con 2-9 registros y 2) especies con ≥ 10 registros. En el primer grupo, los modelos fueron desarrollados con base en el total de localidades de recolecta disponibles (se utilizaron pruebas intrínsecas en la evaluación de los MNE). Para el segundo grupo, los modelos fueron desarrollados con base en la mitad de localidades disponibles (se utilizaron datos extrínsecos para su evaluación). Las especies que contenían un solo registro no fueron modeladas, ya que por lo general, una especie ocurre dentro de intervalos de variables ambientales y no en valores únicos (McNysset y Blackburn, 2006). Se modelaron 251 especies (66,7%) de las 376 que se han registrado para Querétaro (Pineda-López *et al.*, 2010a), 17 (74%) de las 23 endémicas a México (González-García y Gómez de Silva, 2003) y 17 (53,1%) de las 32 especies citadas por la legislación mexicana en lo referente a la conservación y protección de su flora y fauna (DOF, 2010).

Se produjeron 100 MNE por cada especie y a partir de és-

tos se seleccionaron los 10 mejores modelos que cubrieran las siguientes condiciones: 1) los 20 MNE en los que los errores de omisión fueran mínimos, y 2) de estos 20 se seleccionaron los 10 modelos que estuvieran más cercanos a la mediana del porcentaje del área predicha, en los cuáles el error de Comisión (sobrepredicción) y sobreajuste son mínimos (Anderson *et al.*, 2003). Para determinar los valores de presencia y ausencia de los 10 mejores modelos se consideró a una especie como presente en los píxeles donde existía un consenso de ocho modelos (80%). Con este criterio se aseguró mayor disminución en la omisión. Los MNE finales para cada especie fueron utilizados para elaborar mapas de riqueza, endemismo y especies en riesgo. A partir del máximo número de especies que se pudo encontrar en cada uno de estos mapas, el número total de especies se dividió de acuerdo a la concentración de especies, para una mejor visualización de los resultados, en tres categorías: alta, media y baja. Las áreas con alta concentración de especies fueron recortadas y nombradas áreas primarias. Este procedimiento de clasificación de áreas se repitió también para identificar áreas secundarias con las especies cuya distribución quedó excluida de los sitios primarios.

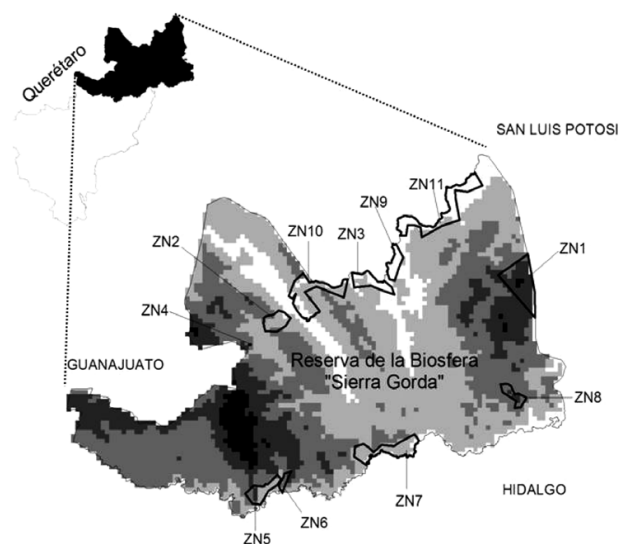


Figura 2. Mapa indicando la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda (RBSG) con sus 11 zonas núcleo al norte del estado de Querétaro. En tonos de gris se muestra las diferentes altitudes dentro del polígono de la RBSG.

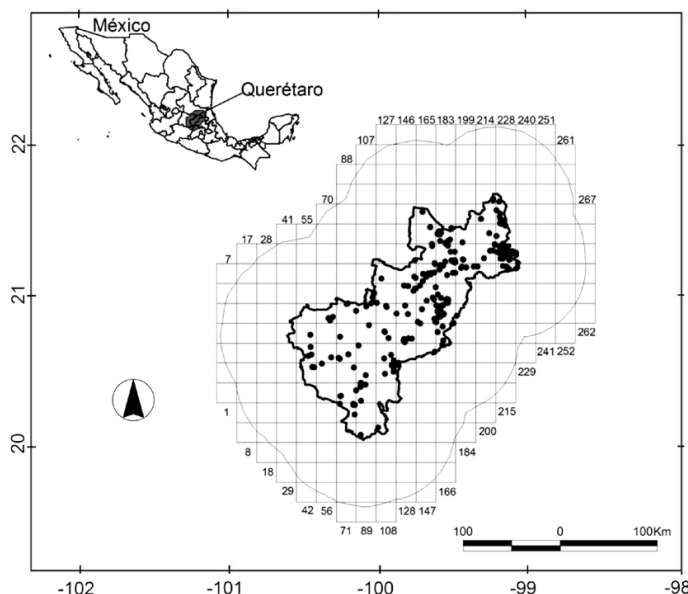


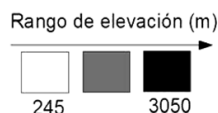
Figura 1. División del estado de Querétaro y puntos de presencia de las aves registradas. Se muestra la retícula con 267 cuadros de 0,14° de latitud-longitud sobre un buffer con una equidistancia de 50km alrededor de la región de estudio para los datos potenciales.

Relaciones geográficas y áreas de endemismo

Se utilizó el análisis de parsimonia de endemismos (PAE) para identificar relaciones geográficas y áreas de endemismo en el estado de Querétaro (Morrone y Crisci, 1995; Escalante y Morrone, 2003). Las áreas de endemismo definidas en este análisis son aquellas que presentan sinapomorfias geográficas (taxones endémicos a cada grupo de cuadros; Escalante y Morrone, 2003). Para la ejecución de este análisis, el estado de Querétaro fue dividido en cua-

Zonas Núcleo (ZN)

- 1) Cañada de las Avispas
- 2) Cañón de Ayutla
- 3) Raudal del Buey
- 4) Sótano del Barro
- 5) Maziatapán
- 6) Cerro Grande
- 7) Cañón del Moctezuma
- 8) Joya del Hielo
- 9) Chacas
- 10) Puente Santa María
- 11) Barranca de Paguas



dro de 0,14° (13,8km) por lado. Debido al tamaño relativamente pequeño de la entidad, con esta división se aseguró mayor resolución en el PAE comparado con otros tamaños de cuadro que también fueron probados (0,10° y 0,20°). Con el fin de recuperar información que se pierde en los límites geopolíticos de las áreas bajo estudio (Morrone y Ruggiero, 2000; Escalante *et al.*, 2003; Ochoa y Flores-Villela, 2006), se utilizó una retícula que abarcó un área buffer con una equidistancia de 50km alrededor de los límites de Querétaro, arrojando un total de 267 cuadros (Figura 1). En el análisis sólo se utilizó la distribución potencial de 181 especies residentes terrestres, debido a que la distribución de las migratorias y acuáticas

obedece a otros factores y no a los históricos (Zink y Hackett, 1986) o ecológicos (Hutto, 1998) en comparación con las residentes.

Se construyó una matriz de presencia-ausencia de especies en cada cuadro de acuerdo a las distribuciones potenciales. Se codificó con '1' presencia y con '0' ausencia. Para enraizar el cladograma se adicionó un área hipotética codificada con '0'. El análisis se efectuó con ayuda de NONA (Goloboff *et al.*, 2000) y Winclada v. 1.00.24 (Nixon, 2002), por métodos heurísticos utilizando parsimonia de Ratchet (Nixon, 1999). Un análisis de consenso estricto fue usado al encontrar más de un cladograma igualmente parsimonioso.

Evaluación de zonas núcleo de la RBSG

Se evaluó la efectividad de protección de las 11 ZN de la RBSG (Figura 2) mediante la superposición de las áreas primarias y secundarias de alta concentración de especies definidas con los MNE. De esta manera se obtuvo la superficie y la proporción de áreas potenciales con alta concentración de especies en cada ZN. Los análisis se llevaron a cabo con ayuda del SIG ArcView v. 3.2 (ESRI, 2000).

Resultados

Patrones de distribución

La mayor riqueza (77-114 especies), endemismo (9-13 espe-

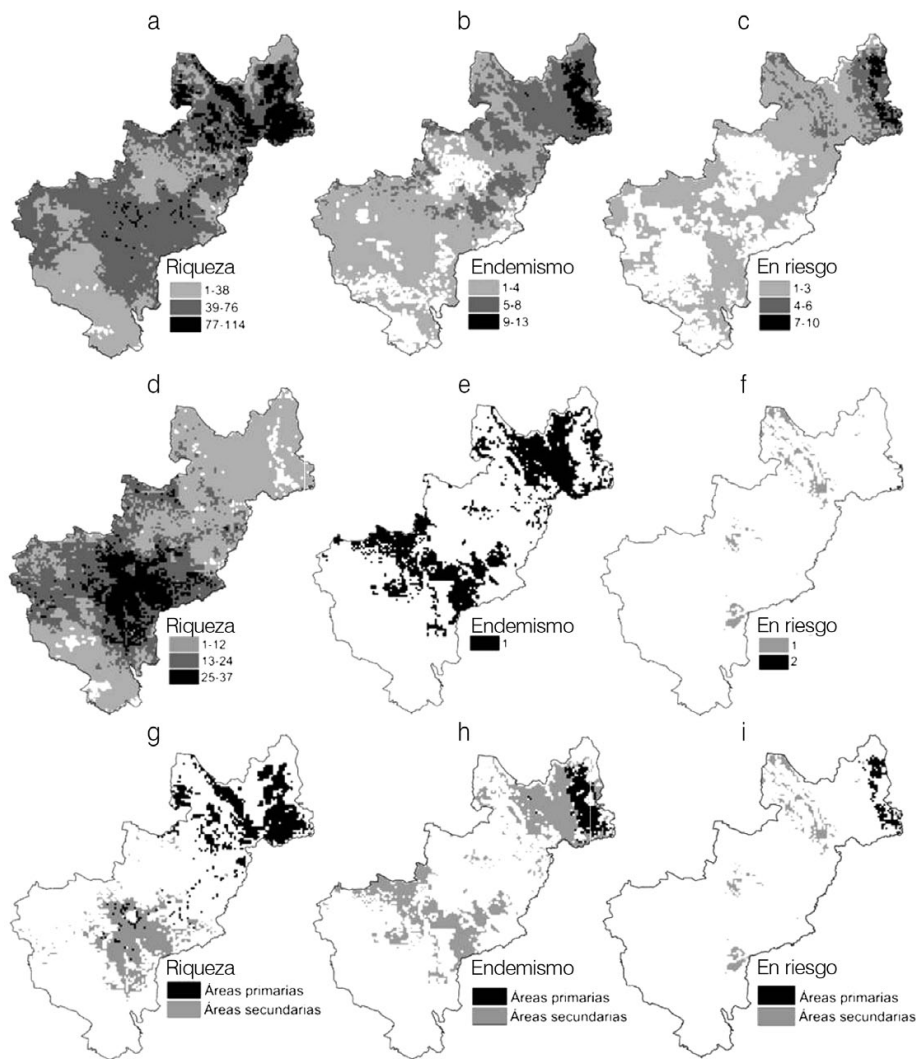


Figura 3. Modelado de la distribución espacial de la riqueza, especies endémicas y en riesgo de las áreas primarias (a-c), secundarias (d-f) y sobreposición de ambos tipos de áreas con mayor concentración de especies (g-i).

cies) y especies en riesgo (7-10 especies) de aves del estado de Querétaro (áreas primarias) se distribuye en el noreste (Sierra Madre Oriental), en los

límites con el estado de Hidalgo (Figura 3a-c). Existen también zonas correspondientes al Altiplano Mexicano (AM; Figura 3d) en las que varias especies que quedaron excluidas de los sitios primarios coincidieron en su distribución (áreas secundarias con 25-37 especies). Las especies endémicas a México, tales como *Aratinga holochlora*, *Empidonax affinis*, *Arremonops rufivirgatus* y *Vireolanius melitophrys* no superpusieron su distribución con las áreas primarias de alta concentración de especies endémicas. A partir de la distribución potencial de estas especies, se generó un nuevo mapa en el cual se muestra que ninguna de éstas sobrepuso su dis-

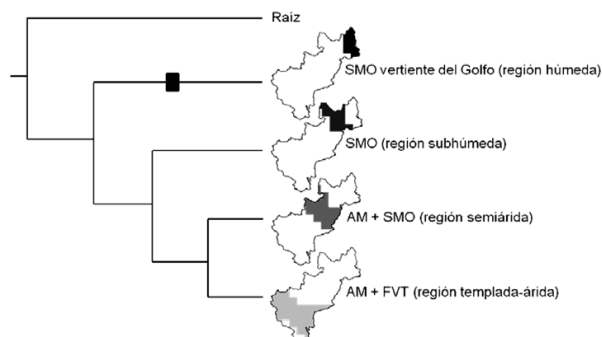


Figura 4. Cladograma de consenso estricto simplificado elaborado con los modelos de nicho ecológico donde se muestran las diferentes agrupaciones que comprenden la Sierra Madre Oriental (SMO), el Altiplano Mexicano (AM), y la Faja Volcánica Transmexicana (FTV). El cuadro negro representa las sinapomorfías que le dan identidad al clado (área de endemismo).

tribución, por lo que el valor de concentración no fue mayor que 1 (Figura 3e). Esto mismo sucedió con las especies en riesgo que quedaron excluidas de las áreas primarias (*Buteo albicaudatus*, *Falco peregrinus*, *Aratinga holochlora*, *Ara militaris*, *Cinclus mexicanus* y *Psaracolius montezuma*), donde solo convergió el área de distribución de *A. holochlora* y *P. montezuma* en el extremo norte de la entidad (Figura 3f). En la Figura 3g-i se observan las áreas primarias y secundarias con mayor riqueza de especies, donde es notorio que en las primarias (riqueza, endemismo y especies en riesgo) el mayor número de especies está en los bosques montanos del noreste, y en las secundarias (particularmente la riqueza) las zonas áridas del sur toman mayor relevancia.

Regionalización y áreas de endemismo

Se obtuvieron 19 árboles igualmente parsimoniosos, de los que se obtuvo un árbol de consenso estricto con una longitud de 1928 pasos (índice de consistencia CI= 9, índice de retención RI= 85). En el análisis se definió un área de endemismo compuesta por los cuadros que comprenden la región más norteña de la SMO con orientación hacia el Golfo de México (región húmeda; Figura 4). Las sinapomorfías que dan identidad a este clado son: *Dendrortyx barbatus*, *Megascops guatemalae*, *Aulacorhynchus prasinus*, *Henicorhina leucosticta* y *Catharus mexicanus*. En el cladograma simplificado del PAE se observa la formación de un segundo grupo de cuadros que no está sustentado por sinapomorfías (Figura 4). Este conjunto está formado por los cuadros que corresponden a la vertiente occidental de la SMO, el AM y la Faja Volcánica Transmexicana (FVT; Figura 4). Estas agrupaciones muy probablemente están definidas por características ecológicas tales como el clima, los tipos de vegetación e incluso las provincias biogeográficas, y componen las regiones subhúmeda, semiárida y templada-árida (Figura 5a-d).

Evaluación de zonas núcleo de la RBSG

En general, las ZN de la RBSG cubren una pequeña proporción de las áreas primarias de riqueza (77-114 especies), endemismo (9-13 especies) y especies en riesgo (7-10 especies) de la avifauna del estado (Tabla I). La única ZN que cubre una superficie importante de áreas primarias es

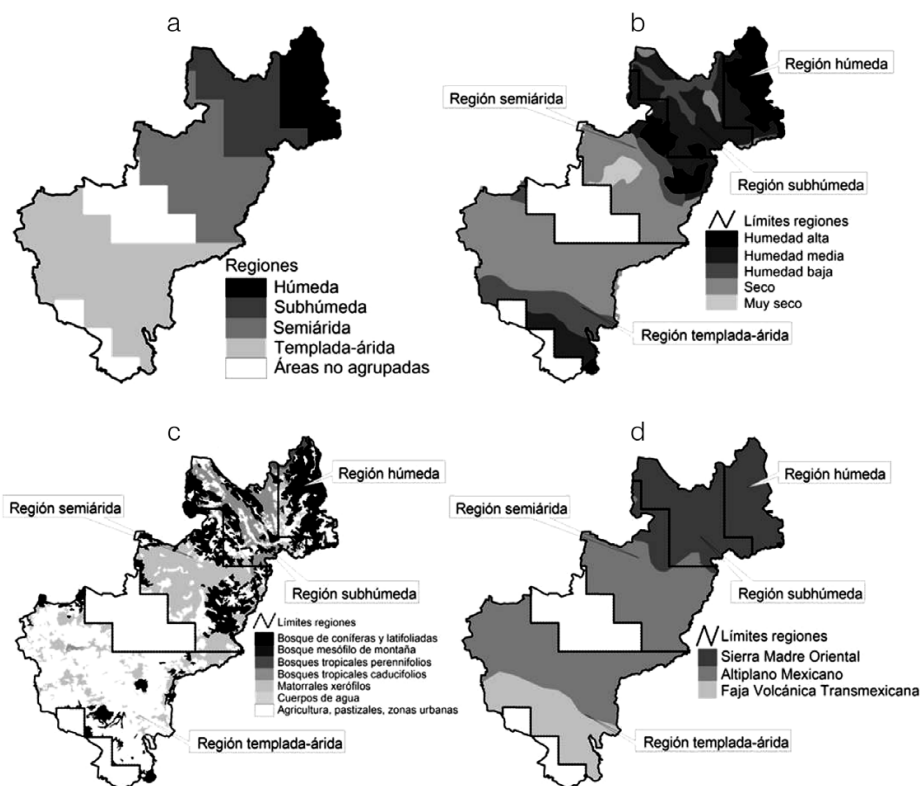


Figura 5. a: correspondencias geográficas y regionalización sobre el mapa del estado de Querétaro, b: principales características climáticas, c: tipos de vegetación agrupados de acuerdo a Challenger y Soberón (2008), y d: provincias biogeográficas que muestran las concordancias con los límites de cada región propuesta en este estudio (líneas punteadas dentro del estado). El mapa de climas y tipos de vegetación se obtuvo del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Querétaro (PEOT, 2004) y las provincias biogeográficas de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx>).

TABLA I
SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE REPRESENTACIÓN DE CADA ZONA NÚCLEO DE LA RBSG CON LAS ÁREAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DE MAYOR ACUMULACIÓN DE ESPECIES OBTENIDAS CON EL MODELADO DISTRIBUCIONAL*

Zona núcleo	Área (km ²)	Riqueza (km ²)	Representación (%)	Endemismo (km ²)	Representación (%)	En riesgo (km ²)	Representación (%)
Áreas primarias							
1	46,63	-	-	3,76	8,06	2,27	4,88
2	16,48	0,73	4,46	-	-	-	-
3	17,93	-	-	-	-	-	-
4	0,01	-	-	-	-	-	-
5	17,34	-	-	-	-	-	-
6	3,99	-	-	-	-	-	-
7	32,70	11,47	35,08	0,68	2,10	-	-
8	10,92	10,92	100	10,92	100	7,47	68,43
9	12,66	-	-	-	-	-	-
10	41,03	19,36	47,19	-	-	-	-
11	48,29	-	-	-	-	-	-
Áreas secundarias							
1	46,63	-	-	34,20	73,35	-	-
2	16,48	-	-	11,44	69,44	2,97	18,05
3	17,93	-	-	11,34	63,29	-	-
4	0,01	-	-	0,01	100	1	100
5	17,34	-	-	11,95	68,96	-	-
6	3,99	-	-	-	-	-	-
7	32,70	-	-	23,19	70,92	3,71	11,34
8	10,92	-	-	0,66	6,05	-	-
9	12,66	-	-	11,30	89,28	-	-
10	41,03	-	-	38,11	92,89	2,35	5,73
11	48,29	-	-	24,38	50,50	-	-

* El número de cada zona núcleo corresponde a los de la Figura 2.

Joya del Hielo (ZN8), compuesta principalmente por bosque mesófilo de montaña. Otras, como el Cañón del Moctezuma (ZN7) y el Puente Santa María (ZN10), presentaron una considerable proporción de riqueza (35,1 y 47,2% respectivamente). La Cañada de las Avispas (ZN1), en cambio, presentó una mínima proporción de áreas primarias tanto de especies endémicas como en riesgo (8,1 y 4,9% respectivamente; Tabla I). Seis de las once ZN no estuvieron representadas con ninguna de las áreas primarias, a pesar de que algunas tienen una gran superficie, como la Barranca de Paguas (ZN11; Tabla I). Por otro lado, en las ZN no existen áreas secundarias de riqueza potencial, debido a que éstas están distribuidas en las zonas áridas al sur del estado (Tabla I). Las especies endémicas y en riesgo que conforman las áreas secundarias estuvieron mejor distribuidas en las ZN, aunque estas áreas están compuestas por la presencia de sólo una o dos especies (e.g. las especies en riesgo *A. holochlora* y *P. montezuma*).

Discusión

Patrones de distribución

Los MNE indicaron que las zonas de mayor riqueza, endemismo y especies en riesgo se encuentran en la región noreste del estado (áreas primarias), en la provincia biogeográfica de la SMO. Esta zona representa gran interés biológico no sólo en cuanto a su avifauna se refiere (Navarro *et al.*, 2004), sino también en otros grupos taxonómicos (ver Luna *et al.*, 2004). Esto se debe a la compleja historia geológica (Ferrusquía, 1998) y al factor climático, 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 patrón de riqueza en la porción de la SMO se repite con otros organismos como briofitas (Herrera-Paniagua *et al.*, 2008), plantas vasculares (Arreguín-Sánchez y Fernández-Nava, 2004), anfibios y reptiles (Canseco-Márquez *et al.*, 2004) y mamíferos (León-Paniagua *et al.*, 2004). Sin embargo, existen otras zonas de

alta riqueza potencial para la avifauna estatal (áreas secundarias), como son algunas pequeñas áreas pertenecientes al AM y la FVT, asociadas principalmente a pequeños sistemas montañosos o lacustres periurbanos (Pineda-López *et al.*, 2010b) que no han sido lo suficientemente valorados en términos de su conservación.

Las áreas primarias con mayor concentración de especies endémicas también se encuentran mayormente distribuidas en la SMO, dentro de las cuales existen especies de gran relevancia para la conservación como *D. barbatus*, endémica a la SMO; así como las endémicas *A. holochlora* y *Rhodothraupis celaeno*, cuyas poblaciones se concentran principalmente en el noreste del país (Howell y Webb, 1995; Navarro *et al.*, 2004). El estado de Querétaro no se caracteriza por tener una alta proporción de especies endémicas, ya que se registraron un total de 23 (22,8% de las endémicas a nivel nacional). Estos resultados pueden explicarse por la posición geográfica de la entidad, ya que 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 la FVT (Escalante *et al.*, 1998; Peterson y Navarro, 2000). De éstas, sólo la FVT 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 probablemente es producto de que el modelado distribucional con GARP está influenciado por los datos de ocurrencia disponibles, los cuales fueron menores para esta región (Sánchez-González *et al.*, 2008; Peterson *et al.*, 2011).

Regionalización y áreas de endemismo

El PAE reveló la existencia de un área de endemismo compuesta por los cuadros que se encuentran en la ladera del Golfo de la SMO (región húmeda; Figura 4). Esta zona está configurada por cordilleras alargadas y valles intermontanos (Ferrusquía, 1998) y parece retener el paso de vientos húmedos del Golfo de México a la vertiente interior de dicha sierra. Esto es más evidente al observar que los tipos de vegetación que se encuentran dentro de esta región presentan principalmente características tropicales o templadas húmedas (bosques mesófilo de montaña, pino-encino, encino, matorral submontano y selva alta

y mediana subperennifolia). Además, está constituida por climas con predominancia de humedad alta (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004; PEOT, 2004). Los taxones que apoyan la formación de este clado son especies que están confinadas estrictamente a bosques húmedos de montaña (*D. barbatus*, *M. guatemalae*, *A. prasinus*, *H. leucosticta*, *C. mexicanus*; Howell y Webb, 1995).

El segundo clado agrupa a los cuadros correspondientes a la vertiente más sureña de la SMO (región subhúmeda), el AM (región semiárida) y la FVT (región templada-árida). La mayor parte de esta región está constituida por climas secos y/o con humedad media-baja, debido probablemente al efecto de la barrera orográfica que forma la región húmeda de la SMO (Figura 5a, b). Dentro de este clado principal no se presentaron sinapomorfías, por lo que esta condición de agrupamiento podría ser producto de homoplasias biogeográficas como los eventos de dispersión (Rojas-Soto *et al.*, 2003) o simplemente ausencia de especies compartidas. Es posible observar que dentro de este clado mayor se definen grupos menores, que muy probablemente son resultado de factores ecológicos como el clima y/o la vegetación (Morrone, 2004; Sánchez-González *et al.*, 2008). Por ejemplo, los cuadros que conforman la región subhúmeda (SMO) presentan principalmente climas con humedad media y baja con tipos de vegetación como selva baja caducifolia y subcaducifolia y bosque de encino. La región semiárida (AM + SMO) está conformada principalmente por climas secos (AM) y en algunas zonas con humedad alta y media. Los tipos de vegetación que predominan en esta zona son matorrales xerófilos (matorral submontano, matorrales desérticos micrófilos y rosetófilos) y bosques de pino-encino. La región templada-árida (AM + FVT), está constituida por un clima predominantemente seco y con zonas de humedad media a baja. Presenta extensos parches de matorral crasicaule y subtropical, así como bosques de encino y pastizales. Es aquí donde están asentadas en su gran mayoría las áreas agrícolas (Figura 5c). Las regiones propuestas en este estudio coinciden con la mayoría de las agrupaciones obtenidas en un estudio similar para los musgos de Querétaro (Herrera-Paniagua *et al.*, 2008). Además, existe una concordancia entre la provincia biogeográfica de la SMO que se localiza en la entidad (Espinosa-Organista *et al.*, 2000) con

las regiones húmeda y subhúmeda aquí propuestas (Figura 5d).

Evaluación de zonas núcleo

La RBSG, debido a su gran extensión territorial, cubre las áreas de mayor importancia (riqueza, endemismo y especies en riesgo) de las aves de la entidad. Sin embargo, los resultados también indican que estas áreas están excluidas casi por completo de las ZN de la reserva. Por ejemplo, las once ZN en conjunto abarcan una superficie de 248,03km², lo que representa el 6,4% de la superficie de la RBSG (Carabias *et al.*, 1999). De esta superficie tan sólo el 17,3% (42,50km²) coincide con las áreas primarias de alta riqueza, el 6,20% (15,36km²) con las de endemismo y el 3,93% (9,75 km²) con las de especies en riesgo. Esto mismo ocurre con las áreas secundarias, que sólo cubren el área de distribución de pocas especies endémicas y en riesgo.

Estos resultados tienen implicaciones importantes en la conservación de muchas especies, ya que las ZN de cualquier Reserva de la Biosfera tienen como fin asegurar la protección a largo plazo de la biodiversidad *in situ* (Li *et al.*, 1999; Carr, 2008). Del total de especies modeladas, pocas son las ZN de la RBSG que presentan especies de interés. Tal es el caso del Sótano del Barro (ZN4), el cual es un sitio de anidación y refugio en el estado (Pedraza *et al.*, 2000) de la única colonia de guacamayas verdes (*Ara militaris*), una especie altamente amenazada a nivel nacional (DOF, 2010) e internacional (BirdLife, 2000) y para la que se ha reportado solo un 2,24% de su distribución en áreas protegidas (Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). Asimismo, especies como *D. barbatus* ha sido registrada en algunas ZN como Joya del Hielo (ZN8) y Cañada de las Avispas (ZN1; Eitniear *et al.*, 2000).

La distribución potencial de varias de las especies de interés que fueron modeladas en este estudio como las endémicas (e.g. *Aratinga holochlora*, *Atthis heloisa* y *Vireo nelsoni*) y en riesgo (e.g. *Pionus senilis*, *Aratinga nana*, *Campephilus guatemalensis*, *Cinclus mexicanus*, *Psarocolius montezuma*), sólo es incluida por algunas ZN de la RBSG, o en su defecto por ninguna. En este sentido, un criterio importante en la definición de zonas prioritarias para la conservación son las áreas de endemismo identificadas dentro de una reserva y que pue-

den ser propuestas como ZN debido a su contenido de especies únicas (Álvarez y Morrone, 2004; Méndez-Larios *et al.*, 2005). La característica fisiográfica de esta zona representa una barrera orográfica y climática que ha contribuido a que la fauna de la zona contenga especies particulares. De las ZN actuales, sólo tres (Cañada de las Avispas, Joya del Hielo y Barranca de Paguas) están dentro de esta área de endemismo. En total, esta área constituye el 29,6% de la RBSG y mantiene a más del 64% y 43% de las especies endémicas y en riesgo, respectivamente. Debido a lo anterior, es conveniente que se tomen en cuenta nuevas propuestas de áreas de conservación en el estado que involucren la distribución potencial de las especies (Loiselle *et al.*, 2003; Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Illoldi *et al.*, 2008; Navarro-Sigüenza, *et al.*, 2011), y no sólo la calidad del paisaje y los valores culturales, naturales y paisajísticos que éstas puedan tener.

AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito se benefició de los comentarios de Octavio Rojas Soto, Luis A. Sánchez González, Othón Alcántara, Tania Escalante, Javier Sahagún, Gabriela García Deras, Luis Hernández, Rubén Pineda, Carlos López González y dos revisores anónimos. Datos inéditos sobre las aves de Querétaro y apoyo en diferentes salidas de campo se obtuvieron de Rubén Pineda, Alejandro Arellano y Judith Sánchez. R.C. Almazán-Núñez recibió del CONACYT una beca para estudios de posgrado (No. 165552). Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Querétaro el apoyo otorgado para la realización de este proyecto, y a los curadores de las siguientes colecciones científicas por permitir el acceso a sus acervos: American Museum of Natural History; Academy of Natural Sciences of Philadelphia; Bell Museum of Natural History, University of Minnesota; British Museum (Natural History); California Academy of Sciences; Carnegie Museum of Natural History; Canadian Museum of Nature; Cornell University Museum of Vertebrates; Denver Museum of Natural History; Delaware Museum of Natural History; Fort Hays State College; Field Museum of Natural History; Florida Museum of Natural History; Instituto de Ecología y Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas; Iowa State University; University of Kansas Natural History Museum; Los Angeles County Museum

of Natural History; Leiden Natuurhistorische Museum; Louisiana State University Museum of Zoology; Museum of Comparative Zoology, Harvard University; Moore Laboratory of Zoology, Occidental College; Museum of the Michigan State University; Muséum Nationale d'Histoire Naturelle, París; Museum of Vertebrate Zoology, Berkeley; Museo Civico di Historia Naturale di Milano; Museo de Zoología, Universidad Nacional Autónoma de México; University of Nebraska; Royal Ontario Museum; San Diego Natural History Museum; Southwestern College; Texas Cooperative Wildlife Collections; University of Arizona; University of British Columbia Museum of Zoology; University of California Los Angeles; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; United States National Museum of Natural History; Western Foundation of Vertebrate Zoology, y Peabody Museum, Yale University.

REFERENCIAS

Álvarez ME, Morrone JJ (2004) Propuesta de áreas para la conservación de aves de México, empleando herramientas panbiogeográficas e índices de complementariedad. *Interciencia* 29: 112-120.

Anderson, RP, Lew D, Peterson AT (2003) Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Model.* 162: 211-232.

Arreguín-Sánchez ML, Fernández-Nava R (2004) Flora de la Sierra Gorda, Querétaro. En Luna I, Morrone JJ, Espinosa D (Eds.) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. pp. 193-214.

BirdLife International (2000) *Threatened Birds of the World*. Lynx - BirdLife International. Cambridge, RU. 852 pp.

Bojórquez-Tapia LA, Azuara I, Ezcurra E, Flores-Villela O (1995) Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modeling. *Ecol. Appl.* 5: 215-231.

Canseco-Márquez L, Mendoza-Quijano F, Gutiérrez-Mayén MG (2004) Análisis de la distribución de la herpetofauna. En Luna I, Morrone JJ, Espinosa D (Eds.) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. pp. 417-437.

Carabias J, Provencio E, de la Maza J, Ruiz-Corzo MI (1999) *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, México*. 1ª ed. Instituto Nacional de Ecología. México. 172 pp.

Carr DL (2008) Farm households and land use in a core conservation zone of the Maya biosphere reserve, Guatemala. *Hum. Ecol.* 36: 1-12.

Challenger A, Soberón J (2008) Los ecosistemas terrestres. En *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad*. CONABIO. México. pp. 87-108.

DOF (1997) *Decreto por el que se Declara Área Natural Protegida con Carácter de*

Reserva de la Biosfera, la Región Denominada Sierra Gorda Localizada en los Municipios de Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Peñamiller, Pinal de Amoles y Landa de Matamoros, Querétaro. Diario Oficial de la Federación. 11/08/1997. México. 156 pp.

DOF (2010) *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección Ambiental - Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio - Lista de Especies en Riesgo*. Diario Oficial de la Federación. 30/12/2010. México. 77 pp.

Eitner JC, Aguilar S, González V, Pedraza R, Baccus JT (2000) New records of bearded wood-partridge, *Dendrortyx barbatus*, (Aves: Phasianidae) in Mexico. *Southwest. Nat.* 45: 238-241.

Escalante T, Morrone JJ (2003) ¿Para qué sirve el análisis de parsimonia de endemismos? En Morrone JJ, Llorente-Bousquets J (Eds.) *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*. CONABIO-UNAM. México. pp. 167-172.

Escalante P, Navarro AG, Peterson AT (1998) Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres. En Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (Eds.) *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. pp. 279-304.

Escalante T, Espinosa D, Llorente J (2003) Métodos para la identificación, descubrimiento y comparación de patrones biogeográficos: ejemplos en México. En Morrone JJ, Llorente-Bousquets J (Eds.) *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*. CONABIO-UNAM. México. pp. 303-307.

Escalante T, Sánchez-Cordero V, Morrone JJ, Linaje M (2007) Areas of endemism of Mexican terrestrial mammals: a case study using species' ecological niche modeling, parsimony analysis of endemism and Goloboff fit. *Interciencia* 32: 151-159.

Espadas-Manrique C, Durán R, Argáez J (2003) Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Divers. Distrib.* 9: 313-330.

Espinosa-Organista D, Morrone JJ, Aguilar C, Llorente J (2000) Regionalización biogeográfica de México: Provincias bióticas. En Llorente-Bousquets J, González E, Pávero N (Eds.) *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento*. Vol. II. UNAM. México. pp. 61-94.

ESRI (2000) *Arc View GIS v. 3.2*. Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA, EEUU.

Ferrusquía I (1998) Geología de México: una sinopsis. En Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J (Eds.) *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. pp. 3-108.

Goloboff PA, Farris JS, Nixon K (2000) TNT: Tree analysis using new technology. www.cladistics.com

González-García F, Gómez de Silva H (2003) Especies endémicas: riqueza, patrones de distribución y retos para su conservación. En Gómez de Silva H, Oliveras de Ita A

- (Eds.) *Conservación de Aves: Experiencias en México*. CIPAMEX-CONABIO-NFWF. México. pp. 150-194.
- González-García F, Puebla-Olivares F, Barrios-Monterde S, Neri-Fajardo M, Gómez de Silva H (2004) Información adicional sobre la avifauna de los estados de Hidalgo y Querétaro, México, incluyendo nuevos registros estatales. *Cotinga* 22: 56-64.
- Gormley AM, Forsyth DM, Griffioen P, Lindeman M, Ramsey DSL, Scroggie MP, Woodford L (2011) Using presence only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *J. Appl. Ecol.* 48: 25-34.
- Grinnell J (1917) The niche relationships of the California Thrasher. *Auk* 34: 427-433.
- Herrera-Paniagua P, Delgadillo C, Villaseñor JL, Luna-Vega I (2008) Floristics and biogeography of the mosses of the state of Querétaro, Mexico. *Bryologist* 111: 41-56.
- Hernández-Cerda ME, Carrasco-Anaya G (2004) Climatología. En Luna I, Morrone JJ, Espinosa D (Eds.) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. pp. 63-108.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2004) *The worldclim Interpolated Global Terrestrial Climate Surfaces*. Version 1.3. <http://www.worldclim>
- Howell SNG, Webb S (1995) *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press. Nueva York, EEUU. 851 pp.
- Hutto RL (1998) On the importance of stopover sites to migrating birds. *Auk* 115: 823-825.
- Illoldi-Rangel P, Fuller T, Linaje M, Sánchez-Cordero V, Sarkar S (2008) Solving the maximum representation problem to prioritize areas for the conservation of terrestrial mammals at risk in Oaxaca. *Divers. Distrib.* 14: 493-508.
- Koleff P, Soberón J, Arita H, Dávila P, Flores-Villela O, Golubov J, Halfpeter G, Lira-Noriega A, Moreno C, Moreno E, Munguía M, Murguía M, Navarro-Sigüenza A, Téllez O, Ochoa-Ochoa L, Peterson A, Rodríguez P (2008) Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En Soberón J, Halfpeter G, Llorente-Bousquets (Comps.) *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad*. CONABIO. México. pp. 323-364.
- León-Paniagua L, García-Trejo EA, Arroyo-Cabrales J, Castañeda-Rico S (2004) Patrones biogeográficos de la mastofauna. En Luna I, Morrone JJ, Espinosa D (Eds.) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. pp. 469-486.
- Li W, Wang Z, Ma Z, Tang H (1999) Designing the core zone in a biosphere reserve based on suitable habitats: Yancheng biosphere reserve and the red crowned crane (*Grus japonensis*). *Biol. Cons.* 90: 167-173.
- Loiselle BA, Howell CA, Graham CH, Goerck JM, Brooks T, Smith KG, Williams PH (2003) Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Cons. Biol.* 17: 1591-1600.
- Luna I, Alcántara O, Morrone JJ, Espinosa D (2000) Track analysis and conservation priorities in the cloud forest of Hidalgo, Mexico. *Divers. Distrib.* 6: 137-143.
- Luna I, Morrone JJ, Espinosa-Organista D (2004) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. 527 pp.
- Margules C, Sarkar S (2007) *Systematic Conservation Planning*. Cambridge University Press. Nueva York, EEUU. 270 pp.
- McNyset KM, Blackburn JK (2006) Does GARP really fail miserably? A response to Stockman et al. (2006). *Divers. Distrib.* 12: 782-786.
- Méndez-Larios I, Villaseñor JL, Lira R, Morrone JJ, Dávila P, Ortiz E (2005) Toward the identification of a core zone in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve (Mexico), based on parsimony analysis of endemicity of flowering plant species. *Interciencia* 30: 267-274.
- Morrone JJ, Ruggiero A (2000) Como planificar un análisis biogeográfico. *Dugesiana* 7: 1-8.
- Morrone JJ (2004) *Homología Biogeográfica: Las Coordenadas Espaciales de la Vida*. Cuadernos del Instituto de Biología, UNAM. México. 199 pp.
- Morrone JJ (2009) *Evolutionary Biogeography: An Integrative Approach with Case Studies*. Columbia University Press. Nueva York, EEUU. 301 pp.
- Morrone JJ, Crisci JV (1995) Historical biogeography: introduction to methods. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 26: 373-401.
- Morrone JJ, Escalante T (2009) *Diccionario de Biogeografía*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 230 pp.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GA, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Navarro AG, Sánchez-González LA (2003) La diversidad de las aves. En Gómez de Silva H, Oliveras de Ita A (Eds.) *Conservación de Aves: Experiencias en México*. CIPAMEX-CONABIO-NFWF. México. pp. 24-85.
- Navarro AG, Hernández-Baños B, Benítez H (1993) Las aves del estado de Querétaro, México. *Listados Faunísticos de México, Instituto de Biología, UNAM* 4: 1-75.
- Navarro AG, Peterson AT, Gordillo-Martínez A (2003a) Museums working together: the atlas of the birds of Mexico. En Collar N, Ficher C, Feare C (Eds.) *Why Museums Matter: Avian Archives in an Age of Extinction*. Bulletin British Ornithologists' Club Supplement 123A. pp. 207-225.
- Navarro AG, Peterson AT, Nakazawa-Ueji Y, Liebig-Fossas I (2003b) Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En Morrone JJ, Llorente-Bousquets J (Eds.) *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*. CONABIO-UNAM. México. pp. 115-122.
- Navarro AG, Garza-Torres HA, López de Aquino S, Rojas-Soto O, Sánchez-González LA (2004) Patrones biogeográficos de la avifauna de la Sierra Madre Oriental, México. En Luna I, Morrone JJ, Espinosa D (Eds.) *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM. México. pp. 439-467.
- Navarro-Sigüenza AG, Lira-Noriega A, Arizmendi MC, Berlanga H, Koleff P, García-Moreno J, Peterson AT (2011) Áreas de conservación para las aves de México: integrando criterios de priorización. En *Planación para la Conservación de la Biodiversidad Terrestre en México: Retos en un País Megadiverso*. CONABIO-CO-NANP. México. pp. 108-129.
- Nixon KC (1999) The parsimony ratchet, a new method for rapid parsimony analysis. *Cladistics* 15: 407-414.
- Nixon KC (2002) *Winclada v. 1.00.24 v. Beta*. University of Cornell. Ithaca, NY, EEUU.
- Ochoa-Ochoa LM, Flores-Villela OA (2006) *Áreas de Diversidad y Endemismo de la Herpetofauna Mexicana*. UNAM-CONABIO. México. 211 pp.
- Ortega-Huerta MA, Peterson AT (2004) Modeling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Divers. Distrib.* 10: 39-54.
- Pedraza RR, Arellano-Sanaphre A, Gacín N (2000) Sótano del Barro. En Arizmendi MC, Valdelamar LM (Eds.) *Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en México*. CONABIO. México. 217 pp.
- PEOT (2004) Programa Estatal de Ordenamiento Territorial. Secretaría de Desarrollo Sustentable. Gobierno del estado de Querétaro. México. 532 pp.
- Pérez-García EA, Meave JA, Gallardo-Cruz JA (2005) Diversidad β y diferenciación florística en un paisaje complejo del trópico estacionalmente seco del sur de México. En Halfpeter G, Soberón J, Koleff P, Melic A (Eds.) *Sobre Diversidad Biológica: El Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Tercer Milenio - Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España. pp. 123-142.
- Peterson AT, Navarro AG (2000) Western Mexico: a significant center of avian endemism and challenge for conservation action. *Cotinga* 14: 42-46.
- Peterson AT, Egbert SL, Sánchez-Cordero V, Price KP (2000) Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biol. Cons.* 93: 85-94.
- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Martínez-Meyer E, Navarro-Sigüenza AG (2006) Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land cover information. *Ecol. Model.* 103: 229-236.
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo M (2011) *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Monographs in Population Biology N° 49. Princeton University Press. Princeton, NJ, EEUU. 316 pp.
- Pineda-López R, Arellano-Sanaphre A (2010) Noteworthy records of aquatic birds in the state of Querétaro, Mexico. *Huitzil* 11: 49-59.
- Pineda-López R, Arellano-Sanaphre A, Almazán-Núñez RC, López-González C, González-García F (2010a) Nueva información para la avifauna del estado de Querétaro, México. *Acta Zool. Mex.* 26: 47-57.
- Pineda-López R, Febvre N, Martínez M (2010b) Importancia de proteger pequeñas áreas periurbanas por su riqueza avifaunística: el caso de Mompaní, Querétaro, México. *Huitzil* 11: 69-80.
- Primack RB (2006) *Essentials of Conservation Biology*. 4ª ed. Sinauer Sunderland, MA, EEUU. 659 pp.
- Rammamorthy TR, Bye R, Lot A, Fa J (1998) *Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. 792 pp.

- Ramos-Vizcaino I, Guerrero-Vázquez S, Huerta-Martínez FM (2007) Patrones de distribución geográfica de los mamíferos de Jalisco, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 78: 175-189
- Ríos-Muñoz CA, Navarro-Sigüenza AG (2009) Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitol. Neotrop.* 20: 491-509.
- Ríos-Muñoz CA, Navarro-Sigüenza AG (2012) Patterns of species richness and biogeographic regionalization of the avifaunas of the seasonally dry tropical forest in Mesoamerica. *Stud. Neotrop. Fauna Env.* 47: 171-182.
- Rodríguez-Yáñez CA, Villalón R, Navarro AG (1994) Bibliografía de las aves de México (1825-1992). *Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM* 8: 1-146
- Rojas-Soto OR, Sahagún-Sánchez FJ, Navarro AG (2001) Additional information on the avifauna of Queretaro, Mexico. *Cotinga* 15: 48-52.
- Rojas-Soto OR, Alcántara-Ayala O, Navarro-Sigüenza AG (2003) Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, México: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *J. Biogeogr.* 30: 449-461.
- Rovito SM, Arroyo MTK, Plischoff P (2004) Distributional modeling and parsimony analysis of endemism of *Senecio* in the Mediterranean-type climate area of Central Chile. *J. Biogeogr.* 21: 1623-1636.
- Sánchez-González LA, Morrone JJ, Navarro AG (2008) Distributional patterns of the Neotropical humid montane forest avifaunas. *Biol. J. Linn. Soc.* 94: 175-194.
- Stockwell DRB, Noble IR (1992) Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of data analysis. *Math. Comput. Simul.* 33: 385-390
- Trejo I, Dirzo R (2002) Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiv. Cons.* 11: 2063-2084.
- Villa-Bonilla B, Rojas-Soto OR, Colodner-Chamudis AG, Tejeda-Cruz C (2008) Inventarios municipales de avifauna y su aplicación a la conservación: el caso de Zacapoaxtla, Puebla, México. *Ornitol. Neotrop.* 19: 531-551.
- Zink RM, Hackett S (1986) Historical biogeographic patterns in the avifauna of North America. *XIX Congr. Int. Ornitol.* Ottawa, Canada. Vol. 2: 2573-2580.

POTENTIAL AREAS OF RICHNESS, ENDEMISM AND CONSERVATION OF THE BIRDS OF QUERETARO STATE, MÉXICO

R. Carlos Almazán-Núñez, Samuel López De Aquino, César A. Ríos-Muñoz and Adolfo G. Navarro-Sigüenza

SUMMARY

The distribution of bird species in the Mexican state of Querétaro was analyzed, based on the determination of potential distribution areas using ecological niche modeling. The potential distributions were also used to define areas of endemism for the birds in the state, applying a parsimony analysis of endemism, and the protective effectiveness of core areas within the Sierra Gorda Biosphere Reserve (RBSG) was evaluated. Presence data points for 376 species of birds across the state, obtained from scientific collections, the literature and field work, were used in the analyzes. The potential distribution of species richness, endemism and threatened species showed the highest concentration in the bio-geographical province of Sierra Madre Oriental. Although there are areas in the south of the

state that have a large number of species, they have not been sufficiently evaluated in terms of their conservation. The identification of areas of endemism revealed two major groups: 1) the northern region of the eastern slope of the Sierra Madre Oriental, characterized by humid climates; and 2) the areas that correspond to the western slope of the Sierra Madre Oriental, the Mexican Plateau and the Transmexican Volcanic Belt, characterized by dry and temperate climates and medium-low moisture. On the other hand, the results demonstrated that the core zones within the RBSG are not covered effectively in order to protect areas with a high hypothetical concentrations of species, including the endemic and threatened birds.

ÁREAS POTENCIAIS DE RIQUEZA, ENDEMISMO E CONSERVAÇÃO DAS AVES DO ESTADO DE QUERÉTARO, MÉXICO

R. Carlos Almazán-Núñez, Samuel López De Aquino, César A. Ríos-Muñoz e Adolfo G. Navarro-Sigüenza

RESUMO

Analisou-se a distribuição da avifauna do estado de Querétaro, México, baseados na determinação de áreas de distribuição potencial utilizando um modelo de nicho ecológico. A partir de ditas distribuições potenciais se definiram áreas de endemismo para as aves do estado aplicando a análise de parcimônia de endemismos e se avaliou a efetividade de proteção das zonas núcleo da Reserva da Biosfera Serra Gorda (RBSG). Nas análises se utilizaram dados de presença para 376 espécies de aves no estado, obtidos de coleções científicas, a literatura e trabalho de campo. A distribuição potencial de riqueza, endemismo e espécies em risco mostrou maior concentração de espécies na província biogeográfica da Serra Madre Oriental. Também existem áreas ao sul do estado que apresentam um

bom número de espécies que nesta data não tem sido suficientemente valorizadas em termos de sua conservação. A identificação de áreas de endemismo revelou dois grupos principais de zonas: 1) a região nordeste do estado na Serra Madre Oriental, caracterizada por um clima úmido; e 2) a vertente ocidental da Serra Madre Oriental, o Altiplano Mexicano e a Faixa Vulcânica Transmexicana, caracterizadas por climas secos, temperados e com umidade média-baixa. A avaliação das zonas núcleo da RBSG do estado demonstrou que não estão sendo efetivas quanto à conservação de áreas com alta concentração hipotética de espécies, incluindo às endêmicas e aquelas em alguma categoria de risco.